

تأثیر مس محلول در آب بر متابولیسم لوچ ماهی بهایی (*Turcinoemacheilus bahaii*)مهرناز مقیمی^۱، نصرالله محبوبی صوفیانی^{۱*} و پدرام ملک پوری^۲^۱ اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه شیلات^۲ تهران، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۱۹



چکیده

فلزات سنگین می‌توانند سبب بروز اختلالات پاتوفیزیولوژیکی مختلفی در آبزیان شوند. در این مطالعه، تأثیر غلظت‌های مختلف مس بر میزان متابولیسم لوچ ماهی بهایی (*Turcinoemacheilus bahaii*) مورد بررسی قرار گرفت. سپس غلظت کشنده (LC_{50}) (96h) مس برای گونه مورد نظر بر اساس پروتکل OECD, 203 تعیین شد. بر اساس میزان LC_{50} -96h به دست آمده (mg/l) ۱/۸۱۹، ۴۰ قطعه ماهی با میانگین وزنی $1/6 \pm 0/56$ g در ۵ تیمار جداگانه در معرض مقادیر متفاوت مس از جمله تیمار شاهد (فاقد مس)، تیمار مس (۰/۹۱۰ mg/l) به مدت ۲۴ ساعت، مس (۰/۴۵۵ mg/l) به مدت ۷ روز، مس (۰/۱۸۲ mg/l) به مدت ۱۴ روز، مس (۰/۰۹۱ mg/l) به مدت ۳۰ روز قرار گرفتند. سپس به منظور تعیین میزان متابولیسم، مصرف اکسیژن هریک از ماهیان با استفاده از رسپیرومتر با جریان متناوب ثبت و میزان متابولیسم استاندارد (SMR)، متابولیسم بیشینه (MMR) و محدوده هوازی (AS) محاسبه گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که SMR ماهی تحت تأثیر مس بطور معنی‌داری ($P < 0/05$) کاهش می‌یابد. کمترین SMR مربوط به تیمار ۳۰ روزه مس ($43/9 \pm 14/86$ mgO₂/kg/h) بود که به میزان ۷۰/۳۰ درصد نسبت به گروه کنترل ($148/1 \pm 12/73$ mgO₂/kg/h) کاهش داشت. اگرچه میزان متابولیسم بیشینه در تمامی تیمارهای مس اختلاف معنی‌داری را با گروه شاهد نشان نداد اما محدوده هوازی تنها در تیمار مس ۱۴ روزه نسبت به تیمار شاهد بطور معنی‌داری ($P < 0/05$) افزایش یافت. باتوجه به نتایج بدست آمده بنظر می‌رسد که مس منجر به تغییرات متابولیکی در لوچ ماهی می‌شود که این امر به نوبه خود سبب تغییر در تأمین بودجه انرژی برای فعالیت‌های حیاتی جاندار مانند رشد، تغذیه و حتی تولیدمثل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مصرف اکسیژن، فلزات سنگین، رسپیرومتر، ظرفیت متابولیکی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۱۳۳۹۱۲۵۰۶، پست الکترونیکی: soofiani@cc.iut.ac.ir

مقدمه

با وجود اینکه مس از جمله فلزات ضروری است که نقش کلیدی در بیوسنتز هموگلوبین و رنگدانه‌های تنفسی در آبزیان دارد اما در غلظت‌های بالا می‌تواند مسمومیت ایجاد نماید (۵). فعالیت‌هایی نظیر معدن‌کاری، چرم‌سازی، فلزکاری و آلیاژسازی، تولید کابل‌های برق سبب افزایش ورود و حضور این عنصر در آب‌های سطحی شده است (۲۳). علاوه بر این، سوخت‌های فسیلی، فاضلاب‌های شهری، کودهای شیمیایی و کاربرد این عنصر به‌عنوان جلبک-کش و قارچ‌کش سبب ورود مقادیر قابل توجهی از

آلودگی آب‌های شیرین بوسیله طیف گسترده‌ای از آلاینده‌ها به یک موضوع نگران‌کننده در طول چند دهه گذشته تبدیل شده است. افزایش فعالیت‌های انسانی بویژه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی منجر به ورود مقادیر قابل توجهی از آلاینده‌ها مانند فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی گردیده است (۱۷). فلزات سنگین، آلاینده‌های زیست‌محیطی پایدار و ماندگار در محیط‌های آبی هستند که علاوه بر فعالیت‌های انسانی می‌توانند در نتیجه فرایندهای طبیعی نیز وارد اکوسیستم‌های آبی شده و باعث ایجاد آسیب‌های جدی و درازمدت در موجودات زنده شوند (۲ و ۳).

قرارگیری آبزبان، حتی گونه‌های غیرپرورشی به واسطه ورود این ترکیبات به محیط‌زیست آنها وجود دارد. از آنجاییکه فلزات سنگین مانند مس با ایجاد اختلال در تعادل یونی و تغییر در عملکرد تنفسی ماهی همراه با بروز آسیب‌های آبششی سبب بروز استرس می‌گردند (۱۱)، بنابراین بررسی تأثیر مس بر میزان متابولیسم ماهی می‌تواند در درک عملکرد و فعالیت ماهی در شرایط استرس‌زای محیطی مفید باشد. از آنجایی که لوچ ماهی بهایی (*Turcinoemacheilus bahaii*) بعنوان یکی از گونه‌های بومی رودخانه زاینده‌رود (۱ و ۱۳) می‌تواند در معرض ورود پساب مزارع پرورشی حاوی مس قرارگیرد، بنظر می‌رسد بررسی تأثیر تیمارهای مختلف مس (به صورت محلول در آب) بر میزان شاخص‌های متابولیسمی به درک پاسخ‌های فیزیولوژیک این گونه بومی کمک نماید.

مواد و روشها

تهیه ماهی: تعداد ۹۰ قطعه ماهی لوچ بهایی (*T. bahaii*) از منطقه خرسونک رودخانه زاینده‌رود - در فاصله ۲۰ کیلومتری چشمه دیمه - صید و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردیدند. سپس ماهیان صیدشده ضدعفونی و بمدت سه هفته با شرایط آزمایشگاه سازگار گردیدند. در طول این دوره، روزانه به میزان ۳ درصد وزن بدن با جیره غذایی معمول (شامل ۳/۳۱٪ پروتئین، ۱۱/۶٪ چربی و ۱۱/۷٪ خاکستر) تغذیه شدند. پیش از انجام آزمایشات، تعدادی از ماهیان بصورت تصادفی انتخاب و با تهیه لام مرطوب از آبشش، از نظر عفونت‌های انگلی و یا قارچ‌های آبششی مورد بررسی قرارگرفتند.

تهیه استوک مس: برای تهیه محلول استوک مس، از نمک سولفات مس ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (Panreac, Spain) استفاده شد.

تعیین غلظت کشنده ($\text{LC}_{50-96\text{h}}$) فلز مس: ۴۲ قطعه ماهی با میانگین وزنی $1/07 \pm 0/56$ گرم جهت تعیین

این فلز به محیط‌های آبی شده است (۹). مس بصورت مزمن می‌تواند سبب تغییرات مختلف فیزیولوژیکی و رفتاری مانند از دست دادن اشتها، کاهش رشد، کاهش ظرفیت هوایی و افزایش مرگ‌ومیر در ماهی شود (۲۶). یکی دیگر از اثرات فیزیولوژیکی مس بر ماهی، تغییرات متابولیسمی است (۱۲). میزان متابولیسم یک موجود به مصرف انرژی روزانه آن اشاره دارد که بصورت غیرمستقیم براساس میزان اکسیژن مصرف‌شده توسط یک جانور در یک دوره زمانی معین، قابل ارزیابی است (۶). پیش‌ازین نشان داده شده است که میزان اکسیژن مصرفی می‌تواند بعنوان شاخصی قابل اعتماد در بررسی تأثیر سمیت فلزات در آبزبان باشد (۱۷).

پیش‌ازین، اثر فلزات مس و کادمیم بر اکسیژن مصرفی در ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) مورد مطالعه قرارگرفته است. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که میزان مصرف اکسیژن با افزایش غلظت فلز کاهش می‌یابد (۱۶). پراشانت و همکاران (۲۴) در سال ۲۰۱۰ میلادی نشان دادند که مصرف اکسیژن در کپور هندی روهو (*Labeo rohita*) در نتیجه تماس با مقادیر کشنده مس محلول در آب کاهش می‌یابد. علاوه براین، سایر عناصر نیز در غلظت‌های بالا سبب تغییر میزان متابولیسم می‌شوند، برای مثال، سلنیم سبب کاهش مصرف اکسیژن در ماهی گامبوزیا (*Gambusia affinis*) در غلظت‌های کشنده و تحت کشنده می‌شود (۲۰). کادمیم نیز سبب کاهش میزان اکسیژن مصرفی و متابولیسم در سه گونه از ماهیان از جمله آمور (*Ctenopharyngodon idella*)، بارب پرنده هندی (*Esomus danricus*) و فلاندر (*Paralichthys olivaceus*) می‌شود (۱۰، ۱۴ و ۱۸).

همانطور که پیش‌ازین مطرح شد، احتمال ورود مقادیر قابل ملاحظه مس به منابع آبی به دلیل کاربرد وسیع ترکیبات حاوی مس به عنوان ضدعفونی‌کننده در آبی‌پروری وجود دارد (۲۱). بنابراین، احتمالاً در معرض

میزان مصرف اکسیژن برای هر ماهی به دفعات (حداقل ۲۰ بار) در بازه‌های زمانی حداقل ۶ دقیقه‌ای ثبت گردید.

برای اندازه‌گیری MMR، هر ماهی به مدت ۵ الی ۱۰ دقیقه به وسیله تعقیب و گریز وادار به شنای فعال گردید و سپس به رسیرومتر معرفی شد و میزان مصرف اکسیژن آن ثبت گردید. حدود هوازی (AS) نیز با استفاده از تفریق SMR از MMR محاسبه گردید.

میزان مصرف اکسیژن بر اساس روش کلازک و همکاران (۸) با استفاده از اندازه‌گیری مقدار حجم ویژه اکسیژن مصرفی (MO_2) تعیین شد (فرمول ۱).

$$MO_2 = \frac{(V_r - V_f) \times \Delta O_2}{\Delta t \times M_f} \quad \text{فرمول ۱:}$$

در این فرمول، MO_2 میزان اکسیژن مصرفی یا میزان متابولیسم ماهی، V_r حجم رسیرومتر، V_f حجم ماهی (که حدوداً برابر با وزن ماهی است)، ΔO_2 تغییرات اکسیژن آب درون رسیرومتر، Δt تغییرات زمانی (در طول اندازه‌گیری تغییرات اکسیژنی) و M_f وزن ماهی است.

اندازه‌گیری غلظت مس در آب: جهت اندازه‌گیری مس، یک قطره اسید نیتریک به ۲۵۰ میلی‌لیتر نمونه آب برداشته شده از هر یک از تیمارهای آزمایشی اضافه گردید پس از فیلتر نمودن آب، غلظت مس در هر تیمار با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer)، مدل AAnalyst700 مورد سنجش قرار گرفت. قرائت اعداد در مقابل بلانک و پس از ترسیم منحنی استاندارد صورت پذیرفت.

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیوشیمیایی آب: در این آزمایش میزان اکسیژن محلول، دمای آب، سختی، کلسیم، منیزیم، ترکیبات آمونیاکی کل، میزان جامدات کل، محلول و معلق، pH، هدایت الکتریکی در هر تیمار، دما و رطوبت نسبی هوا نیز بصورت روزانه اندازه‌گیری و ثبت شد

LC₅₀-96h مورد آزمایش قرار گرفتند. برای تعیین میزان LC₅₀ فلز مس برای گونه موردنظر از پروتکل پیشنهادی OECD, 203 استفاده شد. براین اساس، تعداد ۷ قطعه ماهی در محفظه‌هایی با حجم ۱۰ لیتر آب قرارداد شدند و در معرض غلظت‌های ۰/۰، ۱/۲۵، ۲/۵، ۵/۰، ۱۰/۰ و ۲۰/۰ میلی‌گرم برلیتر مس قرار گرفتند. سپس میزان تلفات پس از گذشت ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت مشاهده و ثبت گردید. ماهیان مورد آزمایش در این بخش، در طول دوره مورد تغذیه قرار نگرفتند. سپس با استفاده از آنالیز رگرسیون پروبیت، میزان LC₅₀ در بازه‌های زمانی مختلف برای مس به دست آمد (۲۲).

تیمار بندی: باتوجه به میزان LC₅₀-96h، ۴۰ قطعه ماهی با میانگین وزنی $1/6 \pm 0/56$ گرم در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۵ تیمار جداگانه در معرض مقادیر متفاوت مس از جمله تیمار شاهد (فاقد مس)، تیمار مس (۰/۹۱۰ mg/l) به مدت ۲۴ ساعت، ۰/۴۵۵ mg/l مس به مدت ۷ روز، ۰/۱۸۲ mg/l مس به مدت ۱۴ روز، ۰/۰۹۱ mg/l مس به مدت ۳۰ روز قرار گرفتند. تیمارهای انتخابی به ترتیب بر اساس ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصد از LC₅₀-96h انتخاب گردید. سپس ماهیان هر تیمار در زمان معین جهت اندازه‌گیری شاخص‌های متابولیسمی به رسیرومتر معرفی شدند.

تعیین میزان متابولیسم: اندازه‌گیری میزان متابولیسم با استفاده از رسیرومتر با جریان متناوب (Intermittent-Flow-Respirometer) انجام شد. شاخص‌های متابولیسمی مورد بررسی عبارت بودند از میزان متابولیسم استاندارد (SMR= Standard Metabolic Rate)، میزان متابولیسم بیشینه (MMR=Maximum Metabolic Rate) و محدوده هوازی (AS=Aerobic Scope). بمنظور اندازه‌گیری SMR، ۲۴ ساعت قبل از انتقال به رسیرومتر تغذیه ماهیان قطع شد و ماهیان حدود ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمایش به درون محفظه رسیرومتر منتقل شدند تا با شرایط رسیرومتر سازگار و از استرس آنها کاسته شود. سپس

(جدول ۱). تمامی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب براساس روش APHA مورد سنجش قرارگرفت (۴).

جدول ۱- پارامترهای کیفی آب و هوا

۷/۸۳-۷/۹۷	pH	
۳۱۱-۳۵۰	هدایت الکتریکی ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	
۶/۷-۷/۳	mg/l	اکسیژن محلول
۹۸-۱۰۰	%	اکسیژن محلول
۱۶۶-۱۷۲	mbar	اکسیژن محلول
۲۰/۰-۲۴/۷	دمای آب ($^{\circ}\text{C}$)	
۰/۰۰۱-۰/۰۱۲	آمونیاک (mg/l)	
۰/۰۶-۰/۰۹	نیتريت (mg/l)	
۵/۳۳-۷/۱۰	نترات (mg/l)	
۱۷۶-۲۰۰	سختی کل (mg/l)	
۱۰۴-۱۵۶	کلسیم (mg/l)	
۳۶-۷۲	منیزیم (mg/l)	
۱۳۲-۲۹۰	کل جامدات (mg/l)	
۱۰۰-۲۴۶	کل جامدات محلول (mg/l)	
۴-۴۴	کل جامدات معلق (mg/l)	
۴۳-۵۰	رطوبت نسبی (%)	
۲۰/۵-۲۵/۴	دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)	
۸۳۲-۸۴۱	فشار بارومتریک (mm-Hg)	

محاسبات آماری: مطالعه حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار (با ۸ تکرار) اجرا گردید. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون مورد ارزیابی قرارگرفت. سپس جهت بررسی تفاوت‌های آماری در خصوص پارامترهای اندازه‌گیری شده، داده‌ها با استفاده از آنالیز کوواریانس ANCOVA مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفتند. به

دلیل تأثیر احتمالی وزن بدن و طول کل در میزان متابولیسم، این پارامترها نیز به‌عنوان عوامل کوواریانس در نظر گرفته شد. سپس برای تعیین وجود اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از روش مقایسات چندگانه (آزمون تکمیلی بونفرونی) استفاده شد. معنی‌داری تفاوت‌ها در سطح ۵ درصد برای تمامی داده‌ها گزارش شده است. از آنالیز رگرسیون پروبیت نیز جهت محاسبه میزان LC_{50} در زمان-های مختلف استفاده شد. جهت انجام آنالیزهای آماری و ترسیم نمودار از نرم‌افزار SPSS ۱۸ استفاده شد (۲۹).

نتایج

غلظت کشنده ($\text{LC}_{50-96\text{h}}$) مس: میزان $\text{LC}_{50-96\text{h}}$ برای فلز مس برابر با ۱/۸۱۹ میلی‌گرم برلیتر به دست آمده است. میزان دقیق LC_{50} در زمان‌های مختلف به همراه حدود اطمینان آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- میزان LC_{50} مس به همراه حدود اطمینان ۹۵ درصد برای

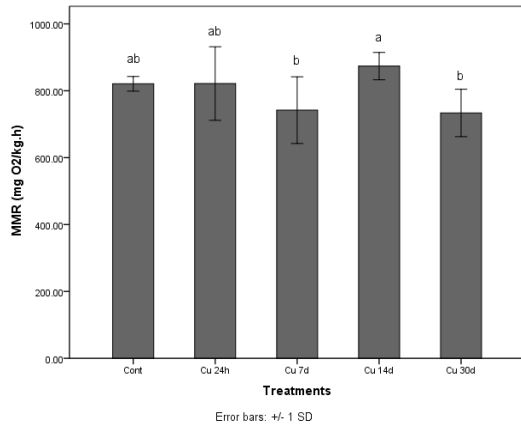
لوچ ماهی بهایی (*T. bahaii*)

زمان (ساعت)	LC_{50} (mg/l)
۲۴	۱۲/۴۲۲ (۱۱/۷۷۴-۱۳/۷۴۸)
۴۸	۲/۸۱۶ (۲/۶۷۹-۳/۱۲۳)
۷۲	۲/۰۱۹ (۱/۹۳-۲/۴۸۵)
۹۶	۱/۸۱۹ (۱/۸۶۶-۲/۲۳۲)

غلظت مس در تیمارهای مختلف: نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز جذب اتمی حاکی از آن است که میانگین غلظت مس در تمامی تیمارها در محدوده‌ی غلظت‌های محاسبه‌شده قرار دارد (جدول ۳).

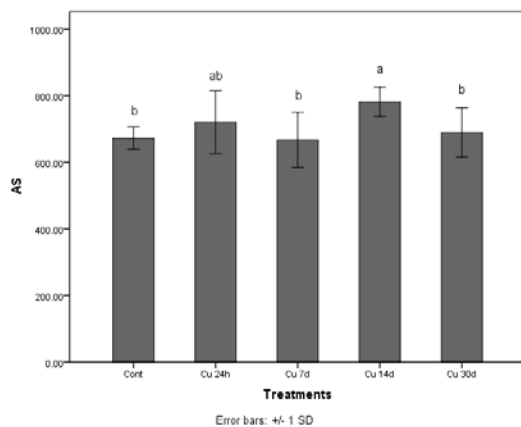
جدول ۳- غلظت‌های مس محلول در آب در تیمارهای مختلف

تیمارها	غلظت محاسبه شده (mg/l) (براساس $\text{LC}_{50-96\text{h}}$)	غلظت اندازه‌گیری شده (mg/l)
شاهد	۰ (%)	> ۰/۰۰۴
مس	۰/۹۱۰ (%۵۰)	۰/۹۰۵±۰/۰۰۴
	۰/۴۵۵ (%۲۵)	۰/۴۵۶±۰/۰۰۲
	۰/۱۸۲ (%۱۰)	۰/۱۸۰±۰/۰۰۳
	۰/۰۹۱ (%۵)	۰/۰۹۳±۰/۰۰۵



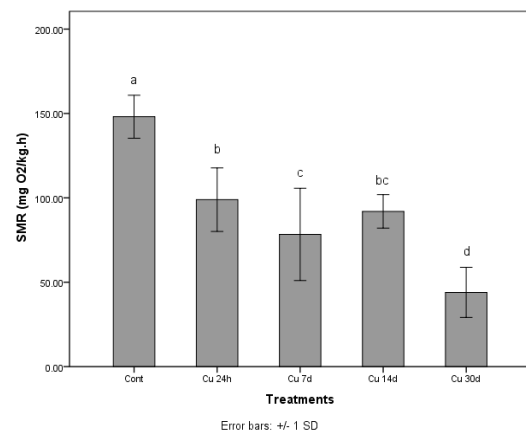
شکل ۲- میزان متابولیسم بیشینه (MMR) در لوچ ماهی بهایی (*T. bahaii*) تحت تأثیر تیمارهای مختلف مس. هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده $\text{mean} \pm \text{SD}$ مربوط به ۸ اندازه‌گیری است. ستون با حروف الفبای انگلیسی غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) است.

محدوده هوازی: نتایج به‌دست آمده حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار محدوده هوازی لوچ ماهی تحت تأثیر تیمارهای مختلف مس در مقایسه با گروه شاهد است. البته تیمار مس بمدت ۱۴ روز سبب افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) این شاخص در مقایسه با شاهد گردید. بین تیمارهای مختلف این فلز تنها تیمار مس ۱۴ روزه با تیمارهای مس ۷ و ۳۰ روزه اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) از خود نشان داد (شکل ۳).



شکل ۳- محدوده هوازی (AS) لوچ ماهی بهایی (*T. bahaii*) تحت تأثیر تیمارهای مختلف مس. هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده $\text{mean} \pm \text{SD}$ مربوط به ۸ ماهی است. ستون با حروف الفبای انگلیسی غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) است.

میزان متابولیسم استاندارد: نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که SMR لوچ ماهی در معرض فلز مس به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) کاهش می‌یابد. کمترین SMR مربوط به تیمار مس به مدت ۳۰ روز ($143/969 \pm 14/864 \text{ mgO}_2/\text{kg/h}$) است که به میزان ۷۰/۳۰ درصد نسبت به گروه شاهد ($148/087 \pm 12/736 \text{ mgO}_2/\text{kg/h}$) کاهش یافته است. این شاخص متابولیسمی تحت تأثیر تیمار مس بمدت ۳۰ روز با سایر تیمارهای مس نیز اختلاف معنی‌داری از خود نشان داد. سایر تیمارهای مس (۲۴ ساعت، ۷ و ۱۴ روز) نیز با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. SMR تیمار مس ۲۴ ساعته اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۴ روزه مس نداشت ($P < 0.05$)، در صورتی‌که با تیمار ۷ روزه مس اختلاف معنی‌داری ($P < 0.05$) را نشان داد (شکل ۱).



شکل ۱- میزان متابولیسم استاندارد (SMR) در لوچ ماهی بهایی (*T. bahaii*) تحت تأثیر تیمارهای مختلف مس. هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده $\text{mean} \pm \text{SD}$ مربوط به ۸ اندازه‌گیری است. ستون با حروف الفبای انگلیسی غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) است.

میزان متابولیسم بیشینه: میزان متابولیسم بیشینه در اثر تیمارهای مختلف مس، اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نداشت. بین تیمارهای مس، تیمار مس بمدت ۱۴ روز میزان این پارامتر به‌صورت معنی‌داری ($P < 0.05$) نسبت به دو تیمار مس ۷ روزه و ۳۰ روزه افزایش یافت، درحالی‌که تیمارهای مس ۲۴ ساعته، ۷ روزه و ۳۰ روزه اختلاف معنی‌داری را در مقایسه با یکدیگر نشان ندادند (شکل ۲).

بحث

بنابراین، آسیب‌های بافتی در آبشش منجر به کاهش سطح تبادل تنفسی و کاهش مصرف اکسیژن در ماهی می‌شود.

در مطالعه‌ی حاضر میزان محدوده‌ی هوازی در اکثر تیمارهای مس تغییر نکرد. با توجه به این‌که محدوده‌ی هوازی نشان‌دهنده‌ی میزان تفاوت متابولیسم استاندارد و بیشینه است (۲۵)، در نتیجه در تیمار مس کاهش SMR همراه با تغییر بسیار کم MMR باعث شد که میزان محدوده‌ی هوازی در اکثر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نسبت به گروه شاهد نداشته باشد. گزارشات مبنی بر افزایش SMR و MMR در ماهیان در معرض مقادیر مزمن سرب وجود دارد. بعلاوه، این محققین به این نتیجه رسیدند که با قرار گرفتن ماهی در معرض مقادیر مزمن سرب، میزان AS آن نیز افزایش می‌یابد. این احتمال وجود دارد که علت افزایش MMR و AS به دلیل افزایش سنتز هموگلوبین باشد (۱۹). البته نتایج متناقض در خصوص تأثیر فلزات سنگین بر میزان متابولیسم ماهی چندان دور از انتظار نیست زیرا ظرفیت متابولیسمی ماهی بطور اساسی متأثر از تفاوت‌های درون گونه‌ای و حتی برون گونه‌ای قرار می‌گیرد. بنابراین لزوم انجام مطالعه همزمان در خصوص تأثیر هر یک از آلاینده‌ها بر پاسخ‌های رفتاری، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و آسیب‌شناسی در کنار بررسی تغییرات ایجاد شده در ظرفیت متابولیسمی ماهی در درک بهتر نحوه عملکرد این دسته از عوامل استرس‌زا مثرتر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

بطور کلی، فلزات سنگین می‌توانند با اختلال در فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی ماهی سبب کاهش مصرف اکسیژن شوند. در پژوهش حاضر میزان متابولیسم استاندارد لوچ ماهی بهایی متعاقب مجاورت با مقادیر مزمن و تحت کشنده مس کاهش یافت. کاهش میزان متابولیسم می‌تواند باعث تجمع فلزات در آبشش ماهی و آسیب به این بافت باشد که مانعی در جهت تبادل اکسیژن ایجاد می‌کند که خود ضرورت انجام مطالعاتی در این زمینه را نشان

بطور کلی اثرات سوء فلزات سنگین بر مصرف اکسیژن و یا میزان متابولیسم ماهی و سایر آبزیان به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۸). تغییر در میزان اکسیژن مصرفی در اثر قرار گرفتن ماهی در معرض مس در ماهی بارب *E. danricus* (۱۱) و ماهی کپور معمولی *C. carpio* (۱۲) و سایر آبزیان (۷) گزارش شده است.

در این مطالعه میزان متابولیسم پایه در لوچ ماهی بهایی تحت تأثیر تیمارهای مختلف مس کاهش یافت. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که فلزات سنگین اغلب سبب کاهش میزان مصرف اکسیژن در ماهی می‌شوند. در این خصوص، فلز کادمیم در کوتاه‌مدت سبب کاهش قابل ملاحظه‌ی مصرف اکسیژن در لای ماهی (*Tinca tinca*) شد که نشان‌دهنده‌ی اثر سمی کادمیم بر تنفس ماهی است (۲۷). در ماهی بارب (*E. danricus*) نیز کاهش اکسیژن مصرفی در غلظت‌های بالای کادمیم نسبت به گروه شاهد مشاهده شد (۱۰). حسن در سال ۲۰۱۱ دریافت که میزان اکسیژن مصرفی ماهی کپور معمولی (*C. carpio*) در اثر تماس با مس و کادمیم کاهش می‌یابد و مس را فلز سمی‌تری نسبت به کادمیم دانست، چراکه سبب کاهش بیشتر اکسیژن مصرفی در گونه مذکور شده است. این محققین دلیل این امر را تجمع فلزات سنگین در آبشش و در نتیجه کاهش فعالیت‌های متابولیسمی عنوان نمودند (۱۶). در این خصوص، وود و گاس در سال ۱۹۹۸ پیشنهاد کردند که تأثیر فلزات سنگین بر عملکرد آبشش باعث کاهش میزان مصرف اکسیژن به دلیل اختلال در تنظیمات یونی و تعادل اسید-باز می‌شود (۱۵). علاوه بر این، قرار گرفتن در معرض مس در کوتاه مدت منجر به کاهش شدید مصرف اکسیژن در لارو کپور معمولی (*C. carpio*) و قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) می‌شود که ممکن است در نتیجه جذب مس توسط آبشش‌ها و حتی بروز عوارض پاتولوژیک در اپیتلیوم آبششی باشد (۱۷).

اکوسیستم‌های آبی می‌تواند حیات زیست‌مندان این اکوسیستم‌ها را در معرض خطر قرار دهد. مطالعات بیشتر در زمینه تعیین متابولیسم انرژی (کربوهیدرات، پروتئین و چربی‌ها) می‌تواند به درک بهتر تغییرات مشاهده شده در این مطالعه کمک نماید.

می‌دهد. باتوجه به نتایج بدست آمده از این مطالعه مس می‌تواند منجر به تغییرات متابولیکی در ماهی لوچ شود که به نوبه خود سبب تغییر در تأمین بودجه انرژی برای فعالیت‌های حیاتی جاندار مانند رشد، تغذیه و حتی تولید مثل می‌شود. در نتیجه، ورود هرچه بیشتر آلاینده‌ها به

منابع

- ۱- ابراهیمی درچه، ع.، برهانی، م.، محبوبی صوفیانی، ن. و اسداله، س. ۱۳۹۵. بررسی رژیم غذایی و بافت‌شناسی لوله گوارش لوچ ماهی *Turcinoemacheilus bahaii* در رودخانه زاینده‌رود، مجله پژوهش‌های جانوری، ۲۹، صفحات ۵۰۹-۵۱۸.
- ۲- حسینی، م.، نبوی، س. م.، گلشنی، ر.، نبوی، س. ن. و رئیسی سراسیاب، ع.، ۱۳۹۴. غلظت فلزات سنگین نیکل، مس، سرب، کبالت و کادمیوم در رسوب و بافت‌های کبد و ماهیچه کفشک ماهی *Psettodes erumei* در استان بوشهر، خلیج فارس، مجله پژوهش‌های جانوری، ۲۸، صفحات ۴۴۱-۴۴۹.
- 3- Akbulut, A., and Akbulut, N. E., 2010. The study of heavy metal pollution and accumulation in water, sediment, and fish tissue in Kızılırmak River Basin in Turkey. *Environ. Monit. Assess.* 167(1-4), PP: 521-526.
- 4- APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th Edi., New York, APHA, AWWA, WPCR. American Public Health Association. 1325 p.
- 5- Balavenkatasubbaiah, M., Rani, A. U., Geethanjali, K., Purushotham, K., and Ramamurthi, R., 1984. Effect of cupric chloride on oxidative metabolism in the freshwater teleost, *Tilapia mossambica*. *Ecotoxicol. Environ. Safety.* 8(3), PP: 289-293.
- 6- Barbieri, E., 2009. Effects of zinc and cadmium on oxygen consumption and ammonium excretion in pink shrimp (*Farfantepenaeus paulensis*, Pérez-Farfante, 1967, Crustacea). *Ecotoxicology.* 18(3), PP: 312-318.
- 7- Campbell, H., Handy, R., and Sims, D., 2002. Increased metabolic cost of swimming and consequent alterations to circadian activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to dietary copper. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59, PP: 768-777.
- 8- Clark, T. D., Sandblom, E., and Jutfelt, F., 2013. Aerobic scope measurements of fishes in an era of climate change: respirometry, relevance and recommendations. *J. Exp. Biol.* 216(15), PP: 2771-2782.
- 9- Cruz, L. A., Roberts, C., Reiley, M., Santore, R., Paquin, P., Chapman, G., Mitchell, J., Delos, C., Meyer, J., Mathew, R., and Linton, T. K., 2007. aquatic life ambient freshwater quality criteria-copper. US Environmental Protection Agency. Washington, DC. 204 p.
- 10- Das, S., and Gupta, A., 2012. Effects of cadmium chloride on oxygen consumption and gill morphology of Indian flying barb, *Esomus danricus*. *J. Environ. Biol.* 33(6), PP: 1057-1061.
- 11- Das, S., and Gupta, A., 2013. Accumulation of copper in different tissues and changes in oxygen consumption rate in Indian flying barb, *Esomus danricus* (Hamilton-Buchanan) exposed to sub-lethal concentrations of copper. *Jordan J. Biol. Sci.* 6(1), PP: 21-24.
- 12- De Boeck, G., De Smet, H., Blust, R., 1995. The effect of sublethal levels of copper on oxygen consumption and ammonia excretion in the common carp, *Cyprinus carpio*. *Aquat. Toxicol.* 32(2), PP: 127-141.
- 13- Esmaeili, H. R., Sayyadzadeh, G., Özuluğ, M., Geiger, M., and Freyhof, J., 2014. Three new species of *Turcinoemacheilus* from Iran and Turkey (Teleostei: Nemacheilidae). *Ichthyol. Explor. Freshwater.* 24(3), PP: 257-273.
- 14- Espina, S., Salibian, A., and Díaz, F., 2000. Influence of cadmium on the respiratory function of the grass carp *Ctenopharyngodon idella*. *Water Air Soil Pollut.* 119(1-4), PP: 1-10.
- 15- Goss, G., and Wood, C., 1988. The effects of acid and acid/aluminum exposure on circulating plasma cortisol levels and other blood

- parameters in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. J. Fish Biol. 32(1), PP: 63-76.
- 16- Hassan, B., 2011. The effect of copper and cadmium on oxygen consumption of the juvenile common carp, *Cyprinus carpio* (L.). Mesopot. J. Mar. Sci. 26(1), PP: 25-34.
- 17- Jezierska, B., and Sarnowski, P., 2002. The effect of mercury, copper and cadmium during single and combined exposure on oxygen consumption of *Oncorhynchus mykiss* Wal. and *Cyprinus carpio* L. larvae. Arch. Pol. Fish. 10(1), PP: 15-22.
- 18- Kang, J. C., Kim, S. G., and Jee, J. H., 2003. Long-Term sublethal cadmium exposure effected survival, growth and metabolic rate change in the olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Korean J. Fish. Aquat. Sci. 36(1), PP: 39-43.
- 19- Mager, E. M., and Grosell, M., 2011. Effects of acute and chronic waterborne lead exposure on the swimming performance and aerobic scope of fathead minnows *Pimephales promelas*. Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol. 154(1), PP: 7-13.
- 20- Naik, R. R., and Patil, H. S., 2010. Effect of selenium and its compounds on oxygen uptake in freshwater fish *Gambusia affinis* after exposure to lethal doses. Jordan J. Biol. Sci. 3(4), PP: 141-146.
- 21- Noga, E. J., 2010. Fish disease: diagnosis and treatment. 2ND Edi., John Wiley & Sons. 519 p.
- 22- OECD, 1992. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. Test No. 203: Fish, Acute Toxicity, Organization for Economic, 9 <http://dx.doi.org/10.1787/20745761>.
- 23- Patterson, J. W., Minear, R. A., Gasca, E., and Petropoulou, C., 1998. Industrial discharges of metals to water. Metals in Surface Waters, PP: 37-65.
- 24- Prashanth, M., Sayeswara, H., and Patil, H. R., 2010. Impact of copper cyanide on behavioral changes and oxygen consumption in Indian major carp *Catla catla* (Hamilton). J. Environ. Agric. Food Chem. 9(9), PP: 1433-1442.
- 25- Soofiani, N. M., and Priede, I. G., 1985. Aerobic metabolic scope and swimming performance in juvenile cod, *Gadus morhua* L. J. Fish Biol. 26(2), PP: 127-138.
- 26- Tellis, M. S., Alsop, D., and Wood, C. M., 2012. Effects of copper on the acute cortisol response and associated physiology in rainbow trout. Comp. Biochem. Physiol. C, Toxicol. Pharmacol. 155(2), PP: 281-289.
- 27- Witeska, M., Jezierska, B., and Wolnicki, J., 2006. Respiratory and hematological response of tench, *Tinca tinca* (L.) to a short-term cadmium exposure. Aquacult. Int. 14(1-2), PP: 141-152.
- 28- Wu, J. P., and Chen, H. C., 2004. Effects of cadmium and zinc on oxygen consumption, ammonium excretion, and osmoregulation of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Chemosphere. 57(11), PP: 1591-1598.
- 29- Zar, J.H. 1999. Biostatistical Analysis, 4th edition, Prentice.

Effect of water-borne copper on Baha'i loach (*Turcinoemacheilus bahaii*) metabolism

Moghim M.¹, Mahboobi-Soofiani N.¹ and Malekpouri P.²

¹ Natural Resources of Dept., Isfahan University of Technology, Isfahan, I.R. of Iran

² Young Researchers and Elites Club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. of Iran

Abstract

Heavy metals can produce various pathophysiological effects in aquatic animals. In this study, the effect of different water-borne copper concentrations on bahaii loach (*Turcinoemacheilus bahaii*) metabolism was investigated. Lethal concentration (LC_{50-96h}) of copper was determined for this species according to OECD, 203 protocols. Based on LC_{50-96h} (1.189 mg/l), 40 fish (1.6±0.56 g) were divided into five different groups, including control and different concentrations of copper (24h, 0.910 mg/l), (7d, 0.455 mg/l), (14d, 0.182 mg/L) and (30d, 0.091 mg/l). Then, by using intermittent-flow respirometer, the oxygen consumption of each individual fish was recorded to calculate standard metabolic rate (SMR), maximum metabolic rate (MMR) and aerobic scope (AS). Results showed significant (P<0.05) reduction in SMR of fish, exposed to copper. The minimum SMR was obtained following 30days exposure to copper (43.90 ± 14.86 mgO₂/kg/h), which was reduced by about 70%, as compared to control group (148.10 ± 12.73 mgO₂/kg/h). Although MMR were remained unchanged following all copper treatments, AS in copper-treated fish (14d) showed a significant increase (P<0.05) in comparison with control group. According to the results, it seems that copper could disrupt fish metabolism and subsequently, changes the energy budget of fish, required for biological activities such as growth, feeding and reproduction.

Key words: Oxygen consumption, Heavy metals, Respirometer, Metabolic capacity