اثر فلزات سنگین مس و سرب بر روی بقاء، رفتار و رشد ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*)

- **اسماعیل قره‌داشی*:** گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صندوق‌پستی: ۴۸۷-۴۹۱۷۵
- **محمدرضا ایمانپور:** گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صندوق‌پستی: ۴۸۷-۴۹۱۷۵
- **وحید تقی‌زاده:** گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صندوق‌پستی: ۴۸۷-۴۹۱۷۵

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۲

کلمات کلیدی: مس، سرب، LC، رفتار، رشد، ماهی سفید

انسان تولیدکننده آلاینده‌های متعدد و متنوعی است که بخش اعظم این مواد به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به محیط‌های آب راه می‌یابد. بخشی از آلاینده‌ها مانند اغلب مواد آلی طی فرایندهای زیستی تجزیه می‌گردند ولی سایر مواد از قبیل فلزات سنگین و سموم دفع آفات (هیدروکربن‌های کلردار) در مقابل تجزیه مقاوم بوده و مدت زیادی در محیط آبی باقی می‌مانند (Colins و Brown، ۱۹۹۸). با توجه به تحقیقات به‌عمل آمده بیش‌ترین مقادیر فلزات در اکوسیستم‌های آبی به عناصری مانند مس، روی،کامیوم، جیوه و سرب مربوط می‌باشد. ورود هرگونه غلظتی از این عناصر به اکوسیستم‌های آبی می‌تواند باعث نابودی یا کاهش گونه‌های خاص در آبزیان و به‌هم خوردن توازن اکولوژیکی شده و موجبات زوال زیستی اکوسیستم را فراهم سازد (Rand، ۱۹۹۵؛ امیدی، ۱۳۷۶).

منشاء ورود سرب به اکوسیستم‌های آبی عمدتاً نفت خام، شیمی و معدن کاوی صنعتی می‌باشد، که موجب اثرات سمی شده و می‌تواند باعث مرگ ومیر موجودات آبزی شود (Heath، ۱۹۹۵؛ Sorensen، ۱۹۹۱). درحالی‌که مس از جمله فلزات ضروری برای همه ارگانیسم‌ها از جمله ماهی می‌باشد. نقش مهمی در متابولیسم دارد و اثرات متنوعی روی پارامترهای خونی، رشد، رفتار، فعالیت آنزیمی و تولیدمثل می‌گذارد (Nussey، ۱۹۹۵؛ Roesijadi، ۱۹۹۴؛ Sorensen، ۱۹۹۱).

اضافه کردن غلظت مزمن فلزات مس، کادمیوم و سرب به آب برای ماهی نشان داده که سبب تغییرات فیزیولوژیکی و رفتاری متنوعی از جمله از دست دادن اشتهاء، کاهش رشد، از دست دادن تعادل یونی و افزایش مرگ و میر ماهی می‌شود (Scherer، ۱۹۹۷). آلودگی فلزات سنگین معمولاً سبب کاهش بهره‌برداری ماهی از غذا می‌شود، که باعث اختلالات در ماهی شده و نتیجه آن کاهش نرخ متابولیسم و به‌دنبال آن کاهش رشد ماهی می‌باشد (Javed، ۲۰۰۵). رشد در تحقیقات سم‌شناسی

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: gharedaashi.e@gmail.com

مزمن از جمله ویژگی‌های حساس می‌باشد که تحت تاثیر قرار می‌گیرد (De Boeck، ۱۹۹۷).

حساسیت گونه‌های مختلف ماهیان به مواد آلاینده متغییر است از این‌رو انجام آزمایش‌های سم‌شناسی برای ماهیان مختلف ضروری است (Barak و Mas، ۱۹۹۰). ماهی سفید از مهم‌ترین گونه‌های کپورماهیان در دریای خزر می‌باشد که علیرغم تلاش‌های مستمری که جهت بازسازی و حفظ ذخایر آن در دریای خزر انجام می‌شود، میزان صید آن طی سال‌های اخیر کاهش یافته است که گویای کاهش ذخایر این ماهی در دریای خزر است. با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده عوامل مختلفی می‌توانند در این امر دخیل باشند اما مهم‌ترین عاملی که امروزه بیش‌ترین توجه محافل علمی را به‌خود جلب نموده آلودگی محیط زیست به‌ویژه افزایش روزافزون فاضلاب‌های صنعتی حاوی ترکیبات مختلف آلاینده‌های پایدار فلزات سمی و آفت‌کش‌های کشاورزی است که در راستای توسعه صنعتی و پیشرفت بشر قرار دارد. تحقیقات در خصوص مشخص نمودن میزان آلودگی منابع مختلف آبی، چگونگی تقلیل آلودگی، نحوه جذب فلزات توسط آبزیان، تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت‌های مختلف آبریان، امکان استفاده از برخی آبزیان به‌عنوان شاخص‌های زیستی، تغییرات و آسیب‌های ایجاد شده در بافت‌ها و... در حال انجام است (Finpederson، ۱۹۹۴). انگیزه اصلی این تحقیق تعیین غلظت کشنده فلزات سنگین مس و سرب در طی ۹۶ ساعت، بررسی تغییرات رفتاری و رشد ماهی سفید است.

این تحقیق در سال ۱۳۹۰ در آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گرفت. ماهیان سفید با میانگین وزنی ۰/۵± ۴ گرم از مرکز بازسازی ذخایر ماهی سفید سیجوال، گرگان تهیه و به مرکز تحقیقات آبزی‌پروری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. آزمایشات در شرایط استاندارد و به‌روش OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) صورت گرفته و عوامل فیزیکی و شیمیایی موثر از جمله سختی آب ۲/۵۸±۲۷۵ میلی‌گرم در لیتر کربنات‌کلسیم، دمای آب ۱±۲۴ درجه سانتی‌گراد، pH=۷-۷/۵ و DO= ۷/۸±۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری و ثبت گردید. به‌مدت دو هفته ماهی‌ها در این آب سازگار شدند. در این مدت ماهی‌ها با غذاهای تجاری غذا دهی شدند، هوادهی نیز از طریق پمپ‌های هواده انجام شد. پس از سازگاری ماهیان جهت ایجاد محیط آلاینده مس از سولفات مس ($CuSo_4\ 5H_2O$, MERCK) و محیط آلاینده سرب از نیترات سرب ($Pb(No_3)_2$, MERC) استفاده گردید. ۲۴ ساعت قبل از اضافه نمودن سولفات مس و نیترات سرب غذادهی قطع گردید.

برای تعیین غلظت کشنده فلزات ابتدا آکواریوم‌هایی با گنجایش ۵۰ لیتر تهیه، شستشو و آماده گردید. تعداد ۸ آکواریوم برای ۸ تیمار (غلظت) در ۳ تکرار به‌منظور افزایش دقت آزمایش و سه آکواریوم نیز به‌عنوان شاهد بدون حضور فلز برای هر فلز در نظر گرفته شد، که تعداد ۱۰ قطعه ماهی سفید با میانگین وزن ۰/۵±۴ گرم و طول ۰/۵±۸ سانتی‌متر در هر آکواریوم قرار داده شد، به آکواریوم‌ها به‌ترتیب ۸ غلظت (۳، ۲/۵، ۲، ۱/۵، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵ و ۳/۵ میلی‌گرم بر لیتر) برای فلز مس و ۸ غلظت (۱۰۰، ۲۰۰، ۲۲۰، ۲۴۰، ۲۶۰، ۲۸۰، ۳۰۰ و ۳۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) برای فلز سرب اضافه گردید. ماهیان به‌مدت ۹۶ ساعت در معرض این غلظت‌ها قرار گرفتند، و در طول این مدت غذادهی نمی‌شدند. این محدوده غلظت‌ها در اثر تکرار به‌دست آمد. به‌طوری‌که در غلظت‌های ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر از فلز مس و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از فلز سرب هیچ‌گونه تلفاتی مشاهده نشد و در غلظت‌های ۳/۵ میلی‌گرم بر لیتر از فلز مس و ۳۲۰ میلی‌گرم بر لیتر از فلز سرب صددرصد ماهیان تلف شدند. بنابراین غلظت‌های فوق انتخاب شد.

برای تعیین غلظت کشنده فلزات در هر ۱۲ ساعت مرگ‌ومیر ماهی‌ها یادداشت و ماهی‌های مرده خارج گردید. سپس داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS18 مورد تحلیل آماری قرار گرفت و غلظت کشنده LC_{50} در زمان‌های ۷۲، ۴۸، ۲۴ و ۹۶ ساعت برای هر فلز محاسبه گردید.

به‌منظور بررسی تغییرات رفتاری نیز در طی ۹۶ ساعت پس از اضافه نمودن فلزات، ماهیان به‌صورت چشمی زیر نظر قرار گرفتند و در طی این مدت تغییرات رفتاری بررسی و ثبت گردید. بعد از تعیین غلظت کشنده فلزات مس و سرب، به‌منظور بررسی شاخص‌های رشد ماهیان سفید در ۵ گروه، متشکل از چهار گروه آزمایشی، شامل دو غلظت (۰/۱۱ و ۰/۲۳ میلی‌گرم بر لیتر) برای فلز مس و دو غلظت (۱۳/۴ و ۲۶/۸ میلی‌گرم بر لیتر) برای فلز سرب و یک گروه شاهد (فاقد فلز) قرار گرفتند. به این صورت که در ۱۵ مخزن با گنجایش ۳۵۰ لیتر با تراکم ۲۰ قطعه در هر مخزن توزیع شدند به‌طوری‌که برای هر یک از تیمارها ۳ تکرار در نظر گرفته شد. ماهیان به‌مدت ۶۰ روز در معرض این غلظت‌ها قرار گرفتند. که در طول این دوره به نسبت ۵-۳ درصد وزن بدن در هر روز با جیره‌های تجاری تغذیه و این میزان غذا ۴ بار در روز به آن‌ها داده شد. به‌منظور جلوگیری از تجمع آمونیاک و سایر ترکیبات سمی، آب هر یک از

مخازن هر ۹۶ ساعت تعویض شد و غذاهای مصرف نشده در کف مخزن نیز سیفون گردید، و دوباره همان غلظت‌ها به آب اضافه گردید. برای دستیابی به سطوح اکسیژنی مناسب، هوادهی نیز در طول دوره آزمایش انجام شد. به‌منظور دستیابی به سطوح غذادهی و تنظیم میزان آن، وزن کلی ماهیان در هر مخزن در فواصل ۱۴ روزه اندازه‌گیری شد. به‌منظور آنالیز شاخص‌های رشد ماهیان هر ۱۴روز زیست‌سنجی و وزن شده و در پایان دوره ضریب رشد ویژه (SGR)، افزایش وزن بدن (BWI)، درصد افزایش وزن بدن (PBWI)، شاخص وضعیت (CF) و ضریب تبدیل غذایی (FCR) محاسبه شدند. محاسبه شاخص‌های مربوط به رشد مطابق رابطه‌های زیر انجام شد.

افزایش وزن بدن (Tacon، ۱۹۹۰):

$BWI = Wt_2 - Wt_1$

گرم وزن اولیه ماهی = Wt_1، گرم وزن نهایی ماهی = Wt_2

درصد افزایش وزن بدن (Bekcan و همکاران، ۲۰۰۶):

$PBWI\ (\%) = [(Wt_2 - Wt_1) / Wt_1] \times 100$

گرم وزن اولیه ماهی = Wt_1، گرم وزن نهایی ماهی = Wt_2

نرخ رشد ویژه (درصد در روز) (Hevroy و همکاران، ۲۰۰۵):

$SGR\ (\%\ /day) = [(LnWt_2 - LnWt_1) / t_2 - t_1] \times 100$

لگاریتم طبیعی وزن اولیه ماهی = $LnWt_1$، لگاریتم طبیعی نهایی ماهی = $LnWt_2$، طول دوره آزمایش = $t_2 - t_1$

فاکتور وضعیت (Ai و همکاران، ۲۰۰۶):

$CF = [W / L^3] \times 100$

وزن ماهی (گرم) =W، طول کل ماهی (سانتی‌متر)=L

ضریب تبدیل غذایی (Austreng، ۱۹۷۸):

$FCR = 100 \times$ میزان وزن تولید شده/مقدار غذای مصرف شده

داده‌های به‌دست آمده پس از تبدیل، توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن از طریق آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) و با استفاده از برنامه نرم‌افزاری SPSS18 بررسی شدند. تفاوت‌های آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P<0/05$) ارائه شدند.

تعیین LC50: سمیت حاد فلزات مس و سرب نشان داد که نرخ تلفات با غلظت فلزات رابطه مستقیم دارد. نتایج به‌دست آمده از آنالیز SPSS18 نشان داد که غلظت کشنده (LC_{50}) فلزات برای ماهی سفید در زمان‌های۷۲، ۴۸، ۲۴ و ۹۶ ساعت به‌ترتیب ۲/۵۶۲، ۲/۷۵۶، ۲/۹۴۴ و ۲/۳۱ میلی‌گرم بر لیتر برای فلز مس (جدول ۱) و برای فلز سرب به‌ترتیب ۴۵۶/۴۱۹، ۲۹۸/۲۸۱، ۳۱۵/۸۴۱ و ۲۶۸/۰۶۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (جدول ۲).

جدول۱: غلظت کشنده فلز مس و سرب در طی ۹۶ ساعت روی ماهی سفید۳-۵ گرمی

نام فلز سنگین	غلظت سم (PPM)				
	نقطه	۲۴h	۴۸h	۷۲h	۹۶h
سولفات مس $CuSO_4$	LC_{10}	۱/۸۸۶	۱/۸۰۸	۱/۷۲۲	۱/۵۴۹
	LC_{50}	۲/۹۴۴	۲/۷۵۶	۲/۵۶۲	۲/۳۱۰
	LC_{90}	۴/۰۰۳	۳/۷۰۳	۳/۴۱۰	۳/۰۷۲
نیترات سرب $Pb(NO_3)_2$	LC_{10}	۲۶۴/۱۸۹	۲۵۲/۰۹۲	۲۴۳/۱۸۷	۲۳۳/۳۳۰
	LC_{50}	۳۱۵/۸۴۱	۲۹۸/۴۵۶	۲۸۱/۴۱۹	۲۶۸/۰۶۵
	LC_{90}	۳۶۷/۴۹۴	۳۴۴/۸۲۱	۳۱۹/۵۵۱	۳۰۲/۸۰۰

تغییرات رفتاری: وقتی گروه شاهد با تیمارهای فلزی از لحاظ رفتاری مقایسه شد، تغییرات قابل ملاحظه‌ای مشاهده شد. این تغییرات و واکنش‌های رفتاری که شامل بی‌قراری، شنای سریع و نامنظم، تغییر ناگهانی در موقعیت و جهت حرکت، جهش و انجام فعالیت‌های اضافی می‌باشد، در لحظات اولیه از اضافه کردن فلزات بیش‌تر قابل ملاحظه بود. این تغییرات در غلظت‌های تحت‌کشنده هم مشهود بود. واکنش‌های فیزیولوژیکی از جمله حرکت سریع سرپوش آبششی نیز در لحظات اولیه پس از اضافه کردن فلزات بیش‌تر بود که بعد از آن به‌صورت گاه‌گاهی اتفاق می‌افتاد. همه این مشاهدات می‌تواند نشان‌دهنده کیفیت اکوسیستم‌های آبی از نظر آلاینده‌ها باشد. علائم عصبی یا واکنش‌های عصبی، شبیه حرکات تشنجی و از دست دادن تعادل در تیمارهای فلزی برای ماهی سفید مشاهده نشد.

شاخص‌های رشد: نتایج مربوط به شاخص‌های رشد در جدول ۳ ارائه شده است. افزودن غلظت‌های تحت‌کشنده فلزات مس و سرب به آب، تفاوت‌های آماری معنی‌داری در رابطه با شاخص‌های رشد را در بین تیمارهای آزمایشی نشان داد (P<۰/۰۵). ماهیان گروه شاهد رشد بهتری نسبت به تیمارهای فلزی داشتند. شاخص‌های رشد در تیمار یک (۱۳/۴ میلی‌گرم بر لیتر نیترات سرب) نسبت به گروه شاهد فاقد اختلاف معنی‌دار بود (P>۰/۰۵). درحالی‌که شاخص‌های رشد در تیمارهای ۲، ۳ و ۴ نسبت به گروه شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بودند. شاخص‌های رشد بین تیمارهای ۲ و ۳ نیز فاقد اختلاف معنی‌دار بود (P>۰/۰۵). به‌طوری‌که ماهیان گروه شاهد دارای بیش‌ترین وزن نهایی، افزایش وزن بدن، نرخ رشد ویژه و کم‌ترین مقدار نرخ تبدیل غذایی بودند. از طرفی کم‌ترین نرخ رشد ویژه و بیش‌ترین نرخ تبدیل غذایی مربوط به تیمار چهار (۰/۲۲ میلی‌گرم بر لیتر سولفات مس) بود (P<۰/۰۵). افزایش نرخ تبدیل غذایی فقط در تیمار چهار (۰/۲۲ میلی‌گرم بر لیتر سولفات مس) معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). برخی از مقادیر مربوط به شاخص‌های رشد در بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشتند، نظیر فاکتور وضعیت. این نتایج نشان می‌دهد که حضور فلزات سنگین مس و سرب در آب، حتی در غلظت‌های تحت‌کشنده اثرات منفی روی شاخص‌های رشد داشته و باعث کاهش رشد ماهی می‌شود. از طرفی نتایج نشان می‌دهد که فلز مس اثرات سوء بیش‌تری نسبت به فلز سرب بر روی شاخص‌های رشد می‌گذارد.

جدول ۲: تأثیر غلظت‌های مختلف فلزات مس و سرب روی برخی از شاخص‌های رشد ماهی سفید طی۶۰ روز پرورش

تیمار	شاهد	T1	T2	T3	T4
	بدون فلز	۱۳/۴ میلی‌گرم بر لیتر نیترات سرب	۲۶/۸میلی‌گرم بر لیتر نیترات سرب	۰/۱۱میلی‌گرم بر لیتر سولفات مس	۰/۲۲میلی‌گرم بر لیتر سولفات مس
شاخص‌های رشد					
وزن اولیه بر حسب گرم	۳/۹۰±۰/۰۶	۳/۹۳±۰/۰۷	۳/۹۰±۰/۰۵	۳/۸۷±۰/۰۴	۳/۹۱±۰/۱۸
وزن نهایی بر حسب گرم	۴/۷۴±۰/۰۶^{a}	۴/۷۱±۰/۰۸^{a}	۴/۶۳±۰/۰۶^{b}	۴/۶۲±۰/۰۶ ^{b}	۴/۴۲±۰/۱۷^{c}
افزایش وزن(BWI) بر حسب گرم	۰/۸۴±۰/ ۰۱^{a}	۰/۷۹±۰/۰۲^{ab}	۰/۷۳±۰/۰۲^{b}	۰/۷۵±۰/۰۶^{b}	۰/۵۲±۰/۰۳^{c}
درصد افزایش وزن بدن (PBWI) (%)	٪۸۴ ^{a}	٪۷۹ ^{ab}	٪۷۳ ^{b}	٪۷۵ ^{b}	٪۵۲ ^{c}
نرخ رشد ویژه (SGR) (% BW day^{-1})	۰/۳۲±۰/۰۱^{a}	۰/۳۰±۰/۰۱^{ab}	۰/۲۸±۰/۰۱^{b}	۰/۲۹±۰/۰۳^{ab}	۰/۲۰±۰/۰۲^{c}
نرخ تبدیل غذای(FCR)(%)	۰/۶۰±۰/۰۱^{a}	۰/۶۳±۰/۰۲^{a}	۰/۶۸±۰/۰۲^{a}	۰/۶۶±۰/۰۶^{a}	۰/۹۵±۰/۰۸^{b}
فاکتور وضعیت(CF)	۰/۸۲±۰/۰۱^{a}	۰/۸۲±۰/۰۱^{a}	۰/۸۳±۰/۰۱^{a}	۰/۸۱±۰/۰۱^{a}	۰/۷۹±۰/۰۳^{a}
وزن اولیه بر حسب گرم	۳/۹۰±۰/۰۶	۳/۹۳±۰/۰۷	۳/۹۰±۰/۰۵	۳/۸۷±۰/۰۴	۳/۹۱±۰/۱۸

اعداد در یک ردیف با حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌داری هستند (P<۰/۰۵).

در این پژوهش تعیین غلظت کشنده فلزات سنگین مس و سرب، تغییرات رفتاری و برخی از شاخص‌های ماهیان سفید ۳ تا ۵ گرمی مورد بررسی قرار گرفت. که براساس نتایج به‌دست آمده میزان غلظت کشنده برای فلز مس در طی ۹۶ ساعت برای ۵۰٪ از بچه‌ماهیان سفید ۲/۳۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و برای فلز سرب ۲۶۸/۰۶۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

در تحقیقی که توسط گل‌مروی و همکاران (۱۳۸۶) بر روی بچه‌ماهیان سفید ۱ گرمی صورت گرفت میزان LC_{50} در طی ۹۶ ساعت برای مس و سرب به‌ترتیب ۱/۹۲ و ۲۵۹/۱۲ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد. نسبت به مقادیر به‌دست آمده در این تحقیق کم‌تر می‌باشد که نشان می‌دهد سن و اندازه ماهی در سمیت فلزات تاثیر دارد، چرا که با افزایش سن و اندازه ماهی مقاومت در برابر فلزات سنگین نیز بیش‌تر می‌شود. مطابق تحقیق انجام شده توسط Alam و Maughan (۱۹۹۵) بر روی ماهیان کپورمعمولی جوان با اندازه‌های طولی ۴ و ۶ سانتی‌متر که میزان LC_{50} برای مس در طی ۹۶ ساعت به‌ترتیب ۰/۳ و ۱ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد.

در تحقیقی که توسط Lam و Powaiko (۱۹۹۸) بر روی تیلاپیا و کپورمعمولی صورت گرفت میزان LC_{50} برای فلز مس در طی ۹۶ ساعت، برای کپورمعمولی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر و برای تیلاپیا ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد.

این نتایج نیز بیان‌گر این مطلب می‌باشند که حساسیت گونه‌های مختلف نسبت به فلزات متفاوت می‌باشد. البته عوامل دیگری نیز در این میان دخیل می‌باشند، از جمله خصوصیات

فیزیکی و شیمیایی آب نظیر سختی آب، دما، اسیدیته و... مثلاً اغلب فلزات در آب‌های سبک نسبت به آب‌های سنگین سمیت بیش‌تر دارند.

واکنش‌های رفتاری که شامل بی‌قراری، شنای سریع و نامنظم، جهش و انجام فعالیت‌های اضافی می‌باشد، در لحظات اولیه از اضافه کردن فلزات بیش‌تر قابل‌ملاحظه بود. در رابطه با تغییرات فیزیولوژیکی و رفتاری، ناجی و همکاران (۱۳۸۵) طی تحقیقی دریافتند ماهیانی که تحت تاثیر فلزسنگین قرار گرفتند دچار اختلالات تنفسی شدند به‌طوری‌که سرپوش آبششی را تندتر باز و بسته کرده و در اطراف سنگ هوا و حباب‌های هوا شنا می‌کردند. رنگ ماهیان نیز در طول این دوره روشن بوده و ماهی دچار رنگ پریدگی بود. در هنگام آزمایش تعیین محدوده کشندگی، در غلظت‌های بالا، رفتار و حالت‌های غیرعادی ماهیان افزایش می‌یافت. در آبشش‌ها نیز علایمی نظیر کم‌خونی و رنگ‌پریدگی قابل مشاهده بود، که نتایج آن‌ها با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

در بررسی شاخص‌های رشد در معرض فلزات مس و سرب نیز نشان داد که حضور این فلزات در غلظت‌های تحت‌کشنده موجب کاهش رشد شده و اثرات سوئی بر روی شاخص‌های رشد می‌گذارند که در این میان فلز مس اثرات سوء بیش‌تری نسبت به فلز سرب داشت. نتایج این تحقیق مطابق است با نتایج به‌دست آمده توسط Kim و Kang (۲۰۰۴) که گزارش دادند کاهش نرخ رشد ماهی *Sebartes schlegeli* تحت استرس فلز مس که رشد آن با در معرض قرارگیری مس رابطه معکوس دارد. Hayat و همکاران (۲۰۰۷) نیز ماهیان انگشت‌قد سه گونه کپور *Cirrhina mrigala*، *C. catla* و *Labeo rohita* را به‌مدت ۳۰ روز در معرض غلظت‌های تحت‌کشنده فلز منگنز قرار دادند. در طول این دوره هر سه گونه ماهی رشد منفی از خود نشان دادند. هم‌چنین نتایج این تحقیق با یافته‌های Mohanty و همکاران (۲۰۰۹) که اثر سولفات مس را روی بقاء و رشد کپورهندی (*C. mrigala*) طی ۶۰ روز مورد بررسی قرار دادند، مطابق است. آن‌ها اختلاف معنی‌داری برای نرخ رشد ویژه بین گروه شاهد و تیمار فلزی مشاهده کردند ($p<۰/۰۱$). گروه شاهد نرخ رشد ویژه بهتری نسبت به تیمار فلزی داشت. نتایج این تحقیق هم‌چنین با یافته‌های Javed و همکاران (۱۹۹۳) که کپورماهیان هندی (*C. mrigala*) را تحت استرس غلظت تحت کشنده سرب قرار دادند، مطابق است که نتایج کاهش معنی‌داری در افزایش وزن بدن (۳۵/۵۲ ± ۴۲/۲۰ گرم) نسبت به ماهیان شاهد (۲۹/۴۷ ± ۵۵/۵۵ گرم) نشان داد. با توجه به نتایج این تحقیق و نتایجی که محققین دیگر به آن دست یافته‌اند، فلزات سنگین باعث اثرات سوء بر روی شاخص‌های رشد ماهیان می‌شوند که این اثرات سوء می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی از جمله برهم خوردن تعادل یونی و ایجاد اختلال در متابولیسم باشد.

هم‌چنین نتایج به‌دست آمده نشان داد فلز مس نسبت به فلز سرب برای ماهی سفید سمیت بیش‌تری دارد، که سمیت کم‌تر سرب ناشی از تمایل زیاد آن به واکنش با املاح آب به‌خصوص کربنات‌ها و در نتیجه رسوب و خارج شدن آن از ستون آب می‌باشد (Anderson و Morel، ۱۹۸۷).

در هر صورت نتایج این تحقیق و تحقیقات دیگر نشان می‌دهد که واکنش‌های رفتاری ماهی در اغلب مسمومیت‌ها در ماهیان مختلف تا حدودی یکسان بوده و تغییرات ایجاد شده در جهت مقابله با عامل مسمومیت‌زا می‌باشد. از طرفی نوع گونه، سن و اندازه ماهی، روش‌های آزمایشی و کیفیت آب از قبیل سختی می‌توانند روی سمیت مواد سمی موثر باشند.

منابع

۱. **امیدی، س.، ۱۳۷۶.** بررسی میزان فلزات سنگین در آب‌های ساحلی استان بوشهر. مؤسسه تحقیقات شیلات ایران. مرکز تحقیقات شیلاتی خلیج فارس بوشهر. صفحات ۲ تا ۴ و ۲۶ تا ۲۹.

۲. **گل‌مروی، د.؛ نظامی، ش.؛ نگارستان، ح. و خارا، ح.، ۱۳۸۶.** بررسی و اندازه‌گیری غلظت کشنده فلزات سنگین مس و سرب بر ماهی سفید دریایی خزر. مجله علمی شیلات ایران. شماره ۴، صفحات ۱۶۹ تا ۱۷۴.

۳. **ناجی، ط.؛ صفائیان، ش.؛ رستمی، م. و صبرجو، م.، ۱۳۸۵.** بررسی اثرات سولفات روی بر بافت آبشش بچه‌ماهی کپورمعمولی. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. شماره ۲، صفحات ۳۰ تا ۳۶.

4. **Ai, Q.; Mai, K.; Tan, B.; Xu, W.; Duan, Q.; Ma, H. and Zhang, L., 2006.** (*Pseudosciaena crocea*). Aquaculture. Vol. 260, pp: 255-263.
5. **Alam, M.K. and Maughan, G., 1995.** Acute toxicity of heavy metals to common carp, J. ENVIRON-SCI.-Health.Vol. 30, No. 8, PP: 1807-1816.
6. **Anderson, D.M. and Morel, F., 1987.** Copper sensitivity of gonyaulax tamarens. Oceanography journal. Vol. 5, No. 2, pp: 310-340.
7. **Austreng, E., 1978.** Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. Aquaculture. Vol. 13, pp: 265-272.

8. **Barak, N.A.E. and Mas On, C.E., 1990.** Mercury, Cadmium and lead concentration in five species of freshwater fish from eastern England. Science of the Total Environmen. Vol. 92, pp: 257-64.
9. **Bekcan, S.; Dogankaya, L. and Cakirogullari, G.C., 2006.** Growth and body composition of European Catfish *(Silurus glanis* L.) fed diet containing different percentages of protein. The Israeli Journal of Aquaculture- Bamidged. Vol. 58, No. 2, pp: 137-142.
10. **Colins, S.P. and Brown, J.A., 1998.** Lamellara adhension and impactions forgaseous exchange in Broun trout exposed to low levels of aluminium. Department of Biological Science. Hatherly Laboratories. University of Exeter. Devon, EX4 4PS. UK. pp: 51-55.
11. **De Boeck, G.; Vlaeminck, A. and Blust, R., 1997.** Effects of sublethal copper exposure on copper accumulation, food consumption, growth, energy stores, and nucleic acid content in common carp. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. Vol. 33, pp: 415-422.
12. **Finpederson, R., 1994.** Ecotoxicological Evaluation of indutrial waste water. Ministry of the Envoronment. Denmark. pp: 360-380.
13. **Hayat, S.; Javed, M. and Razzaq, S., 2007.** Growth performance of metal stressed major carps viz. *Catla catla*, *Labeo rohita* and *Cirrhina mrigala* reared under semi-intensive culture system. Pakistan Vet. J. Vol. 27, pp: 8-12.
14. **Heath, A.G., 1995.** Water pollution and fish physiology. Boca Raton: CRC press. pp: 141-170.
15. **Hevroy, E.M.; Espe, M.; Waagbo, R.; Sandness, K.; Rund, M. and Hemer, G.I., 2005.** Nutrition utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed increased level of fish protein hydrolysate during a period of fast growth. Aquaculture Nutrition. Vol. 11, pp: 113-125.
16. **Javed, M., 2005.** Heavy metal contamination of freshwater fish and bed sediments in the river Ravi stretch and related tributaries. Pakistan J. Biol. Sci. Vol. 8, pp: 1337-1341.
17. **Javed, M.; Hassan, M. and Javed, K., 1993.** Length weight relationship and condition factor of *Catla catla*, *Labeo rohita* and *Cirrhina mrigala* reared under polyculture condition of pond fertilization and feed supplementation. Pak. J. Agri. Sci. Vol. 30, No. 2, pp: 167-172.
18. **Kim, S.G. and Kang, J.C., 2004.** Effect of dietary copper exposure on accumulation, growth and hematological parameters of the juvenile rockfish, (*Sebstes schlegeli*). Mar. Environ. Res. Vol. 58, pp: 65-82.
19. **Lam, K. and Powaiko, L., 1998.** Metal Toxicity and Metallothionein Gene expression studies in common carp and Tilapia. Marine Environmental Research. Vol, 46, No. 1-5, PP: 563-566.
20. **Mohanty, M.; Adhikari, S.; Mohanty, P. and Sarangi, N., 2009.** Role of waterborne copper on survival, growth and feed Intake of Indian major carp, *Cirrhinus mrigala Hamilton*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. Vol. 82, pp: 559-563.
21. **Nussey, G.; Van Vuren, J.H.J. and Preez, H.H., 1995.** Effect of copper on the haematology and osmoregulation of the Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Cichlidae). Comparative Biochemistry and Physiology. Vol. 111C, pp: 369-380.
22. **Rand, G.M., 1995.** Fundamentals of aquatic toxicology. Second edition, Ecological Services Inc. Vol. 23, 338 p.
23. **Roesijadi, C. and Robinson, W., 1994.** Metal regulation in aquatic animals*:* Mechanisms of uptake, Accumulation and release. In: DC Malins and GK Ostrander (Eds). Aquatic toxicology, molecular, biochemical and cellular perspectives. Boca Raton. CRC Press. pp: 387-420.
24. **Scherer, E.; McNicol, R.E. and Erans, R.E., 1997.** Impairment of lake trout foraging by chronic exposure to cadmium. A black-box experiment Aquat. Toxicol. Vol. 37, pp: 1-7.
25. **Sorensen, E. M., 1991.** Metal poisoning in fish. CRC press: Boca Raton. pp: 175-234.
26. **Tacon, A.G.J., 1990.** Standard methods for the nutrition and feeding of famed fish and shrimp. Argent Laboratories Press. pp: 4-24.