ارزیابی تغییرات بافتی ماهی کپور معمولی(*Cyprinus carpio*) و کلمه (*Rutilus caspicu*) تحت سمیت‌حاد با سولفات‌مس

محمد فرهنگی [1*]، حجت‌اله جعفریان [1]

۱- گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۴

چکیده

مس به‌عنوان یک میکروالمنت برای ماهیان ضروری است که می‌توانند آن را از محیط‌آبی یا جیره‌غذایی به‌دست بیاورند. از طرف دیگر سولفات‌مس یک جلبک‌کش موثر برای کنترل جلبک در مزارع پرورش‌ماهی است. به‌همین منظور آزمایش سمیت برای پیش‌بینی غلظت‌های ایمن از مواد شیمیایی محیط‌زیست ضروری به‌نظر می‌رسد. این مطالعه به‌منظور بررسی تلفات ناشی از مسمومیت‌حاد با مس ($CuSO_4$, 96h) در ماهیان کلمه و کپور اجرا گردید. در هر تیمار تعداد ۱۳ قطعه بچه‌ماهی کلمه و کپورمعمولی به‌ترتیب با میانگین وزنی ۰/۵±۲ و ۲/۲±۲۰ گرم در معرض غلظت‌های مختلفی از مس قرار گرفتد. آزمایش‌ها به‌روش آب‌ساکن در مدت ۹۶ ساعت اجرا شد. در آزمایش‌ها از غلظت‌های مختلف سولفات مس شامل ۰ (شاهد)، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۴۵ و ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر استفاده شد. در شرایط ثابت دما و pH (^{OC}۱±۲۵ = T، ۰/۲ ± ۷/۸ = pH) غلظت‌کشنده (LC50) مس در مدت ۹۶ ساعت به‌ترتیب ۰/۴ و ۰/۴۵ میلی‌گرم در لیتر برای ماهی کلمه و کپور معمولی به‌دست آمد. نتایج اختلاف معنی‌داری را در بین گروه‌ها و گروه شاهد نشان داد ($P<0.05$). به‌طوری که با افزایش مقادیر مختلف مس در تیمارها، نرخ مرگ‌ومیر ماهیان در هر تیمار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P<0.05$). به‌منظور مطالعات بافت‌شناسی از هر تیمار ۳ نمونه ماهی به‌صورت تصادفی انتخاب و مقاطع بافتی شامل آبشش، کبد و کلیه تهیه شدند. نمونه‌های تهیه شده با استفاده از روش رنگ‌آمیزی هماتوکسیلین-ائوزین (H&E) آماده و اثرات سمیت مس بر ارگان‌ها به کمک میکروسکوپ نوری مطالعه شدند. مطالعات آسیب‌شناسی بافت-های تهیه شده از ماهیان نشان داد، بیشترین ضایعات ناشی از مسمومیت‌حاد شامل پرخونی، خون‌ریزی، هیپرپلازی، تخریب مجاری‌کلیوی و نکروز سلولهای‌کبدی در تیمارهای ۰/۴۵ ، ۰/۴ ، ۰/۳ مشاهده شد. در گروه شاهد ضایعه‌ای مشاهده نشد.

کلمات کلیدی: آسیب‌شناسی بافت، مس، مرگ‌ومیر، آب‌ساکن، کلمه، کپورمعمولی.

* عهده‌دار مکاتبات (✉). s.farhangi@yahoo.com

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]

مقدمه

حضور فلزات در آب از جمله مواردی هستند که سبب برهم زدن کیفیت آب می‌شوند و همواره از فاکتورهای اساسی کاهش تولید آبزیان به‌حساب می‌آیند، به‌طوری که نوسانات غلظت آنها سبب ناپایداری محیط می‌شود. فلزات سمی که در اثر فاضلاب‌های صنعتی، شهری و پساب‌های کشاورزی درون منابع آبی انباشته می‌شوند، در برابر تجزیه‌شدن مقاوم می‌باشند و در بدن آبزیان تجمع می‌یابند. میزان جذب و تجمع فلزات سمی توسط آبزیان به نوع عنصر، گونه‌آبزی، فیزیولوژی بدن جاندار، شرایط اکولوژیک، رفتار تغذیه‌ای، آلودگی‌های محیطی، سطح‌غذا، سن، اندازه، زمان ماندگاری فلزات و فعالیت‌های تنظیمی همئوستازی بدن بستگی دارد (Talas and Gulhan, 2009). تصور می‌شود که مس در رژیم غذایی ضروری باشد. با این حال زمانی که غلظت مورد استفاده بیش از حد نیاز باشد و یا اینکه هر روز وارد بدن شود، می‌تواند مضر باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵). اثرات مضر آن هم با غلظت و هم با طول‌مدت در معرض بودن فلز افزایش می‌یابد. سولفات‌مس قابل حل بوده و وقتی با آب مخلوط شود، به شکل محلول در می‌آید. باید توجه داشت که گرچه سمیت مواد برای موجودات‌آبی به‌طور مجزا مورد مطالعه قرار می‌گیرد، ولی اکوسیستم‌های آبی به‌طور همزمان در معرض مخلوطی از مواد سمی قرار دارند. مطالعات مقایسه‌ای سمیت مواد نشان داد که سمیت ترکیبی مواد سمی اثرات متفاوت‌تری را نسبت به سمیت ترکیب ساده مواد دارد (Bagdonas and Vosylienė, 2006). اثر مسمومیت شدید در شکل ظاهری، در دو مرحله آنی و تاخیری اتفاق می‌افتد. در مرحله آنی گیجی و کاهش شدت‌تنفس، پرش از آب و در مرحله تاخیری بی‌رنگی پوست و نهایتا مرگ می‌باشد (Farhangi *et al.*, 2014). ترکیبات مس برای کنترل بیماری‌های ماهی استفاده می‌شود. ترکیبات مس‌دار همچنین برای کنترل جلبک‌ها، کشتن حلزون‌ها در سیستم‌های آبیاری و سیستم‌های آب شهری استفاده می‌شوند (Altas, 2009). سمیت مس برای زندگی آبزیان با شرایط فیزیک‌وشیمیایی آب تغییر می‌کند. فاکتورهایی از قبیل سختی‌آب، خاصیت قلیایی، پی‌اچ، اکسیژن‌محلول و دما بر سمیت مس بر ماهی اثر می‌گذارند (Mustafa *et al.*, 2012). با توجه به اهمیتی که سولفات‌مس و مسمومیت با آن در ماهیان و میگو دارد تحقیقات زیادی در این رابطه صورت گرفته است. Boeck و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه سمیت مس در ماهی کاراس ثابت کردند که سمیت مس در درجه اول به کاهش میزان سدیم در بدن بستگی داشته و در واقع یک نوع سمیت اسمزی است. معمولا آبشش اولین بافت در مواجهه با تغییرات محیطی و سموم است و مواجهه طولانی مدت با آلودگی سبب اثرات تخریبی قابل مشاهده در این بافت خواهد شد (Svecevicius *et al.*, 2012). حسینی و همکاران (۱۳۹۴) محدوده کشندگی سولفات‌مس را برای بچه‌ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان برابر ۱۰۰۰-۱ میلی‌گرم در لیتر بدست آورند. Hoseini و Nodeh (۲۰۱۲) با مطالعه اثرات سمیت مس و جیوه بر روی ماهی کلمه دریای‌خزر نشان دادند که کمترین غلظت موثر برای مس در مدت۹۶ ساعت برابر ۰/۲ میلی‌گرم درلیتر بود (LOEC). Arunai و Balambiga (۲۰۱۱) میزان غلظت نیمه‌کشنده سولفات‌مس را در مدت ۷۲ ساعت در ماهی کپورمعمولی ۸ میلی‌گرم در لیتر گزارش دادند. این نتایج بیانگر واکنش متفاوت گونه‌های متعدد

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]

ماهی در شرایط متفاوت به سولفات‌مس و دیگر سموم است. مطالعات ثابت کرده است که مس یکی از آلاینده‌های مهم دریای خزر است (Taghipour and Azizi, 2011)، لذا ضرورت انجام این طرح با هدف ارزیابی تغییرات بافتی ماهی کپور *Cyprinus carpio* و کلمه *Rutilus caspicus* در مواجه حاد با سولفات مس صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

۲۵۰ قطعه ماهی کپورمعمولی با وزن متوسط ۳±۲۰ گرم از کارگاه پرورش‌ماهی سد وشمگیر- آق‌قلا از توابع استان گلستان تهیه شد. ۲۵۰ قطعه ماهی کلمه نیز با میانگین وزنی ۰/۵±۲ گرم از کارگاه تکثیر و پرورش ماهیان استخوانی بندرترکمن (کلمه سیجوال) تامین گردید. ماهی‌ها قبل از انجام آزمایش در آکواریوم جداگانه‌ای نگهداری شدند. این ماهیان قبل از آزمایش با غذای کپورمعمولی (مخلوط کنسانتره و آردگندم) به‌میزان کم تغذیه شدند. ماهیان پس از انتقال به آزمایشگاه هیدروبیولوژی دانشگاه گنبدکاووس از نظر سلامت مورد معاینه قرار گرفتند. آزمایش‌ها تحت شرایط ثابت از نظر دما و pH (به‌ترتیب ^{OC}۱±۲۵ و ۰/۲± ۷/۸) در مدت ۹۶ ساعت برای هر گروه صورت گرفت. آزمایش‌ها با استفاده از روش آب‌ساکن (Water Static Method) صورت گرفت (Gul *et al.*, 2009). در طول آزمایش‌ها از سنگ‌هوا استفاده شد. شدت اکسیژن تولیدی توسط سنگ‌هوا در طول شبانه-روز معادل ۱/۹ میلی‌گرم در لیتر بود. در طول آزمایش-ها غذادهی قطع گردید. آزمایش‌ها در مخازن پلاستیکی با حجم آبی ۳ و ۱۰ لیتر به‌ترتیب برای ماهی کلمه و کپور استفاده شد. در طول مدت آزمایش درصدتلفات و علائم ظاهری مسمومیت (شنای‌ناموزون، تهویه‌ناموزون، رفتارهای‌عصبی) در ماهی ثبت گردید. ۱۳ قطعه بچه‌ماهی از هر نوع در معرض غلظت‌های مختلف نمک سولفات‌مس (۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۴۵ میلی‌گرم در لیتر) قرار گرفتند. یک گروه ۱۳ تایی نیز به‌عنوان شاهد (بدون سولفات‌مس) در نظر گرفته شد (Boeck *et al.*, 2010). برای تعیین غلظت-های سولفات‌مس، پس از تعیین حجم آب به ازای واحدحجمی، سولفات‌مس توزین و به آب اضافه گردید. برای حل کردن سولفات‌مس درآب‌مخزن، ابتدا آن‌را در بشر حل و سپس محلول حاصل به آب اضافه گردید تا محلول یکنواختی به‌دست آید. پس از پایان آزمایش‌ها از ماهیان زنده و ماهیانی که در اثر مسمومیت با سولفات‌مس دچار تلفات شدند بلافاصله نمونه‌گیری به‌عمل آمد. از هر تیمار و تکرارهای آن ۳ عدد ماهی (در مجموع ۹ ماهی) انتخاب و نمونه‌هایی از کبد، کلیه و آبشش به‌صورت تصادفی به‌دست آمد. نمونه‌ها به‌طور جداگانه در ظرف‌های حاوی فرمالین ۱۰٪ فیکس و به آزمایشگاه بافت‌شناسی (پاتوبیولوژی-گرگان) انتقال و به‌روش مرسوم مقاطع بافتی توسط آزمایشگاه تهیه شد (Humason, 1962). از هر نمونه بافتی، سه نمونه لام به‌صورت مجزا تهیه شد. مقاطع‌بافتی تهیه شده به کمک رنگ‌آمیزی هماتوکسیلین–ائوزین (H&E)، آماده شدند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵). در نهایت تصاویر مقاطع تهیه شده توسط دوربین متصل به میکروسکوپ‌نوری و نرم‌افزار مربوطه به کامپیوتر انتقال یافته و مورد مطالعه قرار گرفتند (Ramírez-Duarte *et al.*, 2008). براساس کلیدهای شناسایی موجود آسیب‌های بافتی مورد مطالعه قرار گرفتند (Martoja and Martoja–Pierson, 1967;

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]

Roberts, 2012). آزمایش‌ها در طرح کاملا تصادفی متعادل ۶×۳ اجرا گردید. جهت تعیین غلظت‌های کشنده از منحنی شیب درصدتلفات در غلظت‌های مختلف و بر اساس مدل میکاییل-منتن (Green *et al.*, 2018) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS, 15 استفاده شد.

نتایج

نتایج حاصل از قرار گرفتن ماهی در معرض غلظت‌های مختلف مس

مطالعات نشان داد با افزایش مقادیر سولفات‌مس به ظروف آزمایشی، لفات هر ماهی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری که بعد از گذشت ۹۶ ساعت غلظت‌کشنده مس برای ماهی‌کپور و کلمه به‌ترتیب معادل ۰/۴۵ و ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد (جدول ۱). درصدتلفات ماهی‌کپور در غلظت‌های مختلف مس (۰/۵ و ۰/۴۵، ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲ ، ۰/۱ ، ۰ میلی‌گرم در لیتر) بعد ازگذشت ۹۶ ساعت به‌ترتیب برابر ۱۰۰ و ۱۰۰، ۹۲/۳۱، ۶۹/۲۳، ۴۶/۱۵، ۰ ، ۰ به‌دست آمد. این در حالی است که در غلظت‌های فوق درصد-تلفات ماهی‌کلمه در ۹۶ ساعت به‌ترتیب برابر ۰ ، ۷/۶۹، ۳۰/۷۷، ۸۴/۶۲ ۱۰۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ بود (جدول ۱).

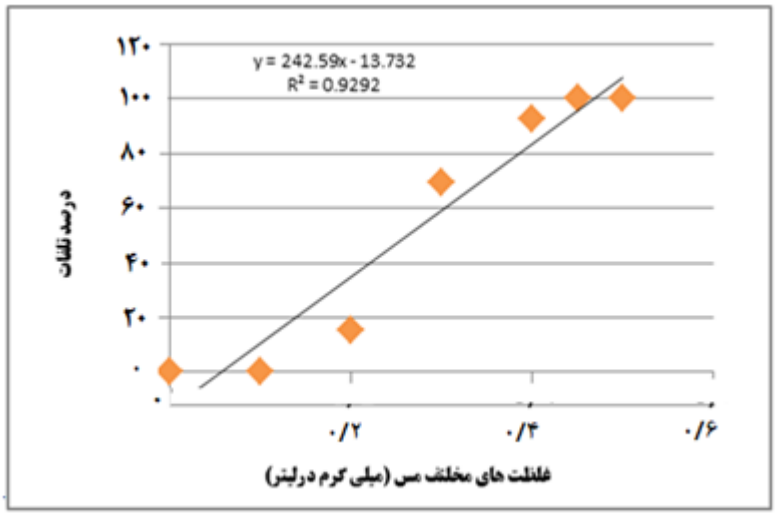
جدول ۱: درصد تلفات ماهی در برابر غلظت های مختلف مس بعد از گذشت ۹۶ ساعت

تیمار مورد آزمایش	غلظت‌مس (میلی‌گرم در لیتر)	تعدادتلفات		درصدتلفات	
		کپور	کلمه	کپور	کلمه
شاهد	۰	۰	۰	۰	۰
۱	۰/۱	۰	۱	۰	۷/۶۹
۲	۰/۲	۲	۴	۱۵/۳۸	۳۰/۷۷
۳	۰/۳	۹	۱۱	۶۹/۲۳	۸۴/۶۲
٤	۰/۴	۱۲	۱۳	۹۲/۳۱	۱۰۰
٥	۰/۴۵	۱۳	۱۳	۱۰۰	۱۰۰
٦	۰/۵	۱۳	۱۳	۱۰۰	۱۰۰

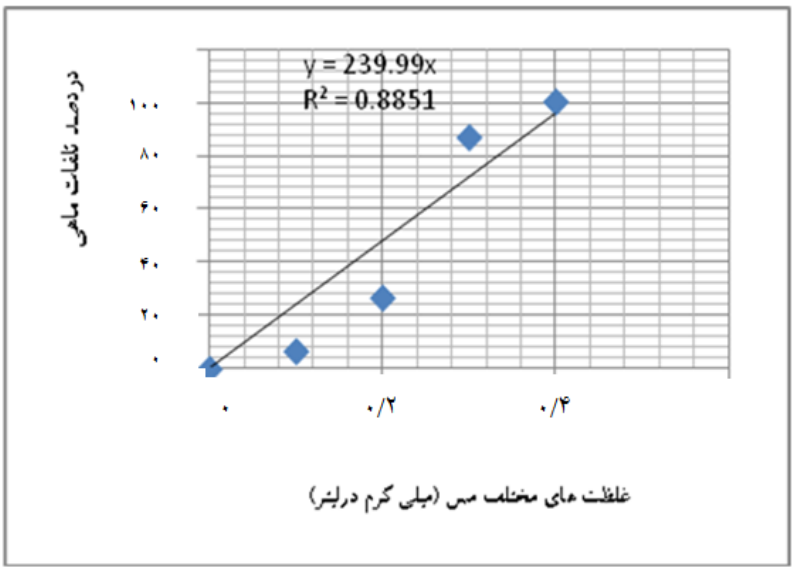
همان‌طوری که در جدول مشخص است، درصد-تلفات ماهی در غلظت ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر افزایش خیلی معنی‌داری را نسبت به غلظت ۰/۲ و ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر از خود نشان داد، به‌طوری که درصدتلفات ماهی کلمه از ۳۰/۷۷ به ۸۴/۶۲ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. با توجه به درصد تلفات‌ماهی و منحنی شیب‌خط-رگرسیون غلظت نیمه‌کشنده ($LC_{50,}96h$) مس برای ماهی‌کپور و ماهی‌کلمه به‌ترتیب برابر با ۰/۲۷۲ و ۰/۲۲۵ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد (شکل ۱).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]



الف- ماهی کپور



ب- ماهی کلمه

شکل ۱- منحنی شیب‌خط‌رگرسیون درصدتلفات ماهی در معرض غلظت‌های مختلف مس بعد از گذشت ۹۶ ساعت

الف- ماهی کپور ب- ماهی کلمه

مطالعات نشان داد، درصد تلفات‌ماهی کپور در غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر در ۲۴ ساعت اول برابر ۱۰۰ درصد بود. درصد تلفات‌ماهی در غلظت ۰/۴۵ میلی‌گرم در لیتر در ۲۴ساعت اول برابر ۳۸/۴۶ درصد، در۴۸ ساعت برابر ۶۹/۲۳ درصد، در۷۲ ساعت برابر ۹۲/۳۱ درصد و در ۹۶ ساعت برابر ۱۰۰٪ بود. این در حالی است که برای ماهی کلمه در غلظت‌های ۰/۴۵ و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر در ۳ ساعت اول آزمایش برابر ۱۰۰ درصد بود. درصد تلفات‌ماهی در غلظت ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر در ۲۴ساعت اول برابر ۵۳/۸۴ درصد، برای ۴۸ و ۷۲ ساعت برابر ۸۴/۶۱ درصد و در ۹۶ ساعت برابر ۱۰۰٪ بود. غلظت‌های کشنده‌مس برای

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]

ماهی کپور و کلمه با استفاده از نرم‌افزار پروبیت در مدت ۹۶ ساعت در جدول ۲,و ۳آمده است. همان‌طوریکه در جدول نمایش داده شده است میزان LC5096h برای ماهی کپور و کلمه به‌ترتیب۰/۲۷۴ و ۰/۲۲۵ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲: غلظت کشنده (LC_{10-95}) با حدود اطمینان ۹۵٪ در طی زمان ۹۶ ساعت

الف- ماهی کپور

LC	غلظت کشنده	حدود اطمینان	
		حدپایین	حدبالا
LC10	۰/۱۸۱	۰/۱۰۲	۰/۲۲۲
LC20	۰/۲۱۳	۰/۱۵۲	۰/۲۴۹
LC30	۰/۲۳۶	۰/۱۸۴	۰/۲۷۰
LC40	۰/۲۵۵	۰/۲۱۱	۰/۲۸۹
LC50	۰/۲۷۴	۰/۲۳۵	۰/۳۰۹
LC60	۰/۲۹۲	۰/۲۵۷	۰/۳۳۰
LC70	۰/۳۱۲	۰/۲۷۸	۰/۳۵۶
LC80	۰/۳۳۵	۰/۳۰۰	۰/۳۸۰
LC90	۰/۳۶۶	۰/۳۲۸	۰/۴۳۵
LC95	۰/۳۹۳	۰/۳۵۰	۰/۴۷۶

جدول ۳: غلظت کشنده (LC_{10-95}) با حدود اطمینان ۹۵٪ در طی زمان ۹۶ ساعت

ب- برای ماهی کلمه

LC	غلظت-کشنده	حدود اطمینان	
		حدپایین	حدبالا
LC10	۰/۱۳۰	۰/۰۵۱	۰/۱۷۱
LC20	۰/۱۶۳	۰/۱۰۲	۰/۱۹۹
LC30	۰/۱۸۶	۰/۱۳۶	۰/۲۲۱
LC40	۰/۲۰۲	۰/۱۶۴	۰/۲۴۲
LC50	۰/۲۲۵	۰/۱۸۷	۰/۲۶۳
LC60	۰/۲۴۴	۰/۲۰۹	۰/۲۸۷
LC70	۰/۲۶۴	۰/۲۲۹	۰/۳۱۴
LC80	۰/۲۸۷	۰/۲۵۱	۰/۳۴۹
LC90	۰/۳۲۰	۰/۲۷۹	۰/۴۰۰
LC95	۰/۳۴۷	۰/۳۰۰	۰/۴۴۳

نتایج حاصل از مطالعات رفتاری و آسیب-شناسی

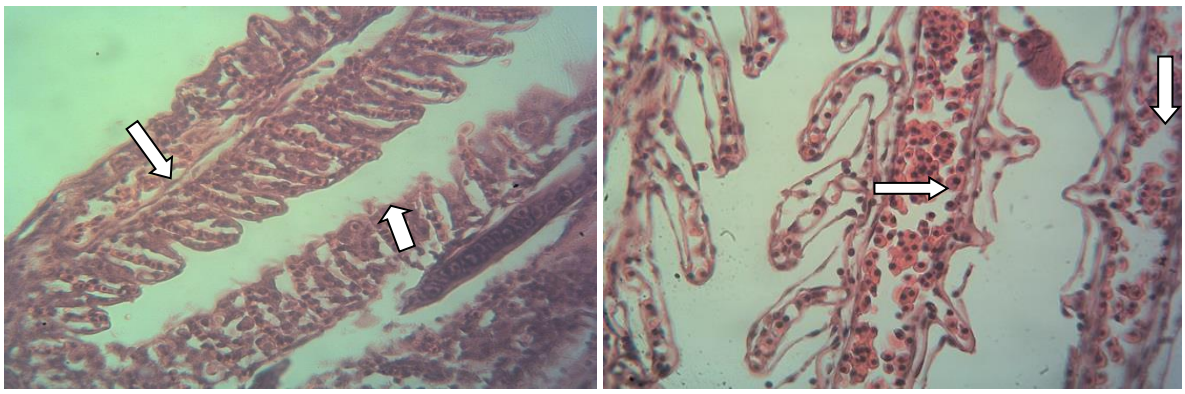
[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]

علائم ظاهری اولیه نشان داد که ماهی‌ها اضطراب اولیه را به‌صورت حرکات‌سریع در شناکردن، افزایش حرکات‌سریع سرپوش‌های آبششی و اکسیژن‌گیری از سطح آب نشان دادند. در نهایت بدن‌شان به‌طور کامل بی‌حرکت گشته و تمایل به استقرار در کف از خود نشان دادند. تشنجات‌عصبی، برخورد ماهی با کناره‌های تشت و قرمز شدن آبشش‌ها از دیگر علائم ظاهری مسمومیت در ماهی بود. نتایج نشان داد که تظاهرات ماهی در برابر سمیت با سولفات‌مس، با افزایش غلظت آن بیشتر شد. آسیب‌شناسی مقاطع‌بافتی تهیه شده از آبشش ماهیانی که در معرض غلظت‌کشنده مس قرار داشتند، نشان داد که در قسمت راس رشته‌های آبششی هیپرپلازی یا چماغی شدن رشته‌های آبششی رخ داده است که نتیجه این هیپرپلازی جوش‌خوردن بسیاری از لاملاها و کاهش سطح‌تنفس در برخی فیلامنت‌ها مشاهده شد. ادم در ناحیه لاملاهای ثانویه (شکل ۲) و خون‌ریزی و پرخونی (شکل ۳) در آبشش به‌وضوح دیده شد. در بافت کلیه و کبد ماهیان قرار گرفته در معرض غلظت‌کشنده‌مس ضایعات همچون دژنره شدن توبول‌های کلیوی (شکل ۴)، خون‌ریزی (شکل ۵)، نفوذ سلول‌های‌آماسی و تخریب سول‌های‌کبدی به‌وضوح دیده شد (شکل ۶).

(۱) بزرگنمایی ۴۰۰×　　(۲) بزرگنمایی ۱۰۰۰×

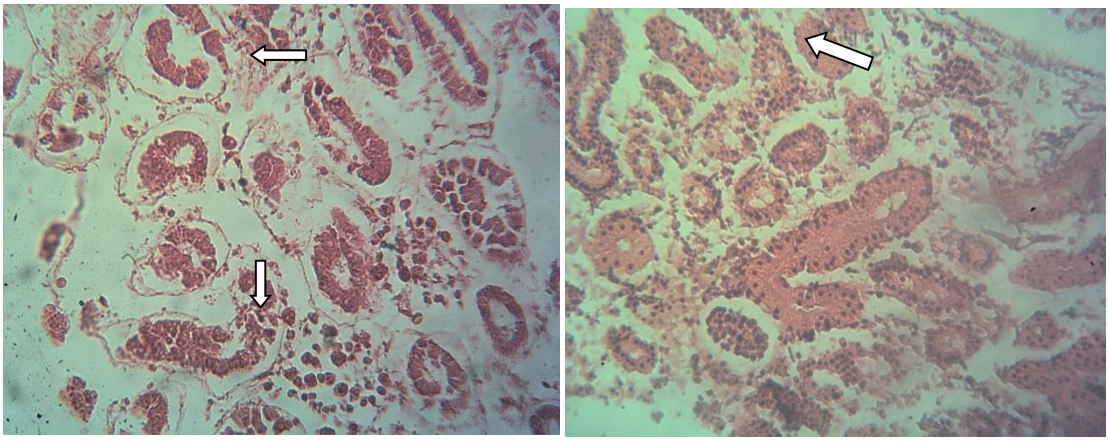
شکل ۲: بافت آبشش ماهی‌کپور (۱) و کلمه (۲) در غلظت‌کشنده سولفات‌مس. نوک پیکان ادم و چماقی شدن رشته‌های آبشش را نشان می‌دهد



(۱) بزرگنمایی ۴۰۰×　　(۲) بزرگنمایی ۲۰۰×

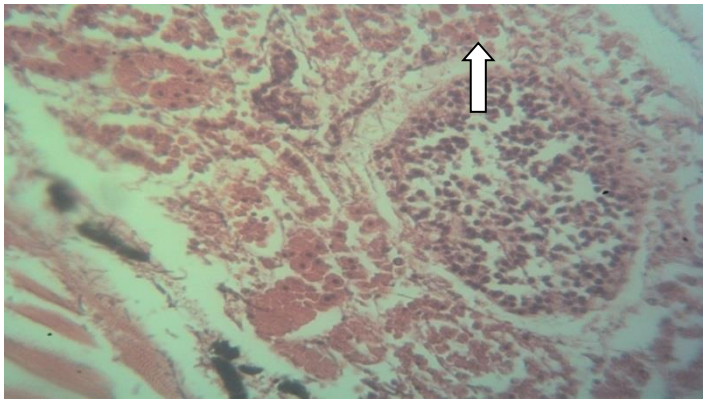
شکل ۳- بافت آبشش ماهی‌کپور (۱) و کلمه (۲) در غلظت‌کشنده سولفات‌مس. نوک پیکان‌ها پرخونی را نشان می‌دهد

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]

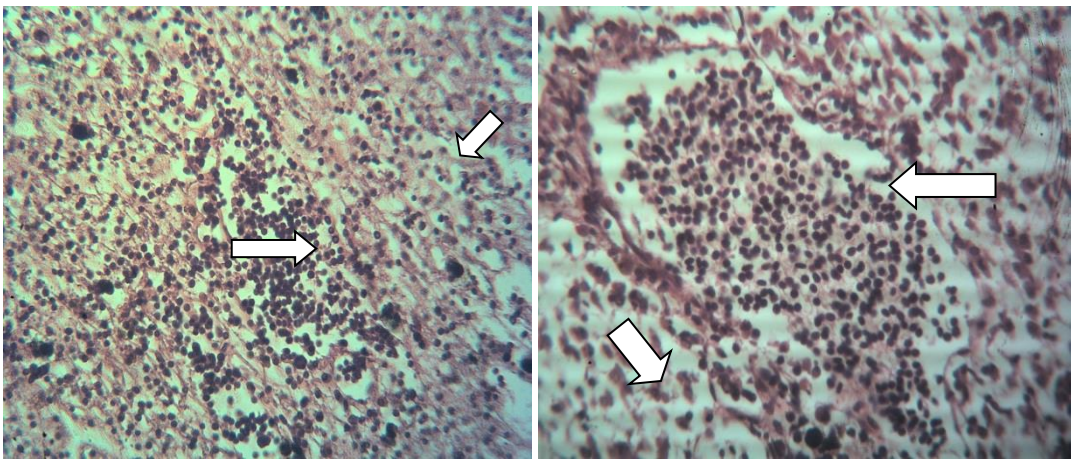


(۱) بزرگنمایی ۲۰۰× (۲) بزرگنمایی ۴۰۰×

شکل ۴- بافت کلیه ماهی کلمه (۱) و کپور (۲) در غلظت کشنده سولفات‌مس. نوک پیکان تخریب مجاری کلیوی را نشان می‌دهد



شکل ۵- بافت کلیه ماهی کلمه در غلظت کشنده سولفات‌مس. نوک پیکان خونریزی را نشان می‌دهد



(۱) بزرگنمایی ۴۰۰× (۲) بزرگنمایی ۱۰۰×

شکل ۶- بافت کبد ماهی کپور (۱) و کلمه (۲) در غلظت کشنده سولفات‌مس. نوک پیکان نفوذ سلول‌های آماسی و تخریب سلول‌های کبدی را نشان می‌هد

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]

بحث

مطالعات بافت‌شناسی یکی از راه‌های موثر در بررسی آسیب‌های وارد شده در مسمومیت‌هاست. آزمایش‌های حاضر به‌منظور بررسی مسمومیت حاد (96h) سولفات‌مس بر ماهی‌کپور و کلمه و تعیین ضایعات ناشی از آن بر بافت‌های آبشش، کبد و کلیه ماهیان تحت شرایط آزمایشگاهی صورت گرفت. مسمومیت‌زایی سولفات‌مس در ماهیان در شرایط مختلف محیطی و گونه‌های مختلف گزارشات متعددی وجود دارد. بر اساس مطالعات مختلف مشخص شده است که غظت‌کشنده مس برای ماهیان از ۰/۲ تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر براساس سختی، pH ، گونه و سن ماهی می‌تواند متفاوت باشد (Giguere *et al.*, 2004;). به‌عنوان Vosylienė و Bagdonas (۲۰۰۶) غلظت نیمه‌کشنده مس را برای ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در مدت ۹۶ ساعت برابر ۰/۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آورند. مشتاقی و همکاران (۱۳۹۱) با مطالعه اثرات سمیت‌حاد سولفات‌مس و پرمنگنات‌پتاسیم در بچه تاس‌ماهیان ایرانی غلظت‌کشنده فلز مس و پرمنگنات-پتاسیم را در مدت ۹۶ ساعت به‌ترتیب برابر ۰/۱۵ و ۰/۴۱ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آوردند. Arunai و Balambiga (۲۰۱۱) میزان غلظت نیمه‌کشنده سولفات-مس را در مدت ۷۲ ساعت در ماهی کپورمعمولی ۸ میلی‌گرم در لیتر گزارش دادند. این نتایج بیانگر واکنش متفاوت گونه‌های متعدد ماهی در شرایط متفاوت به سولفات‌مس و دیگر سموم است. در مطالعه حاضر نیز سمیت سولفات‌مس در ماهی کلمه و کپور متفاوت بود، به‌طوریکه غلظت کشنده‌مس در ماهی‌کلمه ۰/۴ و در ماهی‌کپور ۰/۴۵ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد. پس از رسم منحنی درصدتلفات‌ماهی در غلظت‌های مختلف، غلظت نیمه‌کشنده‌مس برای ماهی‌کپور و کلمه بعد از گذشت ۹۶ ساعت به‌ترتیب برابر ۰/۲۷۲ و ۰/۲۲۵میلی-گرم در لیتر به‌دست آمد (جداول ۲و ۳). همان‌طوری که در جدول ۱ نشان داده شده است با افزایش غلظت-مس در آزمایش‌ها درصد تلفات‌ماهی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P<0.05$). آزمایش‌های مقدماتی نشان داد، غلظت بی‌اثر برای فلز مس برابر ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر بود که در این غلظت‌ها هیچگونه تلفاتی مشاهده نشد (NOEC). این درحالی است که Hoseini و Nodeh (۲۰۱۲) با مطالعه اثرات سمیت‌مس و جیوه بر روی ماهی‌کلمه دریای‌خزر نشان دادند که کمترین غلظت موثر برای مس در مدت۹۶ ساعت برابر ۰/۲ میلی‌گرم درلیتر بود (LOEC). غلظت نیمه‌کشنده هیچ-گاه یک مقدار ثابت مطلق نمی‌باشد، زیرا عوامل بسیاری نظیر اختلافات فردی، سنی، جنسی، وزنی، فاکتورهای‌محیطی در تعیین آن موثرند. پس از شروع آزمایش و تشدید مسمومیت ماهیان اضطراب اولیه خود را با حرکات سریع شنا، افزایش حرکات سریع سرپوش‌های آبششی و اکسیژن‌گیری از سطح آب نشان دادند. در نهایت بدن‌شان به‌طور کامل بی‌حرکت گشته و تمایل استقرار در کف را از خود نشان دادند. آزمایش حاضر با نتایج حاصل از آزمایش سولفات‌مس روی میگوی آب‌شیرین *Caridina Africana* (Bello-Olusoji and Adebola, 2006) و گربه‌ماهی آفریقایی *Clarias gariepinus* (Olaifa *et al.*, 2010) و بر ماهی‌کاراس *Carassius auratus gibelio* (Boeck *et al.*, 2010) کاملا مطابقت داشت. در مطالعات کشتکارلنگرودی و تهرانی‌فرد (۱۳۹۷) و همچنین

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]

رزاقی‌قاضیانی و همکاران (۱۳۹۶) بر آبشش ماهیان قره‌برون و استرلیاد در مواجهه با سم دیازینون بیان شد که علایم رفتاری ناشی از مواجهه شدن در برابر سم شامل انحنای ستون فقرات (فلج عصبی)، قرمزی روی سطح زیرین بدن و آبشش، شنای چرخشی، باز و بست سریع آبشش‌ها و خوابیدن به پشت از جمله علایم بالینی سم دیازینون بود. این امر حاکی از عملکرد مشابه سموم و فلزات بر رفتارهای ظاهری ماهی در مواجهه با سمیت است. مطالعات آسیب‌شناسی بخشی از بیماری‌شناسی و اکوتوکسیکولوژی ماهیان را نشان می‌دهد. عوامل زنده و غیرزنده محیط‌زیست ماهیان دارای آثاری بر دستگاه‌ها و بافت‌های مختلف بدن هستند که کم و بیش می‌توان آن‌ها را با روش‌های هیستوپاتولوژِی بیان کرد. هر کدام از این عوارض بافتی موجب حساسیت ماهی نسبت به بیماری‌های ثانویه و بالقوه مرگ و میر می‌شود. معمولا آبشش اولین بافت در مواجهه با حیطی و سموم است و مواجهه طولانی مدت با آلودگی سبب اثرات تخریبی قابل مشاهده در این بافت خواهد شد. در مطالعه حاضر جداشدگی لایه اپیتلیوم لاملاهای‌ثانویه و هایپرپلازی از واضح‌ترین علایم بافتی بود. ادم در آبشش ماهیان به‌حالتی اطلاق می‌شود که لایه اپیتلیوم از سطح لاملاهای‌ثانویه جدا می‌شود؛ در این حالت بین اپیتلیوم و عروق‌خونی فاصله می‌افتد در حقیقت این واکنش یک عمل دفاعی بوده و به این طریق ماهی سعی می‌کند تا از مسمومیت بیشتر در امان باشد (Svecevicius *et al.*, 2012). هایپرپلازی نیز عملکردی مشابه با ادم داشته و یک واکنش دفاعی به‌حساب می‌آید که به‌راحتی قابل مشاهده است (Van *et al.*, 2004). همان‌طوریکه در آزمایش‌ها مشهود بود با افزایش مدت زمان مواجهه و یا افزایش غلظت مسمومیت جداشدگی کامل بافت اپیتلیوم و نکزوز در این بافت به‌شدت بیشتری رخ داد (Hedayat *et al.*, 2014) آزمایش‌های مختلف ثابت کرد، در ماهیانی که در معرض موادسمی قرار دارند، ترشح موکوس افزایش یافته و دفع بیش از اندازه صورت می‌گیرد (فرخ‌روز و همکاران، ۱۳۹۲؛Khunyakari و همکاران، ۲۰۰۱). رستمی و سلطانی (۱۳۸۸) با مطالعه اثرات بافتی دوز مزمن سولفات‌مس بر برخی اندام‌های ماهی عمولی نشان دادند، در آبشش مهمترین ضایعات شامل ادم، هیپرتروفی لاملاهای‌ثانویه، هیپرپلازی سلول‌های-پوششی‌آبشش، چسبندگی لاملاهای ثانویه به یکدیگر، افزایش سلول‌های‌کلراید و مخاطی، پرخونی بود. هپاتوسیت‌های کبدی و سلول‌های کلیوی در متابولیسم و غیرفعال‌سازی سموم نقش اساسی دارند در عین حال به‌دلیل خون‌رسانی بالای این بافت‌ها در صورت مسمومیت با فلزات سنگین بیشتر در معرض مواجهه با سموم قرار می‌گیرند و در نهایت اثرات آسیب‌شناسی در سلول‌های این بافت‌ها نسبت به سایر بافت‌های داخلی سریع‌تر قابل مشاهده است. میزان این آسیب بسته به نوع مسمومیت، دوز مواجهه، گونه و سن‌ماهی، زمان‌مواجهه و شرایط فیزیکوشیمیایی آب پرورش متفاوت است (مازندرانی و همکاران، ۱۳۹۴). آسیب-شناسی بافت‌های کلیه و کبد در مطالعه حاضر نشان داد که عمده‌ترین ضایعات در غلظت‌کشنده مس برای ماهی‌کپور و کلمه شامل دژنره شدن توبول‌های کلیوی، خونریزی، نفوذ سلولهای‌آماسی در بین سلولهای‌کبدی و تخریب سولهای‌کبدی بود. رستمی و سلطانی (۱۳۸۸) بیان کردند که مهمترین ضایعات کبدی شامل نکروز-کانونی، واکوئله‌شدن، پرخونی و هجوم لنفوسیت‌ها در بافت همبندی کپسول کبدی بودند. آنچه مطالعات

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]

مختلف نشان داد این بود که رفتارهای ظاهری سمیت مواد بر گونه‌های مختلف ماهی به یک شکل بروز می-کند ، گرچه ممکن است اثرات بافتی ناشی از مسمومیت در گونه‌های مختلف و عناصر سمی متفاوت عمل کند.

تغییرات بافتی در اثر عوامل مختلف محیطی ایجاد می‌شود و می‌تواند سبب بروز اختلالاتی در رفتار و فیزیولوژی گردد. بنابراین بررسی بافت‌شناسی یک شاخص جامع بوده که می‌تواند به‌صورت دقیق وضعیت سلامت‌ماهی و تجمع مواد آلاینده را بیش از حد نرمال در محیط‌زیست مشخص نماید.

سپاسگزاری

تحقیق حاضر با حمایت‌مالی دانشگاه گنبدکاووس در قالب طرح‌های تحقیقاتی به‌شماره ۶/۷۶۷ و ۶/۵۹۰ اجرا شده است. بدینوسیله از حمایت‌های ریاست محترم دانشگاه و مدیریت محترم پژوهشی دانشگاه و همچنین ریاست محترم دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و سایر همکارانی که در این امر ما را یاری رساندند، تقدیر و تشکر می نماییم.

منابع

۱. احمدی، ن.، نعیمی، ا.س.، نظرحقیقی، ف.، غفوری، ح.، ۱۳۹۵. اثرات نیمه‌مزمن نانوذرهی اکسیدمس بر برخی پارامترهای خونی و بافت آبشش (*Cyprinus carpio*) بچه‌ماهی کپور-معمولی، نشریه توسعه‌آبزی پروری، ۱۰ (۴)، ۱۴-۱.

۲. حسینی، ص.، موحدنیا، ع.، حیدری، م.، مهدوی، ج.، جادی، ی.، فیضی، ز.، ۱۳۹۴. تعیین محدوده کشندگی و غلظت‌کشنده (LC50) سولفات‌مس در قزل‌آلای‌رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*). مجله فیزیولوژی و بیوتکنولوژی آبزیان، ۳ (۲)، ۸۷-۷۸.

۳. خبازی، م.، هرسیج، م.، هدایتی، س.ع.ا.، گرامی، م.ح.، غفاری‌فارسانی، ح.، ۱۳۹۴. تأثیر غلظت‌های تحت‌کشنده فلز مس در پارامترهای هماتولوژیک خون قزل‌آلای‌رنگین‌کمان *Oncorhynchus mykiss* . مجله بوم‌شناسی آبزیان، ۴(۴)، ۱- ۷.

۴. رستمی، م.، سلطانی، م.، ۱۳۸۸. مطالعه اثرات بافتی دوز مزمن سولفات‌مس بر برخی اندام‌های ماهی کپورمعمولی. مجله تحقیقات‌دامپزشکی، ۳ (۶۴)، ۱۹۸-۱۹۳.

۵. رزاقی‌قاضیانی، م.، ایمانپورنمین، ج.، پژند، ذ.، ۱۳۹۶. نشریه توسعه آبزی‌پروری، ۱۱(۲)، ۶۰-۴۹.

۶. فرخ‌روز، م.، زمینی، ع.، مظفری، ا.، ۱۳۹۲. بررسی تاثیرات فرمالین و سولفات‌مس بر بافت‌های آبشش بچه ماهی‌سفید دریای‌خزر. مجله علمی‌پژوهشی فیزیولوژی و تکوین جانوری، ۴ (۶) ، ۳۵-۲۷.

۷. کشتکارلنگرودی، ا.، تهرانی‌فرد، ا.، ۱۳۹۷. تاثیر زیر حد کشندگی سم دیازینون بر پارامترهای خونی و بافت‌های آبشش و عضله بچه ماهی قره برون، نشریه توسعه آبزی‌پرروی، ۱۲(۳)، ۱۲۹-۱۱۹.

۸. مازندرانی، م.، سوداگر، م.، نمرودی، س.، ۱۳۹۴. هیستوپاتولوژی کلیه، کبد و آبشش بچه ماهیان کپور در مواجهه حاد با سولفات‌مس. مجله بوم-شناسی آبزیان، ۱ (۵)، ۱۶-۹.

۹. مشتاقی، ب.، نظامی، ش.، خارا، ح.، پژند، ذ.، شناورماسوله، ع.، حلاجیان، ع.، فتح‌الهی، ر.،

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]

منافی‌حویق، ز.، ۱۳۹۱. تاثیر سمیت‌حاد سولفات-مس و پرمنگنات‌پتاسیم بر آبشش و کبد بچه تاس-ماهی ایرانی. مجله علمی‌پژوهشی زیست‌شناسی-دریا، ۴ (۱۵)، ۱۱-۱.

10. Bagdonas, E., Vosylienė, M.Z., 2006. A study of toxicity and genotoxicity of copper, zinc and their mixture to rainbow trout, Biologija, 1, 8-13.
11. Balambigai, N., Aruna, D., 2011. Impact of copper sulfate, an essential micronutrient on ACh, AChE and Na+ K+ ATP ase in various tissues of the fish (*Cyprinus carpio*), Research journal of environmental toxicology, 5(2), 314- 319.
12. Bello-Olusoji, O.A., Adebola, B.O., 2006. Toxic Effect of aldrin and copper sulphate on freshwater Prawn *Caridina Africana*, Journal of Fisheries International, 1(1-2), 12-16.
13. Boeck, G., Smolders, R., Blust, R., 2010. Copper toxicity in gibelio carp *Carassius auratus gibelio*: Importance of sodium and glycogen, Ecophysiology, Biochemistry and Toxicology Group, Department of Biology, University of Antwerp, Groenenborgerlaan, B-2020 Antwerp, Belgium., Pp: 171.
14. Giguere, A., Campbell, P.G.C., Hare, L., McDonald, D.G., Rasmussen, J.B., 2004. Influence of lake chemistry and fish age on cadmium , copper, zinc concenterations in various organs of indigenous yellow perch (*perca flavescens*), Canadian Fish Aquaculture Sciences, 61, 1702-1716.
15. Green, J.W., Speinger, T.M., Holbech, H., 2018. Statical analysis of ecotoxicity studies. John Wiley & Sons, USA. 392P.
16. Gul, A., Yilmaz, M., Isilak, Z., 2009. Acute toxicity of Zinc Sulphate (ZnSO4.H2O) to Guppies (*Poecilia reticulata* P., 1859), Journal of Science, 22(2), 52-65.
17. Hedayati, A., Hoseini, S.M., Ghelichpour, M., 2014. Acute toxicity of waterborne manganese to *Rutilus caspicus* (Yakovlev, 1870) gill histopathology, immune indices, oxidative condition, and saltwater resistance., Toxicological and Environmental Chemistry, 96 (10), 1535-1545.
18. Hosseini, S.A. Nodeh, A.J., 2012. Toxicity of Copper and Mercury to Caspian Roach *Rutilus rutilus caspicus*. Journal of the Persian Gulf, 3 (9), 9-14.
19. Humason, G. L., 1962. Animal tissue techniques ,United States of America, 492p.
20. Kazlauskiene, N., 2002. Long- term effect of copper on sea trout (*salmo trutta trutta*) in early ontogenesis, Ecology, 2, 65-69.
21. Khunyakari, R.P., Vrushali, T., Sharma, R.N., Tare, V., 2001. Effects of some trace heavy metals on Poecilia reticulate", Journal Environment Biology., 22 (2),141-144.
22. Martoja, R., Martoja–Pierson, M., 1974. Initiation Aux Techniques de l histology animale. 1rd ed. Paris: Masson et Cie; 345 p.
23. Mustafa, S.A., Davies, S.J., Jha, A.N., 2012. Determination of hypoxia and dietary copper mediated sub-lethal toxicity in carp, *Cyprinus carpio*, at different levels of biological organisation, Chemosphere, 87, 413-422.
24. Ololade, A., Oginni, I., 2010. Toxic stress and hematological effects of African catfish, *Clarias gariepinus*, fingerlings, Journal of environmental chemistry and ecotoxicology, 2, 2, 14-19.
25. Olaifa, F.E., Olaifa, A.K., Onmude, T.E., 2004. Lethal and sub-lethal effects of copper to the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles, African Journal of Biomedical Research, 7, 65 -70.
26. Perchbacher, P.W., Wurts, W.A., 1999. Effects of Calcium and Magnesium hardness on acute Copper toxicity to juvenile *Channel Catfish*, *Ictalurus punctatus*. Journal of Aquaculture, 172 (3-4), 275 – 280.
27. Ramírez-Duarte, W.F., Rondón-Barragán, I.S., Pedro, R., Eslava-Mocha, P.R., 2008. Acute toxicity and histopathological alterations of Roundup herbicide on cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Pesquisa Veterinária Brasileira, 28(11), 1001-1007.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]

28. Roberts, R.J., 2012. Fish pathology. 4th edition. Wiley-Blackwell, UK. 590 p.
29. Svecevičius, G., Kazlauskienė; N., Edvinas Taujanskis, E., 2012. The acute and behavioral effects of a Copper-Nickel mixture on roach *Rutilus rutilus*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 89,147–151.
30. Taghipour, V., Azizi, S.N., 2011. Determination of trace elements in muscle tissue of Caspian roaches (*Rutilus rutilus caspicus*) collected in Iranian coastal waters of the Caspian Sea, Iranica Journal of Energy and Environment, 2 (1), 47-51.
31. Talas, Z.S., Gulhan, M.F., 2009. Effects of various propolis concentrations on biochemical and hematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Ecotoxicology and Environmental Safety, 72, 1994–1998.
32. Van, H.D., Vosloo, A., Nikinmaa, M., 2004. Effects of short-term copper exposure on gill structure, methallothionein and hypoxia-inducible factor- 1á (HIF-1á) levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Aquatic Toxicology, 69, 271-280.
33. Witeska, M., Jezierska, B., 2003. The effecte of environmental factors on metal toxicity to fish, Fresenius Environment Bulletin, 824- 829.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-14]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1399.14.4.8.2]