

## بررسی آسیب‌های بافت‌شناسی فلزات سنگین مختلف بر روی ماهی قنات (*Capoeta fusca*)

محمد حسین صیادی\*، جواد خارکن

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

\*نویسنده مسئول mh\_sayadi@birjand.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۵

### چکیده

یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آب، فلزات سنگین می‌باشد. توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی منجر به توزیع گسترده آن‌ها در محیط شده و نگرانی‌هایی را در مورد اثرات بالقوه آن‌ها بر اکوسیستم و سلامت انسان ایجاد کرده است. این پژوهش با هدف بررسی آسیب‌های بافت‌شناسی فلزات سنگین کروم، کادمیوم، کبالت و مس بر روی ماهی قنات می‌باشد. در این پژوهش سیاه‌ماهی (*Capoeta fusca*) در ۵ گروه (۱۰ قطعه‌ای (یک گروه کنترل) در معرض غلظت زیرکشندگی کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس به مدت ۲۸ روز قرار گرفتند و پس از پایان ۲۸ روز سه قطعه ماهی به صورت تصادفی از هر گروه تیمار برداشته و تشریح شدند. آسیب‌های بافت‌شناسی در آبشش ماهیان در معرض کلرید کبالت شامل اودما، همجوشی و کوتاه شدن لاملاهای ثانویه می‌باشد در بافت روده برخی از آسیب‌های بافت‌شناسی به دلیل قرار گرفتن در معرض کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس شامل تورم سلول‌های گابلت، افزایش تعداد سلول‌های گابلت، تخریب ویلی و گسترش ساختار ویلی می‌باشد. شدت آسیب‌های بافت‌شناسی در روده ماهیان در معرض کلرید مس بیشتر از ماهیان در معرض کلریدهای کروم، کادمیوم و کبالت می‌باشد. غلظت‌های زیرکشندگی فلزات سنگین مختلف می‌تواند اثرات نامطلوبی بر بافت آبشش و روده سیاه‌ماهی داشته باشد که شدت آن با گذشت زمان افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: آلودگی محیط زیست، فلزات سنگین، همجوشی لاملاهای ثانویه، سلول‌های گابلت.

### مقدمه

محیط‌های آبی شوند و در چرخه‌های مختلف بیوژئوشیمیایی حرکت کنند و از طریق غذا در بافت‌های موجودات آبی انباشته شوند (Bonsignore et al., 2018; Sayadi and Kharkan 2022). فلزات سنگین به دلیل ماندگاری، نیمه عمر زیستی طولانی و سمیت بالقوه، ممکن است از طریق ورود به زنجیره‌ی غذایی برای موجودات مختلف خطرات جدی ایجاد کند (Bortey-Sam et al., 2015). علاوه بر این، برخی از فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، جیوه و آرسنیک) می‌توانند سبب جهش ژنتیکی و ایجاد سرطان در موجودات شوند (Wong, 1988). تجمع فلزات سنگین در بافت‌های مختلف ماهی به غلظت و فراهمی زیستی آلاینده‌ها در آب بستگی دارد (Hamelink et al., 1994)

یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آب، فلزات سنگین می‌باشد. توسعه فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی منجر به توزیع گسترده آن‌ها در محیط شده و نگرانی‌هایی را در مورد اثرات بالقوه آن‌ها بر اکوسیستم و سلامت انسان ایجاد کرده است (Bonsignore et al., 2018). برخی از فلزات سنگین عناصر ضروری برای موجودات هستند که اجزای تشکیل‌دهنده چندین آنزیم کلیدی هستند و نقش مهمی در واکنش‌های مختلف اکسیداسیون دارند (Bonsignore et al., 2018). با این حال، مقدار بیش از حد این فلزات ممکن است باعث آسیب سلولی و بافتی شود (Tchounwou et al., 2012). فلزات سنگین آزاد شده از منابع طبیعی و انسانی می‌توانند وارد

یا شدید از قبیل عدم کنترل عصبی عضلانی و هم‌چسبیدگی ویلی‌ها در بافت روده باشد که در نهایت در تغذیه و رشد موجود تاثیر می‌گذارد (Barisic et al., 2018). مطالعات نشان می‌دهند که نیترات سرب سبب انقباض و همجوشی لاملاهای ثانویه آبشش در ماهی (*Ticto barb*) (Choudhary et al., 2019)، کادمیوم سبب همجوشی، آنوریسم و نکروز لاملاهای ثانویه آبشش در ماهی (*Clarias gariepinus*) (Pariza et al., 2019)، سرب و جیوه باعث اودما، هایپرپلازی، نکروز و همجوشی لاملاهای ثانویه آبشش در ماهی (*Catla catla*) می‌شود (Hussan et al., 2018). همچنین مطالعات نشان می‌دهد که نانوذرات اکسید آهن باعث افزایش تعداد سلول‌های گابلت، افزایش تعداد لنفوسیت‌ها و تورم سلول‌های گابلت در بافت روده سیاه‌ماهی (*Capoeta fusca*) (Sayadi et al., 2020)، نانوذرات اکسید روی سبب افزایش تورم سلول‌های گابلت در روده سیاه‌ماهی (*Capoeta fusca*) (Sayadi et al., 2022) و مس سبب آسیب‌های بافت‌شناسی تخریب ویلی و آتروفی در بافت روده ماهی کپور (*Catla catla*) می‌شود (Naz et al., 2021). قنات یک سیستم مدیریت آب است که برای تامین آب مورد نیاز برای سکونتگاه‌های انسانی و برای آبیاری در آب و هوای گرم، خشک و نیمه خشک استفاده می‌شود. این فناوری در ایران باستان توسعه یافته و سپس به فرهنگ‌های دیگر گسترش یافته است. قنات‌ها کانال‌های مصنوعی زیرزمینی با قدمت ۳۰۰۰ سال به طول ۵ تا ۸۰ کیلومتر هستند و محیط مناسبی برای زیست ماهیان مختلف می‌باشند (Mansouri et al., 2012).

گونه سیاه‌ماهی قنات (*Capoeta fusca*) از خانواده کپورماهیان (Cyprinidae) و جنس *Capoeta* می‌باشد (Eagderi et al., 2022). سیاه‌ماهی از جلبک‌ها تغذیه می‌کنند دارای بدنی کشیده و استوانه‌ای شکل و باله‌های پشتی کوتاهی هستند. فلس‌ها معمولاً کوچک می‌باشد و دهان در وضعیت شکمی (در پایین) قرار دارد و لب پایینی با غلاف

همچنین عوامل زیستی مانند گونه‌ها، فعل و انفعالات تغذیه‌ای و سازگاری بیوشیمیایی-فیزیولوژیکی نقش مهمی در تجمع زیستی فلزات در بافت‌های مختلف موجودات آبی و آسیب به بافت‌ها شود (Verkleji, 1993).

تغییرات بافت‌شناسی به‌طور گسترده به‌عنوان، نشانگرهای زیستی در ارزیابی وضعیت سلامت ماهیان در معرض آلاینده، در مطالعات آزمایشگاهی و در مطالعات میدانی استفاده شده است. یکی از بزرگترین مزایای استفاده از نشانگرهای زیستی بافت‌شناسی در پایش محیط‌های آبی، امکان بررسی اندام‌های هدف خاص از جمله آبشش، روده، کلیه و کبد است که مسئول عملکردهای حیاتی مانند دفع و تنفس در ماهی هستند (Gernhofer et al., 2001).

آبشش‌ها هدف اولیه فلزات سنگین موجود در آب هستند و به‌دلیل تماس مداوم با محیط خارجی نسبت به رسوب فلزات سنگین بسیار حساس هستند. ریخت‌شناسی بسیار منشعب بافت‌های آبشش و همچنین گردش آب از طریق آن‌ها، تجمع فلزات سنگین را امکان‌پذیر می‌کند (Elahee and Bhagwant, 2007). قرار گرفتن طولانی مدت ماهی در معرض فلزات سنگین، حتی در غلظت‌های بسیار کم، تغییرات ریخت‌شناسی و بافتی مختلفی در آبشش ماهی ایجاد می‌کند (Fonseca et al., 2016). دستگاه گوارش یکی از مسیرهای اولیه ورود آلاینده به بدن ماهی و همچنین اندامی برای فرآیندهای دفع است که در نتیجه در معرض آلاینده‌های اطراف قرار می‌گیرد و ممکن است اثرات آلودگی را منعکس کند. بافت روده به‌دلیل فعالیت آن در هضم و جذب مواد مغذی در مطالعات بافت‌شناسی از اهمیت بالایی برخوردار است (Barisic et al., 2018). تا به امروز، تنها مطالعات کمی آسیب‌های بافت‌شناسی را در بافت روده ماهی گزارش کرده‌اند که بیشتر آن‌ها در ارتباط با قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین و ترجیحات تجمع زیستی هستند (Liu et al., 2012). اثرات فلزات سنگین در بافت روده می‌تواند به‌صورت خفیف

به ترتیب ۲۹/۲۴، ۳/۷۱، ۱۰/۶۹ و ۱/۰۷ میلی‌گرم بر لیتر به مدت ۲۸ روز قرار گرفتند و پس از پایان ۲۸ روز، سه قطعه ماهی به صورت تصادفی از هر گروه تیمار برداشته و تشریح شدند و دو بافت آبشش و روده برداشت و در فرمالین ۱۰ درصد قرار داده شدند (Mansouri et al., 2012; Sayadi and Kharkan 2022).

**مطالعات بافت‌شناسی:** بافت‌های آبشش و روده سیاه‌ماهی از هر ۵ گروه (یک گروه کنترل) پس از ۲۸ روز جدا شد بدین صورت که ۳ عدد ماهی به صورت کاملاً تصادفی از گروه کنترل و ماهی‌های مورد مواجهه با کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس خارج شده و بافت‌های مذکور تشریح شدند. نمونه‌ها برای تثبیت در فرمالین ۱۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند سپس، جهت آبیگری نمونه‌ها از الکل‌های ۵۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۹۶ درصد استفاده شد و نمونه‌ها به مدت یک ساعت در هر یک از الکل‌های مذکور قرار گرفتند. در مرحله بعد، نمونه‌ها به منظور شفاف شدن به مدت ۲۰ دقیقه در محلول گزلیول قرار گرفتند. نمونه‌ها بعد از ۹ ساعت نگهداری درون پارافین مایع (در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) قالب‌گیری شدند و با استفاده از میکروتوم، برش‌های ۵ میکرومتری از آن‌ها تهیه گردید. به منظور پارافین زدایی از نمونه‌ها، از محلول گزلیول استفاده شد سپس برای مرحله آبدهی به نمونه‌ها به ترتیب از الکل‌های ۹۶، ۸۰ و ۵۰ درصد به مدت ۱۰ دقیقه استفاده شد و برای شفاف شدن به مدت ۲۰ دقیقه در گزلیول قرار گرفتند. برای رنگ‌آمیزی نمونه‌ها از رنگ هماتوکسیلین ائوزین و برای حذف رنگ اضافی نمونه‌ها از محلول اسید الکل استفاده شد در نهایت نمونه‌ها بر روی لام چسبانده شدند و در آون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا خشک شوند و با میکروسکوپ نوری معمولی (Nikon, eclips-E200) مطالعه و عکس‌برداری صورت گرفت. در نهایت بر اساس تعداد آسیب وارده در هر گروه به صورت توصیفی به چهار طبقه بدون آسیب (-)،

شاخی پوشیده شده است. این گونه در حوضه‌های لوت و سیستان و بلوچستان، کویر بچستان، رودخانه هریرود و تجن پراکنش دارد (Johari et al., 2009). مطالعه حاضر سعی دارد به بررسی آسیب‌های بافت‌شناسی فلزات سنگین کروم، کادمیوم، کبالت و مس در ماهی قنات (*C. fusca*) بپردازد بنابراین هدف از این مطالعه بررسی آسیب‌های بافت‌شناسی فلزات سنگین کروم، کادمیوم، کبالت و مس در دو بافت آبشش و روده سیاه‌ماهی (*Capoeta fusca*) می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه، کلرید کروم ( $\text{CrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) (Analar grade, Merck)، کلرید کادمیوم ( $\text{CdCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) (Analar grade, Merck)، کلرید کبالت ( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Analar grade, Merck) و کلرید مس ( $\text{CuCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Analar grade, Merck, Germany) از شرکت مرک آلمان استفاده شده است. نمونه ماهی مورد استفاده: سیاه‌ماهی (*Capoeta fusca*) (طول کل بدن به طور متوسط  $11/2 \pm 0/3$  سانتی‌متر و وزن بدن به طور متوسط  $5/2 \pm 0/1$  گرم) از قنات‌های مختلف خراسان جنوبی شامل اشکفتوک (W)  $32^\circ 09' \text{N}$ ،  $59^\circ 09' \text{E}$ ، حاجی آباد (W)  $32^\circ 46' \text{N}$ ،  $59^\circ 52' \text{E}$ ، مهدی آباد (W)  $32^\circ 12' \text{N}$ ،  $42^\circ 45' \text{E}$ ، ۵۹ و سربیشه (W)  $32^\circ 10' \text{N}$ ،  $38^\circ 10' \text{E}$ ، ۴۸ و ۵۹) جمع‌آوری شدند و به همراه آب قنات به آزمایشگاه لیمنولوژی دانشگاه بیرجند منتقل شدند. سیاه‌ماهیان به مدت ۱۰ روز پیش از شروع آزمایشات در آکواریوم همراه با هوادهی نگهداری شدند در طول این مدت به صورت روزانه ۲ مرتبه به اندازه ۲ درصد وزن بدن با غذای تجاری پلت (فراذانه، ایران) تغذیه شدند.

**طراحی آزمایشات:** در این پژوهش سیاه‌ماهی در ۵ گروه ۱۰ قطعه‌ای (یک گروه کنترل) در معرض غلظت زیرکشندهی کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس



شکل ۱- آسیب‌های بافت‌شناسی در آبشش سیاه‌ماهیان در معرض کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس پس از ۲۸ روز: (F) همجوشی لاملاهای ثانویه، (LS) کوتاه شدن لاملاهای ثانویه، اودما، (Oe) انحنا، (Cu) انحنای ثانویه، (N) نکروز (X۱۰).

خفیف (+)، متوسط (++) شدید (+++) ارائه شدند (هدایتی، ۱۳۹۳).

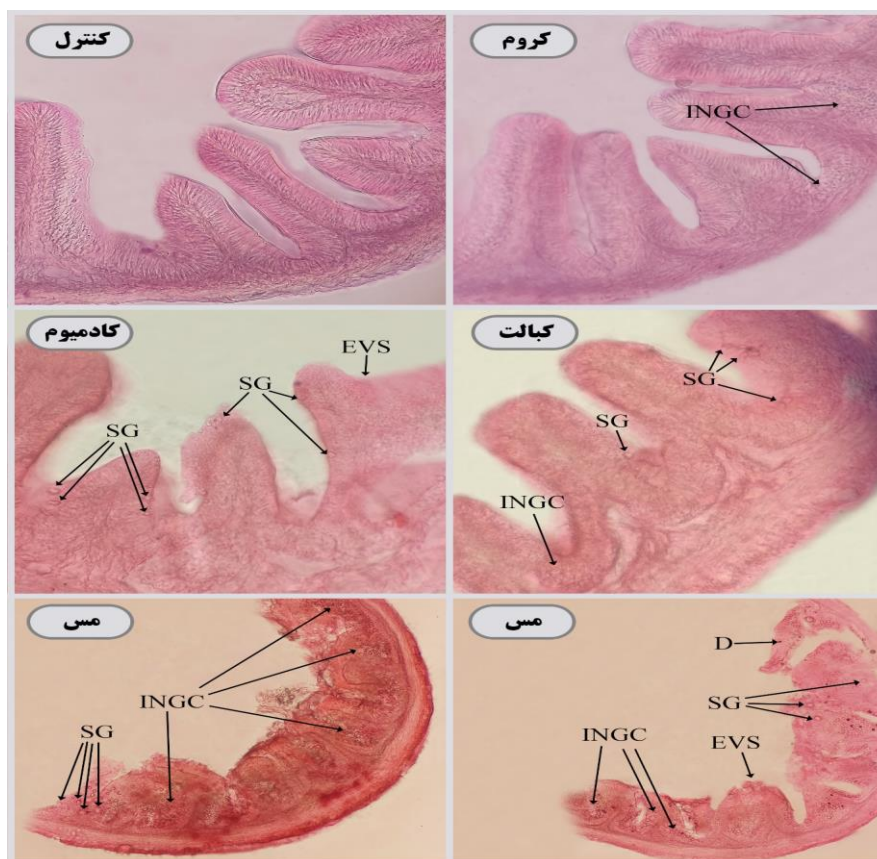
## نتایج

**مطالعات بافت‌شناسی:** مجموعه‌ای از آسیب‌های بافت‌شناسی در بافت‌های آبشش و روده سیاه‌ماهی دیده شد. این تغییرات نوعی مکانیسم دفاعی بافت‌ها در مقابل فلزات سنگین مختلف می‌باشد که مانع ورود این فلزات به بافت‌های سیاه‌ماهی می‌شود شدت این آسیب‌های بافت‌شناسی با گذشت زمان افزایش پیدا

می‌کند. برخی از آسیب‌های بافت‌شناسی در بافت آبشش سیاه‌ماهی پس از ۲۸ روز قرار گرفتن در معرض کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس در شکل ۱ نشان داده شده است. این آسیب‌ها شامل همجوشی لاملاهای ثانویه (Fusion of lamellae: F)، کوتاه شدن لاملاهای ثانویه (Lamellar synechiae: LS)، اودما (Oedema: Oe)، انحنا (Curvature: CU) و نکروز (Necrosis: N) می‌باشد. بافت‌شناسی مشاهده شده در بافت آبشش ماهیان در

جدول ۱- ارزیابی آسیب‌های بافت‌شناسی آبشش سیاه‌ماهی (*C. fuscus*) در معرض کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس. F: به هم‌چسبیدگی لاملاهای ثانویه، LS: کوتاه شدن لاملاهای ثانویه، CU: انحنا، Oe: اودما و نکروز (N). عدم مشاهده آسیب (-)، خفیف (+)، متوسط (++) و شدید (+++).

بافت	آسیب‌های بافت‌شناسی				
	N	Oe	CU	LS	F
آبشش					
کنترل	-	-	+	-	-
کلرید کروم	-	-	+	+	-
کلرید کادمیوم	-	-	++	++	++
کلرید کبالت	-	+	-	+	++
کلرید مس	+++	-	-	++	+++



شکل ۲- آسیب‌های بافت‌شناسی در روده سیاه‌ماهیان در معرض کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس پس از ۲۸ روز: (INGC) افزایش تعداد سلول‌های گابلت، (SG) تورم سلول‌های گابلت، (D) تخریب ساختار ویلی و (EVS) گسترش ساختار ویلی (X۴۰).

و در آبشش ماهیان در معرض کلرید مس شامل نکروز، همجوشی و کوتاه شدن لاملاهای ثانویه می‌باشد. شدت آسیب‌های بافت‌شناسی در آبشش ماهیان در معرض کلرید کروم زیاد نمی‌باشد در حالی که شدت این آسیب‌ها در آبشش ماهیان در معرض کلرید مس بسیار زیاد می‌باشد (جدول ۱).

معرض کلرید کروم شامل انحنا و کوتاه شدن لاملاهای ثانویه در حالی که در آبشش ماهیان در معرض کلرید کادمیوم شامل کوتاه شدن لاملاهای ثانویه، همجوشی لاملاهای ثانویه و انحنا می‌باشد. آسیب‌های بافت‌شناسی در آبشش ماهیان در معرض کلرید کبالت شامل اودما، همجوشی و کوتاه شدن لاملاهای ثانویه

جدول ۲- ارزیابی آسیب‌های بافت‌شناسی روده سیاه‌ماهی (*C. fuscus*) در معرض کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس. SG: تورم سلول‌های گابلت، INGC: افزایش تعداد سلول‌های گابلت، D: تخریب ساختار ویلی و EVS: گسترش ساختار ویلی. عدم مشاهده آسیب (-)، خفیف (+)، متوسط (++) و شدید (+++).

آسیب‌های بافت‌شناسی				بافت
EVS	D	INGC	SG	روده
-	-	-	-	کنترل
-	-	+	-	کلرید کروم
+	-	-	+++	کلرید کادمیوم
-	-	+	++	کلرید کبالت
+	+	+++	+++	کلرید مس

استانداردهای بین‌المللی شامل WHO و FAO حداکثر مقدار مجاز فلز کادمیوم در ماهیان ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (FAO/WHO, 2016). کروم یک ماده مغذی ضروری برای بدن است که غلظت بالای آن سبب مسمومیت بدن می‌شود قرار گرفتن در معرض غلظت بالای کروم می‌تواند منجر به مهار گلوکوتیون ردوکتاز گلبول قرمز شود که به‌نوبه خود ظرفیت تبدیل متهموگلوبین به هموگلوبین را کاهش می‌دهد مطالعات مختلف ثابت کرده‌اند که ترکیبات مختلف کرومات می‌توانند باعث آسیب به DNA، اختلال در کروموزوم‌ها و رونویسی DNA شود (Kawser Ahmad *et al.*, 2016). حداکثر غلظت مجاز فلز کروم در ماهیان براساس استانداردهای بین‌المللی WHO و FAO برابر ۱ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (FAO/WHO, 2016). مهم‌ترین عمل زیستی کبالت می‌تواند به دخالت در ساخت کوآنزیم‌های وابسته به ویتامین B<sub>12</sub> اشاره کرد همچنین در اعمال فیزیولوژیک فلزات دوظرفیتی از جمله منگنز، منیزیم و کلسیم ایجاد اختلال می‌کند (Saulea *et al.*, 2004). مس یکی از سمی‌ترین فلزات برای موجودات آبی می‌باشد در غلظت‌های بالاتر از مقدار نیاز می‌تواند در بافت‌های مختلف موجودات تجمع پیدا کند. در ماهیان باعث ایجاد آسیب به آبشش می‌شود و در غلظت‌های ۱۰ تا ۲۰

برخی از آسیب‌های بافت‌شناسی در بافت روده سیاه‌ماهی در معرض کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس در شکل ۲ نشان داده شده است. در بافت روده، برخی از آسیب‌های بافت‌شناسی به‌دلیل قرار گرفتن در معرض کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس شامل تورم سلول‌های گابلت (Swelling of goblet cells: SG)، افزایش تعداد سلول‌های گابلت (Increase in the number of goblet cells: INGC)، تخریب ویلی (Degeneration of villi structure: D) و گسترش ساختار ویلی (Expansion at villi structure: EVS) می‌باشد. شدت آسیب‌های بافت‌شناسی در روده ماهیان در معرض کلرید مس بیش‌تر از ماهیان در معرض کلریدهای کروم، کادمیوم و کبالت می‌باشد (جدول ۲).

### بحث

کادمیوم، یک فلز غیرضروری و سمی است که برای سلامت انسان و سایر موجودات مضر می‌باشد که به‌طور طبیعی در محیط به‌عنوان یک ماده آلاینده ناشی از منابع کشاورزی و صنعتی وجود دارد (Genchi *et al.*, 2020). کادمیوم توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان به‌عنوان یک فلز سرطان‌زا معرفی شده است (Taha *et al.*, 2018). براساس

آبشش مشاهده شد. به نظر می‌رسد که همجوشی لاملاهای ثانویه یک مکانیسم حفاظتی است که سطح آبشش را در تماس با آلاینده محدود می‌کند و سرعت جذب آلاینده را کاهش می‌دهد و ممکن است منجر به اختلالات تنفسی در ماهی شود (Beegam *et al.*, 2020). همچنین خمیدگی و جسیدگی اپیتلیوم در لاملاهای ثانویه اغلب به‌عنوان یک نشانه اولیه بافت‌شناسی از تأثیر سموم بر گونه‌های آبی می‌باشد (Mansouri *et al.*, 2016). Mallatt (۱۹۸۵) بیان کرد که اودما آبشش یکی از تغییرات ساختاری اصلی ناشی از قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین مختلف می‌باشد که این آسیب در آبشش ماهیان در معرض فلز سنگین کبالت مشاهده شد. انحنا لاملاها نیز نوعی مکانیسم دفاعی می‌باشد که سطح تماس آبشش با فلزات سنگین را کاهش می‌دهد (Kharkan *et al.*, 2022). آسیب نکرور در آبشش ماهیان در معرض مس مشاهده شد این آسیب در اثر وجود استرس‌های شدید که می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در عروق خونی آبشش شود، ایجاد می‌شود در این شرایط سلول‌های ستونی لاملاها آسیب می‌بینند که باعث افزایش جریان خون درون تیغه‌ها و در نتیجه گشاد شدن رگ‌های خونی و احتقان خون می‌شود و از ترمیم ساختار آبشش جلوگیری می‌کند (Mohamed, 2009). در مطالعات مشابه Jalaludeen و همکاران (۲۰۱۲) با در معرض قرار دادن تیلاپیا با دوزهای تحت کشنده کادمیوم و بررسی آسیب‌های بافت‌شناسی دریافتند که کادمیوم سبب افزایش ترشح موکوس، تغییر شکل رشته‌های ثانویه و خونریزی در بافت آبشش می‌شود همچنین Bais و Lokhande (۲۰۱۲)، در بررسی اثرات کادمیوم بر بافت آبشش ماهی آب شیرین (*Ophiocephalus striatus*) هایپرتروفی و تخریب تیغه‌های آبششی و نکرور را مشاهده کردند و بیان کردند که آسیب‌دیدگی تیغه‌های آبششی در ماهیان امکان دارد سبب مشکلات تنفسی شود این در حالی است که مقدار دوز مصرفی کادمیوم بالاتر رود و مدت زمان قرار گرفتن

میلی‌گرم بر لیتر به شدت برای ماهیان سمی است (Woody and O'Neal, 2015). حداکثر غلظت مجاز برای فلز مس در بدن ماهیان بر اساس استانداردهای بین‌المللی WHO و FAO برابر ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (FAO/WHO, 2016). به‌طور کلی مکانیسم اصلی سمیت فلزات سنگین شامل تولید رادیکال‌های آزاد برای ایجاد استرس اکسیداتیو، آسیب به مولکول‌های زیستی مانند آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، لیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و آسیب به DNA است که سبب ایجاد سرطان و مسمومیت عصبی می‌شود. ماهیان می‌توانند به‌طور مستقیم از آب یا رسوب و یا به‌طور غیرمستقیم از طریق زنجیره غذایی در معرض فلزات سنگین مختلف قرار بگیرند. تجمع زیستی فلزات سنگین مختلف در اندام‌های مختلف ماهی می‌تواند ساختار و عملکرد این اندام‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (Farag *et al.*, 2007). با استفاده از مطالعات بافت‌شناسی می‌توان آسیب‌های ناشی از فلزات سنگین مختلف بر روی بافت‌های مختلف ماهیان را بررسی کرد (Patel *et al.*, 2010). بنابراین بررسی اثرات فلزات سنگین بر بافت‌های ماهیان می‌تواند به‌عنوان یک شاخص زیستی برای تأثیر آن‌ها بر سلامت ماهیان و اکوسیستم در نظر گرفت (Montaser *et al.*, 2010; Sayadi and Kharkan, 2022). آبشش ماهیان با توجه به وظیفه‌ای که انجام می‌دهد به‌جز وجود درپوش استخوانی، مصنوعیت بسیار کمی دارد و به‌سرعت به محرک‌های مختلف پاسخ می‌دهد و مستعد آسیب‌های فیزیکی و شیمیایی می‌باشد بنابراین زمانی که آبشش به مدت طولانی در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرد دچار تخریب و آسیب‌های مختلف بافتی می‌شود آبشش ماهی اولین اندام هدف فلزات سنگین می‌باشد بنابراین می‌تواند نشانگر خوبی برای آلودگی آب توسط فلزات سنگین باشد (Capaldo *et al.*, 2019). در این مطالعه مجموعه‌ای از آسیب‌های بافت‌شناسی شامل همجوشی لاملاهای ثانویه، کوتاه شدن لاملاهای ثانویه، اودما، انحنا و نکرور در بافت

مناسی در مورد سلامت دستگاه گوارش باشد (Jamroz *et al.*, 2006). در این مطالعه مجموعه‌ای از آسیب‌های بافت‌شناسی از قبیل تورم سلول‌های گابلت (SG)، افزایش تعداد سلول‌های گابلت، تخریب ویلی و گسترش ساختار ویلی مشاهده شد و شدت این آسیب‌ها زمانی که سیاه‌ماهی در معرض کلرید مس قرار گرفته است، بیش‌تر می‌باشد. تخریب ساختار ویلی‌ها از مهم‌ترین آسیب‌های بافت روده در مواجهه با آلاینده‌ها محسوب می‌شود از طرفی افزایش تعداد سلول‌های گابلت، اولین واکنش محافظتی به مواد سمی محسوب می‌شود که به‌طور موقت اثرات سمی را کاهش می‌دهد (Ribeiro *et al.*, 2006). در مطالعات مشابه Pirsahab و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سبب تغییرات بافت‌شناسی گسترش ساختار ویلی و نکروز در بافت روده دو گونه ماهی کاراس (*Carassius auratus*) و کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) می‌شود و عنوان کردند با افزایش مدت زمان قرار گرفتن در معرض نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم شدت آسیب‌های وارد شده به بافت روده افزایش پیدا می‌کند همچنین Fahmi و همکاران (۲۰۱۹)، بیان کردند که نیکل در بافت روده ماهی (*Oryzias matanensis*) سبب تخریب ساختار ویلی، نکروز و تورم سلول‌های گابلت می‌شود. Sayadi و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که نانوذرات آهن سبب افزایش تعداد سلول‌های گابلت و گسترش ساختار ویلی در روده سیاه‌ماهی می‌شود. Liu و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که سرب باعث آسیب‌هایی از قبیل تورم و تخریب ساختار ویلی در روده ماهی (*Hypophthalmichthys nobilis*) می‌شود. Naz و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که غلظت‌های مختلف مس سبب آسیب‌های بافت‌شناسی از قبیل آتروفی ویلی‌ها، تخریب ویلی‌ها و احتقان در روده ماهی (*Catla catla*) می‌شود. Yu و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که غلظت‌های مختلف کادمیوم سبب آسیب‌های بافت‌شناسی از قبیل ناپدید شدن میکروویلی‌ها و کاهش طول چین‌های مخاطی روده

در معرض آن افزایش یابد تیغه‌های آبششی بیشتری از بین خواهند رفت و در نتیجه مشکلات تنفسی بیشتر می‌شود. Purwanti و همکاران (۲۰۱۹)، بیان کردند که نیکل سبب آسیب‌های بافت‌شناسی اودما، هایپرپلازی و همجوشی لاملاهای ثانویه در آبشش ماهی (*Barbonymus gonionotus*) می‌شود. Mustafa (۲۰۲۰) گزارش کرد که فلزات سنگین سرب و کادمیوم در بافت آبشش ماهی (*Luciobarbus xanthopterus*) سبب آسیب‌های نکروز و هایپرپلازی می‌شود. Choudhary و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که فلز سرب سبب همجوشی، تورم لاملاهای ثانویه در آبشش ماهی (*Puntius ticto*) می‌شود. Naz و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که غلظت‌های مختلف مس سبب آسیب‌های بافت‌شناسی از قبیل نکروز و آتروفی لاملاهای ثانویه در آبشش ماهی (*Catla catla*) می‌شود. Sayadi و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که نانوذرات اکسید روی سبب همجوشی، کوتاه شده و نکروز لاملاهای ثانویه در آبشش سیاه‌ماهی (*Capoeta fusca*) می‌شود. Kharkan و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که نانوذرات اکسید نیکل سبب آسیب‌های همجوشی و کوتاه شدن لاملاهای ثانویه، انحنا و اودما در بافت آبشش سیاه‌ماهی (*Capoeta fusca*) می‌شود.

در دستگاه گوارش روده یک اندام بسیار مهم به‌شمار می‌آید. روده محل اصلی عبور مواد سمی گوناگون می‌باشد که از طریق آب یا مواد غذایی وارد بدن می‌شوند و به‌عبارتی نقش مهمی در جذب و متابولیسم آلاینده‌ها دارد (Yuen *et al.*, 2007). مواد آلاینده مانند فلزات سنگین می‌توانند آسیب‌های جدی برای بافت‌های مختلف دستگاه گوارش از جمله روده ایجاد کنند بنابراین، بررسی فعالیت بافت‌های دستگاه گوارش می‌تواند در مطالعات سم‌شناسی مفید باشد (Prabhu *et al.*, 2012). سلول‌های اپیتلیوم اولین قسمت از بافت روده می‌باشد که تحت تأثیر فلزات سنگین قرار می‌گیرد در نتیجه بررسی وضعیت این لایه و ساختار میکروسکوپی آن می‌تواند شاخص



در این پژوهش، می‌توان به این نتیجه رسید که غلظت‌های تحت حاد کلریدهای کروم، کادمیوم، کبالت و مس می‌تواند اثرات نامطلوبی بر بافت آبشش و روده سیاه‌ماهی قناتی داشته باشند که شدت آن با گذشت زمان افزایش می‌یابد و این تغییرات به‌عنوان پاسخ مستقیم و غیرمستقیم این اندام‌ها به فلزات سنگین مورد مطالعه می‌باشد بنابراین بایستی آب قنات‌های مختلف خراسان جنوبی به لحاظ ورود فلزات سنگین مختلف به‌طور مستمر پایش و نظارت شوند.

**تشکر و قدردانی:** این مقاله حاصل بخشی از طرح جایگزین خدمت سربازی با عنوان ارزیابی پتانسیل سمیت حاد و مزمن فلزات سنگین مختلف بر روی ماهی قنات‌های مختلف خراسان جنوبی می‌باشد. کمال تشکر را به پاس حمایت‌های دانشگاه بیرجند و مرکز نخبگان نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران را داریم.

ماهی کاراس (*Carassius auratus*) می‌شود. Sayadi و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که نانوذرات اکسید روی سبب افزایش تعداد سلول‌های گابلت، تورم سلول‌های گابلت و تخریب ساختار ویلی در روده سیاه‌ماهی (*Capoeta fusca*) می‌شود. Kharkan و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که نانوذرات اکسید نیکل سبب آسیب‌های تورم سلول‌های گابلت، افزایش تعداد سلول‌های گابلت، تخریب و گسترش ساختار ویلی در روده می‌شود که شدت آسیب‌ها با افزایش مدت زمان قرارگیری در معرض نانوذرات اکسید نیکل افزایش پیدا می‌کند. در مجموع این مطالعات آسیب‌های بافت‌شناسی ناشی از فلزات سنگین مختلف را در بافت روده ماهیان مختلف نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

مطالعات بافت‌شناسی به‌عنوان ابزارهای مهمی برای پایش و ارزیابی وضعیت سلامت موجودات مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به نتایج به‌دست آمده

### منابع

- هدایتی ع. ا. ۱۳۹۳. سم‌شناسی آبزیان. انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. گرگان. چاپ اول، ۲۱۲ صفحه.
- Abel P., Axiak V. 1990. Ecotoxicology and the marine environment, Old University Building. Malta, 250-269.
- Bais U.E., Lokhande M.V. 2012. Effect of cadmium chloride on histopathological changes in the freshwater fish *Ophiocephalus striatus* (Channa). *International Journal of Zoological Research* 8(1), 23.
- Barišić J., Marijić V.F., Mijošek T., Čož-Rakovac R., Dragun Z., Krasnići N., Erk M. 2018. Evaluation of architectural and histopathological biomarkers in the intestine of brown trout (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) challenged with environmental pollution. *Science of the Total Environment* 642, 656-664.
- Batool M., Abdullah S., Ijaz M.U., Kousar S., Fatima M., Ilyas R., Mughal K.T. 2018. Heavy Metals (Cadmium and Lead) Induced Oxidative Stress in *Channa marulius* and Wallago Attu during Acute Toxicity Experiments. *Pakistan Journal of Zoology Supplementary Series* 13, 74-79.
- Beegam A., Lopes M., Fernandes T., Jose J., Barreto A., Oliveira M., Pereira M.L. 2020. Multiorgan histopathological changes in the juvenile seabream *Sparus aurata* as a biomarker for zinc oxide particles toxicity. *Environmental Science and Pollution Research* 27(25), 30907-30917.
- Bonsignore M., Manta D.S., Mirto S., Quinci E.M., Ape F., Montalto V., Sprovieri M. 2018. Bioaccumulation of heavy metals in fish, crustaceans, molluscs and echinoderms from the Tuscany coast. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 162, 554-562.
- Bortey-Sam N., Nakayama S.M., Ikenaka Y., Akoto O., Baidoo E., Yohannes Y.B.,

- F.A.L. 2016. From catchment to fish: Impact of anthropogenic pressures on gill histopathology. *Science of the Total Environment* 550, 972-986.
- Gawad S.S.A. 2018. Acute toxicity of some heavy metals to the fresh water snail, *Theodoxus niloticus* (Reeve, 1856). *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 44(2), 83-87.
- Genchi G., Carocci A., Lauria G., Sinicropi M.S., Catalano A. 2020. Nickel: Human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(3), 679.
- Gernhöfer M., Pawert M., Schramm M., Müller E., Triebkorn R. 2001. Ultrastructural biomarkers as tools to characterize the health status of fish in contaminated streams. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery* 8(3), 241-260.
- Hamelink J., Landrum P.F., Bergman H., Benson W.H. 1994. Bioavailability: physical, chemical, and biological interactions. CRC press.
- Hussan A., Choudhury T.G., Ahmed I., Gita S., Das A., Udit U.K., Mandal R.N. 2018. Effect of mercury and cadmium on the oxygen consumption and gill Histology of *Catla catla* (Ham. 1822). *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 88(2), 729-738.
- Jalaludeen M.D., Arunachalam M., Raja M., Nandagopal S., Showket A.B., Sundar S., Palanimuthu D. 2012. Histopathology of the gill, liver and kidney tissues of the freshwater fish *Tilapia mossambica* exposed to cadmium sulphate. *International Journal of Advanced Biological Research* 2(4), 572-578.
- Jamroz D., Wartecki T., Houszka M., Kamel C. 2006. Influence of diet type on the inclusion of plant origin active substances on morphological and histochemical characteristics of the stomach and jejunum walls in chicken. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 90(5-6), 255-268.
- Johari S.A., Coad B.W., Mazloomi S., Kheyri M., Asghari S. 2009. Biological and morphometric characteristics of, *Capoeta fusca*, a cyprinid fish living in the qanats of south Khorasan, Iran: (Osteichthyes: Ishizuka M. 2015. Human health risks from metals and metalloids via consumption of food animals near gold mines in Tarkwa, Ghana: Estimation of the daily intakes and target hazard quotients (THQs). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 111, 160-167.
- Capaldo A., Gay F., Laforgia V. 2019. Changes in the gills of the European eel (*Anguilla anguilla*) after chronic exposure to environmental cocaine concentration. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 169, 112-119.
- Choudhary L., Vyas T., Chauhan N.R.S., Madhavi B., Yadav G.K., Bharadwaj S. 2019. Histopathological changes due to lead toxicity in gills of *P. ticto* (hem). *International Research Journal of Science and Engineering* 7(4), 92-95.
- Eagderi S., Mouludi-Saleh A., Esmaeli H.R., Sayyadzadeh G., Nasri M. 2022. Freshwater lamprey and fishes of Iran; a revised and updated annotated checklist-2022. *Turkish Journal of Zoology* 46(6), 500-522.
- Elahee K.B., Bhagwant S. 2007. Hematological and gill histopathological parameters of three tropical fish species from a polluted lagoon on the west coast of Mauritius. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 68(3), 361-371.
- Fahmi U., Andriani I., Salmah S., Hatta T.H., Omar S.B.A., Sari D.K. 2019. Histopathology of liver and intestine of pangkulan bare fish (*Oryzias matanensis*) Polluted by nickel and iron in Lake Matano, South Sulawesi. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* 370(1), 012078.
- FAO/WHO 2016. Accumulation of heavy metals in fishes of freshwater. Available from: <https://www.slideshare.net>. Accessed on 3 August 2021.
- Farag A.M., Nimick D.A., Kimball B.A., Church S.E., Harper D.D., Brumbaugh W.G. 2007. Concentrations of metals in water, sediment, biofilm, benthic macroinvertebrates, and fish in the Boulder River watershed, Montana, and the role of colloids in metal uptake. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 52(3), 397-409.
- Fonseca A.R., Fernandes L.S., Fontainhas-Fernandes A., Monteiro S.M., Pacheco

- from Lake Qarun, Egypt. *World Journal of Fish and Marine Sciences* 1(1), 29-39.
- Montaser M., Mahfouz M.E., El-Shazly S.A., Abdel-Rahman G.H., Bakry S. 2010. Toxicity of heavy metals on fish at Jeddah coast KSA: Metallothionein expression as a biomarker and histopathological study on liver and gills. *World Journal of Fish and Marine Sciences* 2(3), 174-185.
- Mustafa S.A. 2020. Histopathology and heavy metal bioaccumulation in some tissues of *Luciobarbus xanthopterus* collected from Tigris River of Baghdad, Iraq. *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 46(2), 123-129.
- Naz S., Hussain R., Ullah Q., Chatha A.M.M., Shaheen A., Khan R.U. 2021. Toxic effect of some heavy metals on hematology and histopathology of major carp (*Catla catla*). *Environmental Science and Pollution Research* 28(6), 6533-6539.
- Pariza A.A.F.M., Ahmad S.A., Fadzil N.I., Basirun A.A., Sha'arani S.A.W., Asri N.A.M., Shukor M.Y. 2019. Histopathological and cholinesterase changes in the gills of *Clarias gariepinus* as a result of cadmium exposure. *Journal of Environmental Biology* 40(4), 683-690.
- Patel J.M., Bahadur A. 2010. Histopathological alternations in Catla catla induced by chronic exposure of copper ions. *Journal of Cell and Tissue Research* 10(3), 2365-2370.
- Pirsaheb M., Azadi N.A., Miglietta M.L., Sayadi M.H., Blahova J., Fathi M., Mansouri B. 2019. Toxicological effects of transition metal-doped titanium dioxide nanoparticles on goldfish (*Carassius auratus*) and common carp (*Cyprinus carpio*). *Chemosphere* 215, 904-915.
- Prabhu S., Poulose E.K. 2012. Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. *International Nano Letters* 2(1), 32.
- Purwanti I., Arroisi W., Rahardja B.S., Sulmartiwi L. 2019. Bioaccumulation and histopathological effect on the gills and liver of silver barb (*Barbonymus gonionotus*) exposed to the heavy metal nickel. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 236(1), 012098.
- Ribeiro C.O., Neto F.F., Mela M., Silva P.H., Randi M.A.F., Rabitto I.S., Pelletier E. (Cyprinidae). *Zoology in the Middle East* 47(1), 63-70.
- Kawser Ahmed M., Baki M.A., Kundu G.K., Islam S., Islam M., Hossain M. 2016. Human health risks from heavy metals in fish of Buriganga River, Bangladesh. *SpringerPlus* 5(1), 1-12.
- Kharkan, J., Sayadi, M. H., Hajjani, M., Rezaei, M. R., & Savabieasfahani, M. 2022. Toxicity of nickel oxide nanoparticle in *Capoeta fusca*, using bioaccumulation, depuration, and histopathological changes. *Global Journal of Environmental Science and Management* 9(3), 1-18.
- Kumar N., Gupta S.K., Bhushan S., Singh N.P. 2019. Impacts of acute toxicity of arsenic (III) alone and with high temperature on stress biomarkers, immunological status and cellular metabolism in fish. *Aquatic Toxicology* 214, 105233.
- Liu F., Ni H.G., Chen F., Luo Z.X., Shen H., Liu L., Wu P. 2012. Metal accumulation in the tissues of grass carps (*Ctenopharyngodon idellus*) from fresh water around a copper mine in Southeast China. *Environmental Monitoring and Assessment* 184(7), 4289-4299.
- Liu H., Fu S., Zhang S., Ding M., Wang A. 2020. Lead induces structural damage, microbiota dysbiosis and cell apoptosis in the intestine of juvenile bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*). *Aquaculture* 528, 735573.
- Mallatt J. 1985. Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants: a statistical review. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42(4), 630-648.
- Mansouri B., Ebrahimpour M., Babaei H., Farhangfar H. 2012. Bioaccumulation and elimination rate of cobalt by *Capoeta fusca* under controlled conditions. *Journal of Animal & Plant Sciences, Lahore* 22(3), 622-626.
- Mansouri B., Maleki A., Davari B., Johari S.A., Shahmoradi B., Mohammadi E., Shahsavari S. 2016. Histopathological effects following short-term coexposure of *Cyprinus carpio* to nanoparticles of TiO<sub>2</sub> and CuO. *Environmental Monitoring and Assessment* 188(10), 575.
- Mohamed F.A. 2009. Histopathological studies on *Tilapia zillii* and *Solea vulgaris*

- Taha M.M., Mahdy-Abdallah H., Shahy E.M., Ibrahim K.S., Elserougy S. 2018. Impact of occupational cadmium exposure on bone in sewage workers. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 24(3-4), 101-108.
- Tchounwon P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J. 2012. Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology, Experientia Supplementum* 101, 133-164.
- Verkleji J.A.S. 1993. The effects of heavy metals stress on higher plants and their use as biomonitors. Plant as bioindicators: indicators of heavy metals in the terrestrial environment. VCH, New York. pp. 415-424.
- Wong P.K. 1988. Mutagenicity of heavy metals. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 40(4), 597-603.
- Woody S.A., O'Neal S.L. 2015. Effects of Copper on Fish and Aquatic Resources. The Nature Conservancy 27.
- Yu Y., Tong B., Liu Y., Liu H., Yu H. 2021. Bioaccumulation, histopathological and apoptotic effects of waterborne cadmium in the intestine of crucian carp *Carassius auratus gibelio*. *Aquaculture Reports* 20, 100669.
- Yuen B.B., Wong C.K., Woo N.Y.S., Au D.W. 2007. Induction and recovery of morphofunctional changes in the intestine of juvenile carnivorous fish (*Epinephelus coioides*) upon exposure to foodborne benzo [a] pyrene. *Aquatic Toxicology* 82(3), 181-194.
2006. Hematological findings in Neotropical fish *Hoplias malabaricus* exposed to subchronic and dietary doses of methylmercury, inorganic lead, and tributyltin chloride. *Environmental Research* 101(1), 74-80.
- Saulea M., Stoica A.I., Baiulescu G.E., Marinescu D., Ionica, M. 2004. Determination of cobalt in food samples. *Revista de Chimie* 55(5), 301-303.
- Sayadi M.H., Mansouri B., Shahri E., Tyler C.R., Shekari H., Kharkan J. 2020. Exposure effects of iron oxide nanoparticles and iron salts in blackfish (*Capoeta fusca*): Acute toxicity, bioaccumulation, depuration, and tissue histopathology. *Chemosphere* 247, 125900.
- Sayadi M.H., Pavlaki M.D., Loureiro S., Martins R., Tyler C.R., Mansouri B., Shekari H. 2022. Co-exposure of zinc oxide nanoparticles and multi-layer graphenes in blackfish (*Capoeta fusca*): evaluation of lethal, behavioural, and histopathological effects. *Ecotoxicology* 31(3), 425-439.
- Sayadi M.H., Pavlaki M.D., Martins R., Mansouri B., Tyler C.R., Kharkan J., Shekari H. 2021. Bioaccumulation and toxicokinetics of zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) co-exposed with graphene nanosheets (GNs) in the blackfish (*Capoeta fusca*). *Chemosphere* 269, 128689.
- Sayadi, M.H., Kharkan, J. 2022. Investigating the toxicity potential of heavy metals on blood and biochemical indices of black fish. *Journal of Natural Environment*. In Press.

## Investigating the histological damage of different heavy metals on aqueduct fish (*Capoeta fusca*)

Mohammad Hossein Sayadi\*, Javad Kharkana

Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment  
University of Birjand, Birjand, Iran.

\*Corresponding author: mh\_sayadi@birjand.ac.ir

Received: 2022/11/26

Accepted: 2023/1/31

### Abstract

One of the most important pollutants in water sources is heavy metals. The development of industrial and agricultural activities has led to their widespread distribution in the environment and has raised concerns about their potential effects on the ecosystem and human health. This research aims to investigate the histological damage of heavy metals chromium, cadmium, cobalt, and copper on aqueduct fish. In this study, *Capoeta fusca* in 5 groups each with 10 specimens (one control group) were exposed to sublethal concentrations of Cr, Cd, Co, and Cu chlorides. They were exposed to these heavy metals for 28 days. The histological damage in the gills of fishes exposed to cobalt chloride includes edema, a fusion of lamellae and lamellar synechia, and in the gills of fish exposed to copper chloride, it includes necrosis, the fusion of lamellae and lamellar synechia. In the intestinal tissue, some histological damages due to exposure to chromium, cadmium, cobalt and copper chlorides include the swelling of goblet cells, increase in the number of goblet cells, destruction of villi and expansion of villi structure. The severity of histological damage in the intestine of fish exposed to copper chloride is higher than that of fish exposed to chromium, cadmium and cobalt chlorides. Sub-lethal concentrations of various heavy metals can have adverse effects on the gill tissue and intestine of *C. fusca*, the severity of which increases with time.

**Keywords:** Environmental pollution, Heavy metals, Fusion of lamellae, Goblet cells.