"مقاله پژوهشی"

بررسی انباشت زیستی آهن و هیستوپاتولوژی بافت‌های عضله، پوست و فلس کپورمعمولی (*Cyprinus carpio*) در مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن

ملیحه علیجان‌تبار[۱]، شیلا امیدظهیر[۱*]، فاطمه کاردل[۲]

۱-گروه زیست دریا، دانشکده علوم دریایی و محیطی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۲-گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم دریایی و محیطی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲

چکیده

شتاب روزافزون فناوری نانو و تولید مواد نانوساختار موجب راه‌یابی و نفوذ بسیاری از نانوذرات به طبیعت گردیده‌است. نانوذرات اکسیدآهن یکی از نانومواد پرکاربرد است که استفاده وسیع از آنها با نگرانی‌هایی همراه بوده‌است. هدف پژوهش حاضر، تعیین میزان انباشت زیستی آهن و آسیب‌شناسی بافتی ناشی از مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن در بافت‌های عضله، پوست و فلس کپور معمولی بود. ماهی‌های کپور معمولی در ۴ گروه به ترتیب در معرض غلظت‌های ۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات اکسید آهن قرارگرفتند. در روزهای ۱۴، ۲۱ و ۲۸ آزمایش، ماهی‌ها به صورت تصادفی انتخاب و بافت‌های عضله، پوست و فلس ماهی‌ها جداسازی شد و میزان انباشت زیستی آهن و آسیب شناسی در بافت‌ها مورد بررسی قرارگرفت. در این مطالعه میزان غلظت آهن در بافت فلس> پوست> عضله به دست آمد و میزان غلظت آهن در بافت‌های فلس و پوست نسبت به بافت عضله از افزایش معنی‌دار برخودار بودند ($p<۰/۰۵$). بیشترین آسیب بافتی در روز ۲۸ و گروه ۴ در بافت پوست به صورت هیپرپلازی سلول‌های بافت پوششی، افزایش سلول‌های جامی، نفوذ سلول‌های آماسی و تخریب بافت پوششی و در بافت عضله تخریب فیبر عضلانی، نفوذ سلول‌های آماسی، افزایش مراکز ملانوماکروفاژ و دژنرسانس هیالینه مشاهده گردید. در نتیجه‌گیری نهایی می‌توان بیان نمود، میزان انباشت زیستی آهن در بافت‌های پوست و فلس در مقایسه با بافت عضله در مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن بیشتر بود، همچنین میزان آسیب بافتی با غلظت و مدت زمان مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن را بطه مستقیم داشت.

کلمات کلیدی: کپور معمولی، نانوذرات اکسیدآهن، هیستوپاتولوژی، انباشت زیستی، جذب اتمی.

* عهده‌دار مکاتبات: sh.omidzahir@umz.ac.ir

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

مقدمه

نانوذرات امروزه در حوزه‌های مختلف علوم زیستی، پزشکی و دارویی کاربردهای زیادی پیدا کرده است و در سال‌های اخیر به عنوان یکی از مهمترین زمینه‌های تحقیقاتی مطرح شده است (Aitken *et al.*, 2006). با توسعه صنعت آبزی پروری، استفاده از نانومواد در سازه‌های مختلف کارگاه‌های پرورش ماهی رایج شده است و مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از نانومواد همچنین در بهبود صنایع دریایی کمک قابل توجهی نموده‌است که از جمله آن می‌توان کاربرد نانوپوشش‌ها و نانورنگ‌ها را نام برد (افتاری، ۱۳۸۸). با استفاده از فناوری‌نانو می‌توان برای محافظت از فلزات، روکش‌هایی را در بدنه شناورها و تجهیزات زیردریایی طراحی کرد که در مقابل املاح، عوامل خورنده، ضربه امواج و رشد جلبک‌ها مقاوم هستند. محققان با کاربرد فناوری‌نانو موفق به تولید رنگی شده‌اند که در برابر جریان هوا و آب مقاومت بسیار کمی از خود نشان می‌دهد و سبب کاهش مقاومت آئرودینامیکی می‌گردد. با اعمال این رنگ در کشتی‌های بزرگ می‌توان صرفه‌جویی سالانه ۲۰۰۰ تن سوخت داشت (جاویدپرور و همکاران، ۱۳۹۳).

از جمله نانوذراتی که در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، نانوذرات اکسیدآهن هستند. نانوذرات اکسیدآهن دارای فعالیت شیمیایی بالایی هستند و به‌راحتی می‌توانند در تماس با هوا به اکسیدهای پایدارتری تبدیل شوند (Gupta, 2005; Hartley *et al.*, 2004). این نانواکسیدها به‌دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی مانند محافظت از پوشش در مقابل خوردگی و پرتو فرابنفش خورشید، از دسته نانوذرات مورد استفاده به عنوان نانوپوشش مورد استفاده قرار می‌گیرند (جاویدپرور و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین نانوذرات اکسیدآهن دارای قابلیت حذف و کاهش آلودگی‌های آلی و معدنی از محیط می‌باشند و برای از بین بردن آرسنیک از آب آشامیدنی و آلودگی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌عنوان اصلاح کننده آلودگی محیط زیست شناخته شده است (Comba *et al.*, 2010).

با وجود کاربرد موثر نانوذرات، نگرانی‌هایی در رابطه با خطر ورود بی رویه آنها به محیط زیست وجود دارد (Blaise *et al.*, 2008). نانوذرات مختلف بسته به میزان انرژی مغناطیسی‌شان تمایل به ایجاد پیوند و متراکم شدن دارند، محیط‌های آبی بسیار آسیب‌پذیر هستند و محل رسوب و تجمع بسیاری از نانوذرات می‌باشند که در نتیجه سبب انباشت زیستی نانوذرات در بدن موجودات زنده می‌گردد. نانوذرات می‌توانند از سدهای فیزیولوژیک بدن عبور کرده و سبب بروز اختلالات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک در بدن موجودات زنده مقیم آن نواحی از جمله ماهی‌ها شوند (غفاری و خسروی زاده، ۱۳۹۱) و در شرایطی‌که میزان زیادی از نانوذرات در بدن موجودات زنده انباشته شوند، می‌توانند سبب بروز علائم و نشانه‌های مسمومیت گردند (Blaise *et al.*, 2008). مطالعه احمدی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد نانوذرات اکسید مس اثرات منفی بر آبشش بچه‌ماهیان کپور معمولی شامل پرخونی، خون‌ریزی، هایپرپلازی و چسبندگی رشته‌های ثانویه با شدت زیاد داشته است. همچنین نتایج حاصل از

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

بررسی نانو ذرات نقره بر بافت آبشش و عضله ساقه دمی ماهی کپور معمولی نشان داد با افزایش غلظت نانو ذرات نقره تجمع بافتی در بافتهای مورد مطالعه افزایش می‌یابد (ضیائی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷).

اطلاعات محدودی در مورد سمیت و میزان سطوح امن بسیاری از نانوذرات در موجودات زنده شناخته شده است و بررسی اثرات نانوذرات نیاز به تحقیقات جامعی در زمینه های مختلف دارد (Zhang *et al.*, 2015; Remya *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای بر روی ماهی مداکا (*Oryzias latipes*) تاثیر نانوذرات اکسیدآهن به صورت حرکات آهسته چرخشی، نقص بینایی و افزایش مرگ و میر گزارش گردید (Chen *et al.*, 2013). در تحقیقی دیگر تغییرات هماتولوژیک شامل افزایش تعدادگلبول‌های قرمز، میزان هموگلوبین و هماتوکریت و همچنین کاهش میزان گلبول‌های سفید در ماهی کپور هندی (*Labeo rohita*) به دنبال مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن مشاهده شد (Remya *et al.*, 2015). تخریب رشته‌های آبششی و تیغه‌های آبششی ثانویه، تورم سلول‌های بافت پوششی آبشش ماهی مدکا (*Oryzias latipes*) به دنبال مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن گزارش شد (Li *et al.*, 2009). هدف مطالعه حاضر، تعیین و مقایسه انباشت زیستی آهن و آسیب‌شناسی بافت‌های عضله، پوست و فلس ماهی کپورمعمولی (*Cyprinus carpio*) پس از مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن بود.

مواد و روش‌ها

تهیه و گروه بندی ماهی‌ها

در این مطالعه بچه‌ماهی‌های کپور معمولی (*C. carpio*) از یک مزرعه پروش ماهی گرمابی خریداری‌شدند. ماهی‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه دانشکده علوم دریایی دانشگاه مازندران مورد زیست سنجی قرارگرفتند و طول کل و وزن ماهی‌ها ۰/۹۱±۱۴/۶۹ سانتی‌متر و ۱۰/۲۰±۵۷/۸۱ گرم ثبت‌شد. قبل از شروع آزمایش، ماهی‌ها به مدت یک هفته در شرایط آزمایشگاهی نگهداری شدند، سپس تعداد ۱۸۰ ماهی به طور تصادفی در ۴ مخزن حاوی ۳۰ لیتر آب شهر کلرزدایی شده به ۴ گروه ۱۵ تایی در سه تکرار تقسیم شدند. گروه ۱ غلظتی از نانوذرات اکسیدآهن را دریافت نکرد و گروه‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب در معرض غلظت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات اکسیدآهن (Fe_2O_3) (US Research Nanomaterials Inc, USA) با درجه خلوص ٪۹۸+ قرارگرفتند. در این مطالعه غلظت نانوذرات اکسیدآهن بر اساس مطالعات Remya و همکاران، 2015و Li و همکاران، ۲۰۰۹ در نظر گرفته شد.

تغذیه ماهی‌ها دو بار در روز و به میزان ۲ در صد وزن بدن توسط پلت تجاری آماده حاوی ۳۸-۳۵ درصد پروتئین خام، ۹-۷ درصد چربی خام، حداکثر ۵ درصد فیبر خام، کمتر از ۱۰ درصد رطوبت و حداکثر ۱۰ درصد خاکستر صورت گرفت. آب مخازن یک روز در میان با آب کلرزدایی شده منبع ذخیره تعویض شد و غلظت مورد نظر از نانوذرات

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

اکسیدآهن به مخازن افزوده شد. در طول مدت آزمایش روزانه فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب مخازن اندازه‌گیری و ثبت گردید. در روزهای ۱۴، ۲۱ و ۲۸ آزمایش، از هر گروه ۵ ماهی به طور تصادفی انتخاب و با عصاره گل میخک بیهوش و کالبدشکافی شدند و نمونه‌برداری از بافت‌های عضله، پوست و فلس هریک از ماهی‌ها صورت گرفت.

تعیین میزان انباشت زیستی آهن در بافت‌ها

به منظور ارزیابی میزان انباشت زیستی آهن، هضم شیمیایی بافت‌ها صورت گرفت. به این منظور بافت‌های فلس، پوست و عضله هر یک از ماهی‌ها جداسازی گردید. نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۶ ساعت خشک و در هاون چینی ساییده شدند و به صورت پودر درآمدند. مقدار ۰/۵ گرم از بافت پودر شده درون (۵) ریخته شد و به هر فالکون ۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۶۹ درصد و ۲ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۶۰ درصد اضافه گردید. سپس فالکون‌ها یک شبانه روز در دمای اتاق و ۲ ساعت در حمام بن ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. محتویات هر فالکون با استفاده از کاغذ صافی واتمن صاف و با استفاده از اسیدنیتریک ۱ درصد به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید (FAO, 1983). در نهایت میزان غلظت آهن در نمونه‌های فلس، پوست و عضله با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای (آنالیتیک جنا AA-400، آلمان) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای محاسبه غلظت واقعی آهن از فرمول زیر استفاده شد (Al-Weher, 2008).

$$\text{غلظت واقعی (میکروگرم بر گرم)} = \frac{\text{غلظت خوانده شده توسط دستگاه (میکروگرم بر میلی‌لیتر)} \times \text{حجم نهایی نمونه (میلی‌لیتر)}}{\text{وزن خشک نمونه (گرم)}}$$

آسیب شناسی بافتی

نمونه‌های بافت‌های عضله، پوست و فلس در ظروف پلاستیکی دارای فرمالین بافر ۱۰ درصد قرارگرفتند و در دستگاه پردازنده بافت (دید سبز، ایران) آماده‌سازی شدند. سپس با استفاده از دستگاه میکروتوم (لایتز ۱۵۱۲، آلمان) برش‌هایی با اندازه ۵ میکرومتر از بافت‌ها تهیه شد. نمونه های بافتی بر روی لام قرار گرفتند و به روش هماتوکسیلین ائوزین (H&E) رنگ‌آمیزی شدند (Bancroft and Gamble, 2008). سپس لامهای تهیه شده توسط میکروسکوپ نوری (المپوس CX21، ژاپن) مورد بررسی آسیب‌شناسی قرارگرفتند و تصاویر بافتی با استفاده از سیستم عکسبرداری متصل به میکروسکوپ تهیه شد. شدت آسیب بافتی بر اساس عدم وجود، خفیف، متوسط و شدید با درجات - ، + ، ++ و +++ ثبت شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

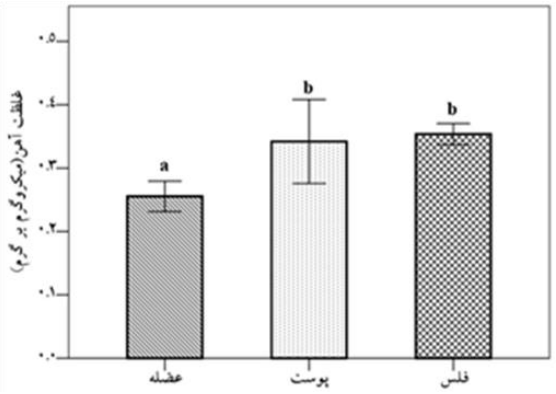
در این مطالعه تجزیه و تحلیل آماری و رسم نمودارها توسط نرم افزار SPSS 22 انجام شد. ابتدا نرمال بودن داده‌های حاصل از نتایج انباشت زیستی آهن در هریک از بافت‌های عضله، پوست و فلس توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس مقایسه میزان انباشت زیستی آهن در سه بافت مورد مطالعه و همچنین تفاوت معنی‌داری غلظت آهن در هریک از بافت‌ها در ۴ گروه مختلف، توسط آزمون تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

(One-way ANOVA) و آزمون تعقیبی دانکن (Duncan test) مورد ارزیابی قرارگرفت.

نتایج

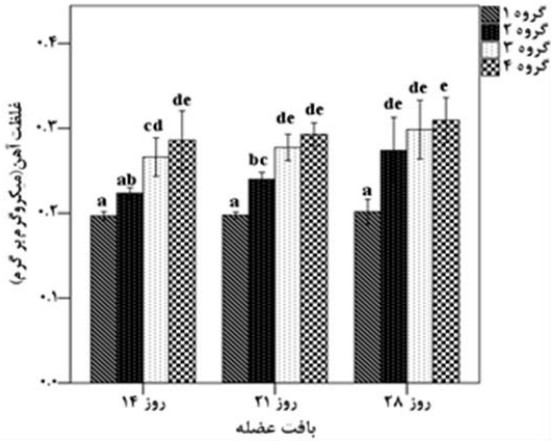
نتایج حاصل از آزمون آماری نشان داد میزان غلظت آهن در بافت عضله نسبت به بافت‌های پوست و فلس از تفاوت معنی‌داری برخوردار است ($p<۰/۰۵$)، ولی بافت‌های پوست و فلس با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند ($p>۰/۰۵$) (شکل ۱).



شکل ۱: میزان غلظت آهن (میکروگرم بر گرم) (میانگین ± انحراف معیار) در بافت‌های عضله، پوست و فلس (حروف لاتین مختلف در بالای ستون‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد).

غلظت آهن در بافت عضله

در بافت عضله، در روزهای ۱۴، ۲۱ و ۲۸ با افزایش میزان دریافت نانوذرات اکسیدآهن، غلظت بالاتری از آهن در گروه‌های مختلف مشاهده گردید. به طوریکه در روز ۱۴، میزان غلظت آهن در بافت عضله در گروه‌های ۳ و ۴ در مقایسه با گروه شاهد و گروه ۲ تفاوت معنی داری داشتند ($p<۰/۰۵$). در روز۲۱، غلظت آهن در گروه‌های مختلف در معرض نانوذرات اکسید آهن نسبت به گروه شاهد، و همچنین گروه‌های ۳ و ۴ نسبت به گروه ۲ تفاوت معنی‌داری نشان دادند ($p<۰/۰۵$)، و در روز ۲۸، میزان غلظت آهن در گروه شاهد نسبت با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت ($p<۰/۰۵$)، در حالیکه بین گروه‌های مختلف در معرض نانوذرات اکسید آهن با وجود افزایش غلظت آهن تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید ($p>۰/۰۵$) (شکل ۲).



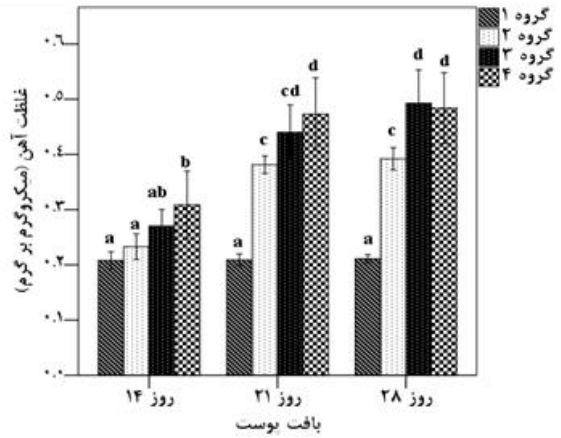
شکل ۲: میزان غلظت آهن (میکروگرم بر گرم) (میانگین ± انحراف معیار) در بافت عضله در مدت زمان‌های مختلف مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن در گروه‌های مختلف (حروف لاتین متفاوت در بالای ستون‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد).

غلظت آهن در بافت پوست

در بافت پوست، در روزهای ۱۴و ۲۱ با افزایش میزان نانوذرات اکسیدآهن، غلظت بالاتری از آهن در گروه‌های مختلف در معرض با نانوذرات اکسیدآهن مشاهده‌گردید. به طوریکه در روز ۱۴، غلظت آهن در گروه ۴ در مقایسه با گروه شاهد و گروه ۲ افزایش معنی‌داری نشان داد ($p<۰/۰۵$)، در حالیکه با گروه ۳ تفاوت معنی‌داری نداشت ($p>۰/۰۵$). در روز ۲۱ نیز، بین گروه شاهد با سایر گروه‌ها و همچنین بین گروه‌های ۲ و ۴ تفاوت معنی‌دار مشاهده گردید ($p<۰/۰۵$). در روز ۲۸، روند افزایشی غلظت آهن بین گروه‌های شاهد و ۲ و ۳ مشاهده شد ($p<۰/۰۵$)، در حالیکه گروه ۴ کاهش میزان غلظت آهن را نشان داد

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

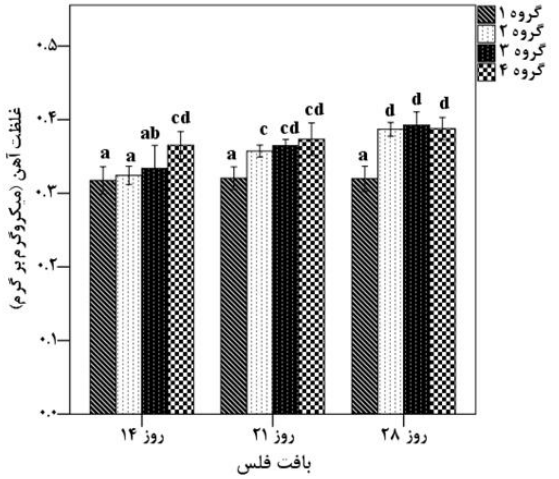
که البته در مقایسه با گروه ۳ تفاوت معنی‌داری نداشت ($p>0.05$) (شکل ۳).



شکل ۳: میزان غلظت آهن (میکروگرم بر گرم) (میانگین ± انحراف معیار) در بافت پوست در مدت زمان‌های مختلف مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن در گروه‌های مختلف (حروف لاتین متفاوت در بالای ستون‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد).

غلظت آهن در بافت فلس

در بافت فلس، در روزهای ۱۴و ۲۱ با افزایش میزان نانوذرات اکسیدآهن، غلظت بالاتری از آهن در گروه‌های مختلف در معرض با نانوذرات اکسیدآهن مشاهده گردید. به طوریکه در روز ۱۴، میزان غلظت آهن در گروه ۴ نسبت به گروه‌های دیگر از تفاوت معنی‌داری برخوردار بود ($p<0.05$)، ولی بین گروه‌های ۱، ۲ و ۳ تفاوت معنی داری مشاهده نشد ($p>0.05$). در روز ۲۱ نیز با افزایش غلظت نانوذرات اکسیدآهن، میزان غلظت آهن در گروه‌ها افزایش یافت و گروه شاهد نسبت به سایر گروه‌ها تفاوت معنی‌دار نشان داد ($p<0.05$)، در حالیکه در سایر گروه‌ها با وجود روند افزایشی غلظت آهن تفاوت معنی داری نداشت ($p>0.05$). در روز ۲۸ نیز بین گروه شاهد و سایر گروه‌ها تفاوت معنی‌دار مشاهده گردید ($p<0.05$)، ولی سایر گروه‌ها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند ($p>0.05$) (شکل ۴).



شکل ۴: میزان غلظت آهن (میکروگرم بر گرم) (میانگین ± انحراف معیار) در بافت فلس در مدت زمان‌های مختلف مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن در گروه‌های مختلف (حروف لاتین متفاوت در بالای ستون‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد).

آسیب شناسی بافت عضله

در نمونه‌برداری بافت عضله درگروه شاهد شرایط طبیعی بافتی مشاهده شد. در حالیکه در روز ۱۴، نفوذ سلول‌های آماسی با درجه خفیف در گروه ۲، حضور ملانوماکروفاژ و نفوذ سلول های آماسی با درجه خفیف در گروه‌های ۳ و ۴ مشاهده‌گردید. در روز ۲۱، نفوذ سلول های آماسی با درجه متوسط و حضور ملانوماکروفاژ با درجه خفیف در گروه ۲، نفوذ سلول‌های آماسی و حضور ملانوماکروفاژ با درجه متوسط و تخریب فیبر عضلانی با درجه خفیف در گروه ۳ مشاهده گردید. در گروه ۴ نیز علاوه بر آسیب‌های مشاهده شده در گروه ۳، دژنرسانس هیالینه با درجه خفیف دیده شد. در روز ۲۸، نفوذ سلول‌های آماسی با درجه شدید، حضور

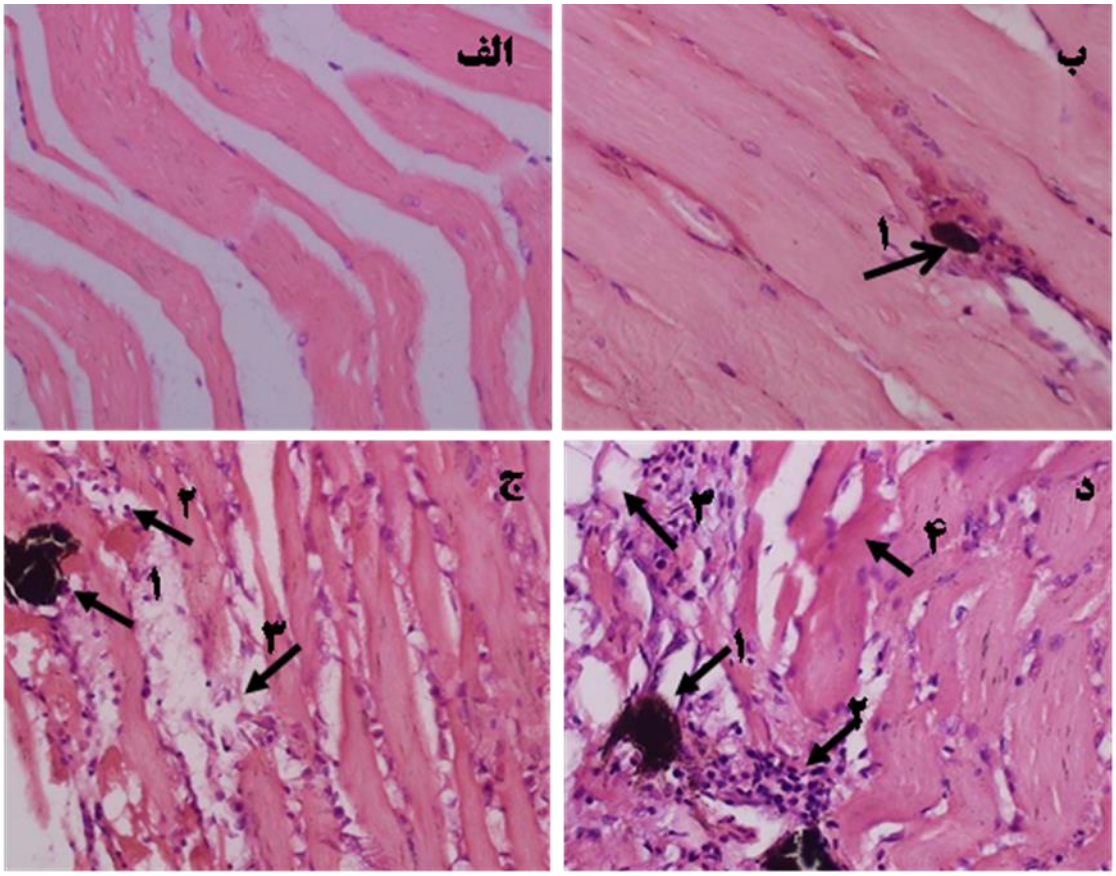
[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

ملانوماکروفاژ با درجه متوسط، تخریب فیبر عضلانی و دژنرسانس هیالینه با درجه خفیف در گروه ۲، نفوذ سلول‌های آماسی با درجه شدید، حضور ملانوماکروفاژ، تخریب فیبر عضلانی و دژنرسانس هیالینه با درجه متوسط در گروه ۳ مشاهده گردید. در گروه ۴ نیز علاوه بر آسیب‌های مشاهده شده در گروه ۳ تخریب فیبر عضلانی با درجه شدید دیده شد (جدول ۱، شکل ۵).

جدول ۱: آسیب‌های بافتی مشاهده شده در عضله در مدت زمان‌های مختلف مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن درگروه‌های مختلف (-، +، ++ و +++ به ترتیب شدت آسیب بافتی را به صورت عدم وجود، خفیف، متوسط و شدید نشان می‌دهد).

نانوذرات اکسیدآهن (میلی‌گرم در لیتر)	مدت زمان (روز)	نوع آسیب در بافت عضله			
		نفوذ سلول های آماسی	حضور ملانوماکروفاژ	دژنرسانس هیالینه	تخریب فیبر عضلانی
۰	۱۴، ۲۱ و ۲۸	-	-	-	-
۵۰	۱۴	+	-	-	-
۷۵		+	+	-	-
۱۰۰		+	+	-	-
۵۰	۲۱	++	+	-	-
۷۵		++	++	-	+
۱۰۰		++	++	+	+
۵۰	۲۸	+++	++	+	+
۷۵		+++	++	++	++
۱۰۰		+++	++	++	+++

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]



شکل۵: الف: بافت عضله: گروه شاهد (شرایط طبیعی بافتی)، ب: گروه ۲ روز ۲۸: حضور مراکز ملانوماکروفاژ (پیکان ۱)؛ ج: گروه ۳ روز ۲۸: حضور مراکز ملانوماکروفاژ (پیکان ۱)، نفوذ سلول‌های آماسی (پیکان ۲)، تخریب فیبر عضلانی (پیکان ۳)؛ د: گروه ۴ روز ۲۸: حضور ملانوماکروفاژ (پیکان ۱)، نفوذ سلول‌های آماسی (پیکان ۲)، تخریب فیبر عضلانی (پیکان ۳) و دژنرسانس هیالینه (پیکان ۴)، رنگ‌آمیزی H&E، بزرگنمایی X40.

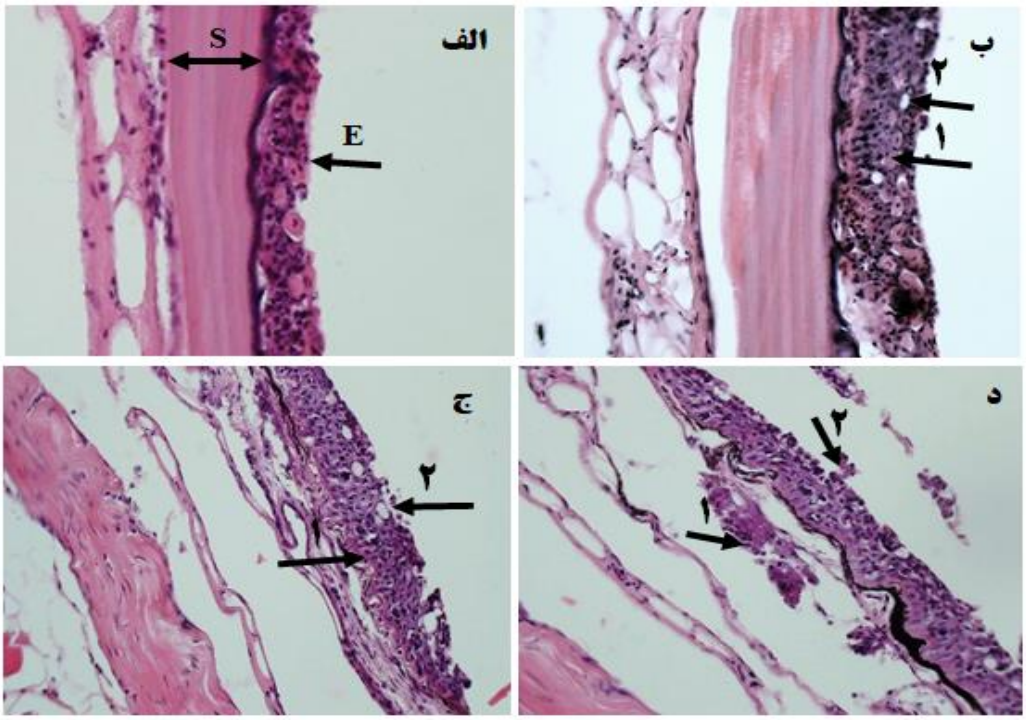
آسیب شناسی بافت پوست

شرایط طبیعی بافتی در گروه شاهد و در نمونه‌های روز ۱۴ در بافت‌های پوست و فلس مشاهده شد. در حالیکه در روز ۲۱، هیپرپلازی سلول‌های بافت پوششی و افزایش سلولهای جامی با درجه خفیف در گروه ۲، هیپرپلازی سلول‌های بافت پوششی، افزایش سلولهای جامی و نفوذ سلول‌های آماسی با درجه خفیف در گروه ۳، هیپرپلازی سلول‌های بافت پوششی و افزایش سلولهای جامی با درجه متوسط، نفودسلول‌های آماسی و تخریب بافت پوششی با درجه خفیف در گروه ۴ مشاهده گردید. در روز ۲۸، هیپرپلازی سلول‌های بافت پوششی، نفودسلول‌های آماسی، تخریب بافت پوششی و افزایش سلولهای جامی با درجه خفیف در گروه ۲، هیپرپلازی سلول‌های بافت پوششی و تخریب بافت پوششی با درجه خفیف و نفودسلول‌های آماسی و افزایش سلولهای جامی با درجه متوسط در گروه ۳ و هیپرپلازی سلول‌های بافت پوششی با درجه خفیف و افزایش سلولهای جامی، نفوذ سلول‌های آماسی و تخریب بافت پوششی با درجه متوسط در گروه ۴ مشاهده شد (جدول ۲، شکل ۶).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

جدول ۲: آسیب‌های بافتی مشاهده شده در پوست در مدت زمان های مختلف مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن درگروه‌های مختلف (-، +، ++ و +++ به ترتیب شدت آسیب بافتی را به صورت عدم وجود، خفیف، متوسط و شدید نشان می‌دهد).

نانوذرات اکسیدآهن (میلی گرم درلیتر)	مدت زمان (روز)	نوع آسیب در بافت پوست			
		هیپرپلازی سلول های بافت پوششی	افزایش سلولهای جامی	نفوذ سلول‌های آماسی	تخریب بافت پوششی
۰	۱۴، ۲۱ و ۲۸	-	-	-	-
۵۰	۱۴	-	-	-	-
۷۵		-	-	-	-
۱۰۰		-	-	-	-
۵۰	۲۱	+	+	-	-
۷۵		+	+	+	-
۱۰۰		++	++	+	+
۵۰	۲۸	+	+	+	+
۷۵		+	++	++	+
۱۰۰		+	++	++	++



شکل ۶: بافت پوست و فلس: الف: گروه شاهد (شرایط طبیعی بافتی): اپیدرم (E)، فلس (S)؛ ب: گروه ۲ روز ۲۸: هیپرپلازی سلول‌های پوششی بافت پوست (پیکان ۱) و افزایش سلولهای جامی (پیکان ۲)؛ ، ج: گروه ۳ روز۲۸: هیپرپلازی سلول‌های پوششی بافت پوست (پیکان ۱) و افزایش سلولهای جامی (پیکان ۲)؛ د:گروه ۴ روز ۲۸: نفودسلول‌های آماسی (پیکان ۱)، تخریب بافت پوششی پوست (پیکان ۲)، رنگ‌آمیزیH&E، بزرگنمایی X40.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

بحث

تحقیقات زیادی در مورد عملکرد آهن و همچنین اثرات تجمع آن در بدن موجودات زنده انجام شده است (Wood *et al*., 2012). اما اثرات نانوذرات آهن بر موجودات زنده به ویژه در محیط‌های آبی نیازمند پژوهش‌های جامع‌تری است (Zhang *et al*., 2015; Li *et al*., 2009). افزایش تولید محصولات نانو، منجر به ورود بی‌رویه نانوذرات به محیط زیست شده است و در صورتی‌که میزان زیادی از نانوذرات در بدن موجودات زنده تجمع یابند، می‌توانند آسیب‌ها و مسمومیت‌هایی را به دنبال داشته باشند (Blaise, 2008). فرآیند انتقال نانوذرات در بدن یک فرایند پیچیده است. انتروسیت‌ها (سلول‌های روده) از سلول‌های هدف اولیه برای انتقال نانوذرات هستند، نانوذرات از طریق سلول‌های روده وارد گردش خون عمومی بدن می‌گردند، سپس پروتئین‌های پلاسما مانند گلوبولین و ترانسفرین به سطح نانوذرات متصل می‌شوند و توسط آنها به اندام‌های مختلف منتقل می‌شوند. تعامل بین نانوذرات و بدن موجودات زنده به تازگی با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است، با این وجود، هنوز مطالعات درباره مکانیسم انتقال نانوذرات در بدن کافی نیست (Yu *et al*., 2016).

با وجود کاربرد وسیع نانوذرات اکسیدآهن، گزارش‌ها در زمینه جنبه‌های مختلف اثرات نانوذرات اکسیدآهن در بافت‌های مختلف ماهی، محدود است. تأثیر نانوذرات اکسیدآهن برروی کبد ماهی کپورمعمولی به صورت دژنرسانس شدید واکوئولی و نکروز شدید هپاتوسیست‌ها، نفوذ سلول‌های آماسی و پرخونی گزارش گردید (امیدظهیر و همکاران، ۱۳۹۷). در مطالعه‌ای برروی ماهی تیلاپیا (*Oreochromis mossambicus*) آسیب به بافت کبد ناشی از در معرض قرار گرفتن با نانوذرات اکسید آهن به صورت افزایش آنزیم‌های کبدی آسپارتات آمینوترانسفراز و آلانین آمینوترانسفراز گزارش شد (Karthikeyeni *et al*., 2013) تخریب بافت پوششی روده و نفوذ سلول‌های آماسی متعاقب مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن در ماهی کپور معمولی مشاهده گردید (Omidzahir *et al*., 2019).

در مطالعه حاضر، همزمان میزان انباشت زیستی آهن و آسیب شناسی در عضله، پوست و فلس به دنبال مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه میزان انباشت زیستی آهن در بافت فلس> پوست> عضله به دست آمد.

میزان تجمع فلزات سنگین از جمله آهن در بافت‌های مختلف ماهی به نقش فیزیولوژیکی آنها وابسته است. اندام هایی با فعالیت متابولیسمی بالا تمایل بالاتری نسبت به تجمع فلزات سنگین در خود دارند (Yilmaz, 2003; Yilmaz, 2005). همچنین تحقیقات نشان داده است، تفاوت غلظت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف ماهی به دلیل تفاوت ظرفیت پروتئین‌های اتصالی به فلزات سنگین مانند متالوتیونین‌ها می‌باشد (Usero *et al*., 2004). متالوتیونین‌ها از دستهٔ پروتئین‌ها با وزن ملکولی کم هستند که به فلزات متصل می‌شوند و عمل آنها تنظیم فلزات ضروری و غیر ضروری و همچنین سم‌زدایی آنها است، بنابراین میزان متالوتیونین القاء شده می‌تواند یک شاخص سلولی برای تشخیص تماس با فلز و مسمومیت در ماهی باشد (Woo *et al*., 2006).

در این مطالعه علت وجود و مشاهده غلظت بالاتری از آهن در بافت‌های فلس و پوست ماهی می‌تواند به

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

علت ترکیب آهن با موکوس در این بافت‌ها باشد، زیرا این امر غیر ممکن است که موکوس به طور کامل از بافت پوست و فلس حذف شود (Yilmaz, 2003; Yilmaz, 2005). همچنین مشاهده غلظت پایین‌تری از آهن در بافت عضله به این دلیل است که عضله اندام فعالی برای تجمع فلزات سنگین نیست و غلظت پایین فلزات سنگین در بافت عضله ماهی می‌تواند انعکاسی از وجود سطوح پایین متالوتیونین‌ها در این بافت باشد (Karadede and Unlo, 2000). با این وجود، برخی از تحقیقات نشان داده است سطوح فلزات سنگین در عضله در برخی از ماهی‌ها در مناطق آلوده، بیش از حد قابل قبول بوده است، به همین علت پایش سطح فلزات سنگین در این بافت از آنجا که اندامی خوراکی محسوب می‌شود، بسیار با اهمیت است (Uysal *et al.*, 2008).

در مطالعه حاضر در بررسی آسیب‌شناسی بافت پوست بیشترین آسیب بافتی در نمونه‌برداری روز ۲۸ در گروه ۴ که غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات اکسید آهن را دریافت می‌کردند، به صورت هیپرپلازی سلول‌های بافت پوششی، افزایش سلول‌های جامی، نفوذ سلول‌های آماسی و تخریب بافت پوششی مشاهده‌گردید.

بافت پوششی پوست مانع و سد محکم و موثری در برابر آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین محسوب می‌شود (Uysal *et al.*, 2008).

ترشحات موکوسی فراوان برروی پوست ماهی به عنوان یک سد و مانع موثر در جلوگیری از انتشار آلاینده‌های محیطی از طریق اپیدرم پوست ماهی نقش مهمی دارد (Yilmaz, 2003; Pazooki, 2011). در صورت بروز ضایعات پوستی، عملکرد حفاظتی پوست کاهش می‌یابد و در نتیجه زمینه ورود آلودگی به داخل بدن فراهم شده و سبب درگیری بافت‌های داخلی می‌گردد (شاهسونی و موثقی، ۱۳۸۱).

مطالعه حاضر نشان داد با افزایش میزان غلظت و مدت زمان رویارویی با نانوذرات اکسیدآهن میزان آسیب در بافت عضله افزایش یافت، به طوریکه بیشترین آسیب در گروه ۴ روز ۲۸ پس از مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن به صورت تخریب فیبر عضلانی، نفوذ سلول‌های آماسی، افزایش مراکز ملانوماکروفاژ و دژنرسانس هیالینه مشاهده گردید. در پدیده دژنرسانس هیالینه در بافت عضلانی سارکوپلاسم میوفیبریل‌ها هیالینه شده و به صورت ائوزینوفیلیک، بی شکل و یکدست در می‌آیند که نشان دهنده از بین رفتن ساختار طبیعی میوفیبریل عضلانی می‌باشد. مراکز ملانوماکروفاژ تجمعی از ماکروفاژها و پیگمان‌های ملانین در مهره‌داران خونسرد هستند که در شرایط استرس مانند ورود آلاینده به محیط، اندازه و تعداد آنها افزایش می‌یابد.

علیرغم اینکه عضلات اندام هدف برای تجمع فلزات محسوب نمی‌شوند، اما در برابر آسیب‌های ناشی از در معرض قرارگرفتن با بیش از مقدار طبیعی فلزات حساس می باشند و این امر سبب بروز واکنش‌های بافتی نسبت به شرایط نامساعد می شود (Kaoud and El-Dahshan, 2010).

بنابراین از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت میزان انباشت زیستی آهن در بافت‌های پوست و فلس ماهی کپورمعمولی در مقایسه با بافت عضله پس از مواجهه با نانوذرات اکسیدآهن بیشتر بود، همچنین میزان آسیب بافتی با غلظت نانوذرات اکسیدآهن دریافتی در گروه‌های مختلف و مدت زمان مواجهه با نانوذرات را

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

بطـه مسـتقیم داشـت، بـه طوریکـه بـا افـزایش غلظـت نانوذرات اکسیدآهن و همچنین مـدت زمـان مواجهـه، میزان آسیب بافتی در بافت‌هـای مـورد مطالعـه افـزایش پیدا کرد.

سپاسگزاری

منابع

۱. احمـــدی، ح.، نعیمـــی، ا.س.، نظرحقیقـــی، ف.، غفـوری، ح.، ۱۳۹۵. اثـرات نیمـه مـزمن نـانوذره‌ی اکسید مـس بـر برخـی پارامترهـای خـونی و بافـت آبشـش بچـه‌ماهی کپـور معمـولی (*Cyprinus carpio*). توسعه آبزی پروری، ۱۰(۴) ،۱۴-۱.

۲. افتـاری، م.، راد، م.، ۱۳۸۸. کـاربرد نـانو فنـاوری در کاهش نیروی پسا و بهینه سازی عملکرد شـناورهای دریایی با استفاده از نانواکسید روی، علوم و فناوری دریا، ۱۳(۵۲) ، ۸-۱.

۳. امیدظهیر، ش.، خدابنده‌لو، ر.، کاردل، ف.، علمی، ف.، ۱۳۹۷. مطالعه آسیب‌شناسـی و تجمـع زیسـتی نانوذرات اکسیدآهن (Fe2O3) در بافت کبد ماهی کپـور معمـولی (*Cyprinus carpio*). پـاتوبیولوژی مقایسه ای، ۱۵(۲)، ۲۴۹۶-۲۴۸۷.

۴. ضـــیایی نـــژاد، س.، دلاوریـــان، ر.، خـــاکی، ف.، جوهری، ع.، ۱۳۹۷. تجمع بافتی کلوئیـد نـانو ذرات نقـره در بافت‌هـای آبشـش و عضـله سـاقه دمـی در ماهی کپور معمـولی (*Cyprinus carpio*). توسـعه آبزی پروری، ۱۲ (۴)، ۹۴-۸۳.

۵. غفاری، م.، خسـروانی زاده، ع.، ۱۳۹۱. اثـر اسـانس گـــل میخـــک (*Eugenia cairyophillata*) بارگذاری شده بر نانوذرات آهن روی شاخص‌های آنزیمی و بافت‌شناسی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمـان (*Oncorhynchus myksis*). پاتوبیولوژی مقایسـه-ای، ۹ (۴)، ۸۳۶-۸۲۷.

۶. جاویـــدپرور، ع.ا.، رمضـــانزاده، ب.، قاســـمی، ا.، ۱۳۹۳. مـروری بـر خـواص ضـد خـوردگی نـانو رنگدانه‌های بر پایه اکسید آهن. مطالعات در دنیـای رنگ، ۴ (۳)، ۶۰-۴۷.

۷. شاهســـونی، د.، مـــوثقی، ا.، ۱۳۸۱. آسیب‌شناســـی سیســـتمیک مـاهی تـألیف فرگوسـن هیـو دبلیـو. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۹۴-۹۳.

8. Al-Weher, S. M., 2008. Levels of heavy metal Cd, Cu and Zn in three fish species collected from the northern Jordan valley, Jordan. Jordan journal of biological sciences, 1(1), 41-46.
9. Aitken, R.J., Chaudhry, M.Q., Boxall, A.B.A., Hull, M., 2006. Manufacture and use of nanomaterials: Current status in the UK and global trends. Occupational Medicine, 56, 300-306.
10. Bancroft, J. D., Gamble, M., 2008. *Theory and practice of histological techniques*. Elsevier Health Sciences.
11. Blaise, C., Gagné, F., Ferard, J.F., Eullaffroy, P., 2008. Ecotoxicity of selected nano-materials to aquatic organisms. Environmental Toxicology, 23(5), 591-598.
12. Chen, P. J., Wu, W. L., Wu, K. C. W., 2013. The zero valent iron nanoparticle causes higher developmental toxicity than its oxidation products in early life stages of medaka fish. Water Research, 47(12), 3899-3909.
13. Comba, S., Di Molfetta, A. and Sethi, R., 2011. A comparison between field applications of nano-, micro-, and millimetric zero-valent iron for the remediation of contaminated

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

aquifers. Water Air and Soil Pollution, 215(4), 595-607.
14. Food and Agricultural Organization (FAO). 1983. Manual of Methods in Aquatic Environmental Research, part 9. Analyses of metals and organochlorines in fish. FAO Fisheries Technical Paper. 212.
15. Gupta, A.K. and Gupta, M., 2005. Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications. Biomaterial, 26 3,995–4021.
16. Hartley, W., Edwards, R. and Lepp, N.W., 2004. Arsenic and heavy metal mobility in iron oxide-amended contaminated soils as evaluated by short- and long-term leaching tests. Environmental Pollution, 161, 495-504.
17. Karthikeyeni, S., Siva Vijayakumar, T., Vasanth, S., Arul Ganesh, M. M. and Subramanian, P., 2013. Biosynthesis of iron oxide nanoparticles and its hematological effects on fresh water fish *Oreochromis mossambicus*. Journal of Academia and Industrial Research,10, 645-649.
18. Karadede, H. and Ünlü, E., 2000. Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. Chemosphere, 41(9), 1371-1376.
19. Kaoud, H. A., El-Dahshan, A. R., 2010. Bioaccumulation and histopathological alterations of the heavy metals in *Oreochromis niloticus* fish. Nature and science, 8(4), 147-156.
20. Li, H., Zhou, Q., Wu, Y., Fu, J., Wang, T. and Jiang, G., 2009. Effects of waterborne nano-iron on medaka (*Oryzias latipes*): antioxidant enzymatic activity, lipid peroxidation and histopathology. Ecotoxicology and Environmental Safety, 72(3), 684-692.
21. Omidzahir, S., Alijantabar Bayi, M., Kardel, F., Mazandarani, M., 2019. Effects of iron oxide nano-particles on the intestinal tissue of Common carp, *Cyprinus carpio*. Iranian Journal of Toxicology, 13(3), 33-38.
22. Pazooki, J., Ghaffar, H. F. and Abtahi, B., 2011. A Comparison of Heavy Metal Concentrations in Skin and Muscle Tissues of Wild and Cultured Carp (*Cyprinus carpio*) in the Southeastern Caspian Sea Area of Iran. Environmental Sciences, 9(1), 51-58.
23. Remya, A. S., Ramesh, M., Saravanan, M., Poopal, R. K., Bharathi, S. and Nataraj, D., 2015. Iron oxide nanoparticles to an Indian major carp, *Labeo rohita*: impacts on hematology, iono regulation and gill Na^+/K^+ ATPase activity. Journal of King Saud University Science, 27(2), 151-160.
24. Usero, J., Izquierdo, C., Morillo, J. and Gracia, I., 2004. Heavy metals in fish (Solea vulgaris, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain. Environment International, 29(7), 949-956.
25. Uysal, K., Emre, Y. and Köse, E., 2008. The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey). Microchemical journal, 90(1), 67-70.
26. Wood, C. M., Farrell, A. P. and Brauner, C. J., 2012. Homeostasis and Toxicology of Essential metals (Vols. 31A). Canada: Academic press.
27. Woo, P. T., Leatherland, J. F. and Bruno, D. W., 2006. Fish diseases and disorders (Vol. 3). CABI.
28. Yilmaz, A.B., 2003. Levels of heavy metals (Fe,Cu,Ni,Cr,Pb and Zn) in tissue of *Mugil cephalus* and *Trachurus mediterraneus* from Iskenderun Bay (Turkey). Journal of Environmental Rescerch, 92, 277-281.
29. Yilmaz, A.B., 2005. Comparison of heavy metal levels of Grey Mullet (*Mugil cephalus* L.) and Sea Bream (*Sparus aurata* L.) Caught in Iskenderun Bay (Turkey). Turkish Journal of Veterinary Animal Science, 29, 257-262.
30. Yu, M., Yang, Y., Zhu, C., Guo, S. and Gan, Y., 2016. Advances in the transepithelial transport of nanoparticles. Drug discovery today, 21(7), 1155-1161.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]

31. Zhang, Y., Zhu, L., Zhou, Y. and Chen, J., 2015. Accumulation and elimination of iron oxide nanomaterials in zebrafish (*Danio rerio*) upon chronic aqueous exposure. Journal of Environmental Sciences, 30, 223-230.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.23223545.1401.16.1.4.6]
[DOI: 10.52547/aqudev.16.1.85]