نشریه توسعه آبزی‌پروری، سال نوزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۴، صفحه های ۱۳۴ -۱۱۶
DOI: 10.71901/jad-2025-3-895

"مقاله پژوهشی"

تاثیر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن و آنتی‌بیوتیک ارمتوکسین بر شاخص‌های استرس و پاسخ اکسیداتیو ماهی تیلاپیا (*Oreochromis* sp.)

محمد بهرامی[۱]، رضا سلیقه زاده [۱*]، محسن پورنیا[۲]، محمدحسین خانجانی[۳]، غلامرضا قائدی[٤]

۱- گروه دامپزشکی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران
۲- گروه میکروبیولوژی، واحد مسجدسلیمان، دانشگاه آزاد اسلامی، مسجدسلیمان، ایران
۳- گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
۴- گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۱۵

چکیده

هدف از این تحقیق، ارزیابی تاثیر جداگانه و هم‌زمان میکروپلاستیک پلی‌اتیلن و آنتی‌بیوتیک ارمتوکسین بر شاخص‌های استرس و پاسخ اکسیداتیو ماهی تیلاپیا بود. ۳۶۰ قطعه ماهی تیلاپیا (*Oreochromis* sp.) با میانگین وزنی ۱۰/۵ ± ۲۴۰/۵ گرم از یک مرکز پرورش ماهیان گرمابی خصوصی در شمال شهرستان کارون خریداری و به سالن آبزیان پژوهشکده آبزی پروری آبهای جنوب کشور واقع در شیبان–اهواز انتقال داده شدند. ماهیان با تراکم ۱۰ قطعه در واحدهای آزمایشی (تانک فایبرگلاس ۳۰۰ لیتری) رهاسازی شدند. ماهیان به مدت ۲۱ روز در معرض دوزهای مختلف میکروپلاستیک پلی‌اتیلن (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم خوراک) و آنتی‌بیوتیک ارمتوکسین (۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن توده زنده) و ترکیب آنها (۱۰۰ میلی‌گرم میکروپلاستیک با ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم ارمتوکسین، ۲۰۰ میلی‌گرم میکروپلاستیک با ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم ارمتوکسین به ازای هر کیلوگرم وزن توده زنده) قرارگرفتند. در پایان دوره، سطوح شاخص‌های استرس و پاسخ آنتی‌اکسیدانی اندازه‌گیری و از طریق آنالیز واریانس دوطرفه بررسی شدند. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های آزمایشی در میزان پروتئین کل، گلوکز و لاکتات خون ماهیان وجود داشت ($p<0.05$). کمترین و بیشترین سطح پروتئین کل سرم به ترتیب در گروه‌های شاهد (۳/۹۹ گرم بر دسی لیتر) و گروه دریافت کننده بالاترین دوزهای آنتی‌بیوتیک (۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن) و میکروپلاستیک در جیره (۲۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم خوراک) (۸/۴۹ گرم بر دسی لیتر) دیده شد ($p<0.05$). مواجهه هم‌زمان با میکروپلاستیک پلی‌اتیلن و آنتی‌بیوتیک ارمتوکسین باعث افزایش قابل‌توجهی در سطح MDA و کاهش فعالیت آنزیم‌های CAT، SOD و GPX در مقایسه با گروه‌های کنترل شد ($p<0.05$). بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل GPx (۴۲/۴۵ میکرومول بر لیتر)، SOD (۱/۳۰۹ واحد بین المللی بر لیتر) و کاتالاز (۲/۳۴ واحد بین المللی بر لیتر) در گروه دریافت کننده بالاترین دوزهای آنتی بیوتیک و میکروپلاستیک در جیره مشاهده گردید. به طورکلی نتایج نشان داد که مصرف هم‌زمان میکروپلاستیک و آنتی‌بیوتیک در ماهی تیلاپیا، منجر به افزایش معنی‌دار در شاخص‌های استرس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد. به‌منظور کاهش این خطرات، پیشنهاد می‌شود راهکارهای عملی نظیر کاهش مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها در صنعت آبزی‌پروری، مدیریت صحیح زباله‌های پلاستیکی، و تقویت قوانین مرتبط با کنترل آلودگی‌های میکروپلاستیکی مورد توجه قرارگیرد.

کلمات کلیدی: آلودگی میکروپلاستیک، آنتی بیوتیک، استرس اکسیداتیو، تیلاپیا، میکروپلاستیک

* عهده‌دار مکاتبات: rezasalighehzadeh@yahoo.com

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

مقدمه

پلاستیک‌ها جز اصلی زباله‌ها هستند و حدود ۹۵ درصد از زباله‌های تجمع یافته در سواحل، سطح و بستر دریا را به خود اختصاص داده‌اند (Banaee *et al*., 2023). میکروپلاستیک یک آلاینده نوظهور است که به عنوان ذرات پلاستیکی مصنوعی با قطر کمتر از ۵ میلی‌متر و بزرگتر از ۱ میکرومتر تعریف می‌شود (Khanjani *et al*., 2023). میکروپلاستیک‌ها دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاصی از جمله اندازه کوچک، تراکم زیاد و دارای رنگ هستند که این ویژگی‌ها باعث می‌شود آلاینده‌های دیگر را جذب نمایند و هم باعث افزایش دسترسی موجودات زنده به این نوع از آلاینده‌ها می‌شود (Khanjani and Mohammadi, 2025). به عنوان مثال مصرف میکروپلاستیک‌ها توسط آبزیانی نظیر روغن ماهی *Gadus morhua* (Haave *et al*., 2021)، کپور کفزی *Gobio gobio* (Sanchez *et al*., 2014)، صدف سیاه گورخری *Dreissena polymorpha* (Pastorino *et al*., 2021)، میگوی قرمز غول پیکر *Aristaeomorpha foliacea* (Leila *et al*., 2023)، میگوی قرمز آرژانتینی *Pleoticus muelleri* (Colombo *et al*., 2023)، میگوی هندی *Penaus indicus* (Lawan *et al*., 2024) گزارش شده‌است. آنتی‌بیوتیک‌ها برای درمان بیماری‌ها و بهبود تولید در آبزی پروری استفاده می‌شوند، در حالی که بسیاری از آنتی‌بیوتیک ها پس از مصرف نمی‌توانند به طور کامل متابولیزه شوند و در نهایت وارد محیط طبیعی می‌شوند (Zhang *et al*., 2022). آنتی‌بیوتیک‌ها به دلیل ورودی مداوم و شبه پایدار به عنوان آلاینده‌های نوظهور در نظر گرفته می‌شوند (Ni, 2022). ارمتوکسین با بهره بردن از اثر هم‌یاری دو آنتی بیوتیک در ساختار خود ترکیبی فوق العاده قوی برای درمان عفونت‌های ناشی از فعالیت بیش از یک باکتری که با توجه به محیط زیست آبزیان بسیار مرسوم است به شمار می‌رود. سولفامتوکسازول و به طورکلی سولفونامیدها ترکیبات سنتتیکی هستند که به عنوان ترکیبات ضد میکروب مورد شناسایی قرارگرفته‌اند. سولفونامیدها به دلیل شباهت ساختمانی با پارا آمینوبنزوئیک اسید، با این ماده در سنتز اسیدفولیک به رقابت پرداخته و تمایل بالاتری برای اتصال به گیرنده از خود نشان می‌دهند (Ovung and Bhattacharyya, 2021). میکروپلاستیک‌های غیر قطبی تمایل زیادی به ترکیبات آلی آبگریز از خود نشان می‌دهند که منجر به تجمع آلاینده‌های آلی در سطوح پلاستیکی می‌شود که می‌تواند چندین مرتبه بیشتر از بدنه‌های آبی اطراف باشد (Atugoda *et al*., 2020). ظرفیت جذب میکروپلاستیک‌ها برای آنتی‌بیوتیک‌ها تحت تأثیر ویژگی‌های آنتی‌بیوتیک، خواص میکروپلاستیک‌ها و اثرات ماتریکس (مانند pH و شوری) است (Zhang *et al*., 2024). برای محافظت در برابر رادیکال‌های آزاد، موجودات هوازی یک سیستم آنتی‌اکسیدانی سلول بیوشیمیایی ایجاد می‌کند. این سیستم شامل آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی، غیرآنزیمی و مسیرهایی است که برای جلوگیری از آسیب سلول طراحی شده‌اند. اجزای آنزیمی عبارتند از: سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، گلوتاتیون پراکسیداز (GPx)، گلوتاتیون اس-ترانسفراز (GST)، گلوتاتیون ردوکتاز (GR) و از اجزای غیرآنزیمی گلوتاتیون را نام برد (Mohamadi Dehcheshmeh *et al*., 2024).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

با توجه به نوظهور بودن آلاینده‌های میکروپلاستیکی در محیط زیست، پایداری بالای آن‌ها در محیط‌های خاکی و آبی و قرارگرفتن طولانی مدت آبزیان در معرض این نوع از آلاینده‌ها و همچنین کمبود اطلاعات در مورد آنها و اهمیت میکروپلاستیک‌ها از بعد سلامت انسان‌ها، حیوانات و محیط زیست، بررسی چگونگی تاثیر میکروپلاستیک‌ها بر موجودات آبزی از جمله ماهیان باعث نگرانی بسیاری از محققان و مصرف کنندگان محصولات آبزی است. مصرف میکروپلاستیک‌ها و سایر آلاینده‌ها توسط ماهیان بر سلامت‌شان از قبیل میزان مصرف مواد غذایی، وزن، رشد و به طورکلی بر جمعیت و زندگی آنها اثرات نامطلوبی داشته و این اثرات نامطلوب نیز در اثر مصرف ماهی به انسان منتقل می‌گردد. Banaee و Mohammadzadeh در سال ۲۰۲۲ تأثیر میکروپلاستیک‌ها با رنگ‌های مختلف بر برخی از شاخص‌های استرس اکسیداتیو در ماهی گامبوزیا (*Gambusia holbrooki*) را مورد مطالعه قرار دادند، فعالیت SOD در کبد ماهیان در معرض میکروپلاستیک‌های سیاه، زرد و قرمز به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه کنترل است. Hanachi و همکاران در سال ۲۰۲۰ تاثیر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن ترفتالات وآفت کش آبامکتین بر فعالیت آنزیم GPx و پراکسیداسیون لیپیدها در گورخر ماهی (*Danio rerio*) را مورد مطالعه قرار دادند. در مطالعه آنها مشخص شد که در حضور آفت‌کش آبامکتین تولید مالون دی آلدهید (MDA) نسبت به کنترل کاهش یافته است. همچنین حضور غلظت کم میکروپلاستیک به همراه آبامکتین باعث افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و میزان MDA و آسیب بافتی نسبت به حضور آفت کش آبامکتین به تنهایی گردید.

ماهی تیلاپیا یکی از مهمترین ماهیان پرورشی در سراسر جهان و منبع غذایی مهمی برای انسان است (Khanjani *et al*., 2022). تیلاپیا (*Oreochromis* sp) به دلیل اینکه گونه مهم آبزی پروری و سومین گونه ماهی پرورشی در سطح جهانی است (FAO, 2022) و همچنین تیلاپیای نوجوان نسبت به قرارگرفتن در معرض آلودگی‌ها نظیر میکروپلاستیک‌ها حساس است (Hamed *et al*., 2021)، به عنوان گونه مورد مطالعه انتخاب گردید. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، تغییرات در شاخص‌های استرس و بیومارکرهای آنتی‌اکسیدانی کبدی در ماهی تیلاپیا به عنوان یک گونه‌ی بازارپسند در معرض میکروپلاستیک پلی اتیلن و آنتی‌بیوتیک ارمتوکسین در این مطالعه مورد ارزیابی قرارگرفت.

مواد و روش‌ها

ذخیره سازی ماهیان

جهت انجام این آزمایش ۳۶۰ قطعه ماهی تیلاپیا (*Oreochromis* sp.) با میانگین وزنی ۱۰/۵ ± ۲۴۰/۵ گرم از یک مرکز پرورش ماهیان گرمابی خصوصی در شمال شهرستان کارون خریداری و به سالن آبزیان پژوهشکده آبزی پروری آبهای جنوب کشور واقع در شیبان–اهواز انتقال داده شدند. ماهیان با تراکم ۱۰ قطعه در واحدهای آزمایشی (مخزن فایبرگلاس ۳۰۰ لیتری) رهاسازی شدند. در طول این مدت سلامت ماهیان از طریق مشاهدات ظاهری مورد ارزیابی قرارگرفت.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

شرایط اجرای آزمایش

پارامترهای کیفی آب شامل (دما، اکسیژن محلول، pH) در تمامی مخازن تا پایان مطالعه به‌طور کامل با کمک دستگاه (HQ30D Multi Meter HACH) کنترل شدند و هوادهی از طریق سنگ هوا متصل به پمپ هواده مرکزی صورت می‌گرفت. برای جلوگیری از بروز آلودگی و کاهش کیفیت آب، هر روز صبح مخازن به‌طور کامل نظافت می‌شدند. علاوه بر این، برای خروج فضولات، روزانه آب آکواریوم‌ها سیفون می‌شد. دمای آب در طول مدت مطالعه ۲۷ درجه سانتی‌گراد، pH آب معادل ۷ و اکسیژن محلول در حد اشباع بود. در طول مطالعه، نظارت بر فاکتورهای ذکر شده به‌طور روزانه انجام می‌گرفت.

طرح آزمایشی

در این مطالعه از غذای تجاری ماهیان گرمابی شرکت پیشرو دانه دز (دزفول، ایران) بعنوان جیره پایه استفاده شد، و سطوح مختلف میکروپلاستیک پلی اتیلنی و داروی خوراکی ارمتوکسین (Ormothoxine®) ((Sulfadimethoxine 25% + Ormetoprim 5% (رویان دارو، سمنان) به آن اضافه شد. این آزمایش در قالب طرح کامل تصادفی، با ۹ تیمار (۸ تیمار آزمایشی و یک تیمار شاهد) و با ۳ تکرار در هر تیمار در نظر گرفته شد (جدول ۱). پس از زیست سنجی و تعیین زی توده، ماهیان جوان هر تیمار به مدت ۲۱ روز با جیره‌های غذایی بصورت دستی و بر اساس حداکثر ۲ درصد وزن توده زنده، ۲ نوبت در روز تغذیه شدند. میکروپلاستیک‌ها از یک نوع شامپو بدن واجد اسکراب صورت و بدن (گروه تولیدی گلرنگ، تهران) جدا شد.

جدول ۱: مشخصات تیمارهای مورد استفاده در مطالعه

Table 1: Characteristics of treatments used in the study

Treatment abbreviation	Microplastic dose	Antibiotic dose	Treatments
Ctrl	0	0	Control group
OrmT15/MP0	0	15 mg / kg of live weight	Group 1
OrmT30/MP0	0	30 mg / kg of live weight	Group 2
OrmT0/MP100	100 mg/ kg of feed	0	Group 3
OrmT0/MP200	200 mg/ kg of feed	0	Group 4
OrmT15/MP100	100 mg/ kg of feed	15 mg / kg of live weight	Group5
OrmT15/MP200	200 mg/ kg of feed	15 mg / kg of live weight	Group 6
OrmT30/MP100	100 mg/ kg of feed	30 mg / kg of live weight	Group 7
OrmT30/MP200	200 mg/ kg of feed	30 mg / kg of live weight	Group 8

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

نمونه برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از اتمام دوره آزمایش، نمونه‌گیری تصادفی از هر مخزن انجام شد و نمونه‌های خون و کبد تهیه گردید. برای این‌منظور، ماهیان با استفاده از بیهوش‌کننده MS-222 با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیهوش شدند. خونگیری از ساقه دمی ماهیان با سرنگ‌های ۲ میلی‌لیتری بدون ماده ضد انعقاد صورت گرفت. به‌طوری‌که ماهیان یک شبانه‌روز قبل از نمونه‌گیری گرسنه نگه داشته شده بودند (Asadi *et al*., 2021). برای تهیه سرم، نمونه‌های خونی بدون ماده ضد انعقاد به مدت ۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس سانتریفیوژ شدند (۱۱۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه، ۴ درجه سانتی‌گراد). سرم جدا شده در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش‌های بیوشیمیایی نگهداری شد. برای سنجش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در بافت کبد، ابتدا ۱۰ عدد قرص بافر فسفات سالین در ۱ لیتر آب مقطر حل شد و pHآن روی ۷/۲ تنظیم گردید. سپس نیم گرم از بافت کبد جدا و با ۴/۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات سالین (به نسبت ۱ به ۹) در مجاورت یخ با استفاده از دستگاه هموژنایزر مدل T18 basic شرکتIKA (ساخت آلمان) همگن شد. عصاره بافتی به‌دست‌آمده با دستگاه سانتریفیوژ یخچال‌دار در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. عصاره رویی (سوپرناتانت) استخراج و در میکروتیوب‌های ۱/۵ میلی‌لیتری تقسیم و تا زمان آنالیز در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سوپرناتانت جداشده نیز در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد برای استفاده در مراحل بعدی فریز گردید. این عصاره به‌عنوان منبع بیومارکرهای استرس اکسیداتیو مورد استفاده قرار گرفت (Asadi *et al*., 2021).

سنجش فاکتورهای بیوشمیایی سرم

برای تعیین غلظت پروتئین تام سرم از روش (Lowry *et al*., 1951) استفاده شد. میزان گلوکز با استفاده از کیت شرکت پارس آزمون (کرج، ایران) بر اساس شیوه نامه شرکت سازنده و به روش فتومتریک اندازه‌گیری شد. سطوح کورتیزول با توجه به شیوه نامه های توصیه شده سازنده کیت Enzyme -Linked Immune Sorbent Assays; Nanjing, China اندازه‌گیری شد. تغییرات رنگ به روش اسپکتروفتومتری با دستگاه الایزاریدر (۴۵۰ نانومتر) شناسایی شد. سطوح کورتیزول سرم با استفاده از کیت آزمایشگاهی به روش ELISA (IBL- Co., Gesellschaft für Immunchemie und Immunbiologie) (Adineh *et al*., 2020) سنجش شد. اندازه یری لاکتات خون با استفاده از کیت‌های مخصوص آنزیمی ساخت شرکت پارس آزمون و دستگاه بیوشیمی آنالایزر Elan شرکت اپندرف آلمان انجام شد (Rifai *et al*., 1991).

سنجش شاخص‌های استرس اکسیداتیو

برای ارزیابی وضعیت آنتی‌اکسیدانی، فعالیت گلوتاتیون پروکسیداز (GPx)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) و غلظت مالون دی‌آلدئید (MDA) در محلول همگن بافت کبد اندازه‌گیری شد. فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (SOD) براساس توانایی

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

آن در جلوگیری از اکسیداسیون خودبخودی پیروگالول توسط رادیکال سوپراکسید تعیین شد. در این روش، ۳۰ میکرولیتر مایع رویی جدا و به همراه ۳ میلی‌لیتر بافر تریس-هیدروکلراید 50 (Tris-HCl) میلی‌مولار با pH برابر ۸/۲ در لوله آزمایش ریخته شد. سپس محلول پیروگالول (pH=4.7) به این مخلوط اضافه شد. اکسیداسیون خودبخودی پیروگالول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت شد. هر واحد فعالیت آنزیم SOD به‌صورت مقدار آنزیم مورد نیاز برای ممانعت از اکسیداسیون پیروگالول تا ۵۰ درصد در یک دقیقه تعریف شد (Marklund and Marklund, 1974). اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز براساس روش (1991) Goth صورت گرفت. در این روش، ۴۰ میکرولیتر از مایع رویی جدا شده با ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات مخلوط و به مدت ۶۰ ثانیه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد. سپس جذب نوری محلول در طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت گردید. هر ۰/۰۵ کاهش در جذب نوری محلول به‌عنوان یک واحد فعالیت آنزیم کاتالاز بیان شد. اندازه‌گیری MDA برای تعیین محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدها از روش Satho (1978) استفاده شد. به ۵۰۰ میکرولیتر از بافت هموژنه، تری‌کلرو استیک اسید (TCA) ده درصد اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. به ۱/۵ میلی‌لیتر از مایع رویی، ۲ میلی‌لیتر تیوباربیتوریک اسید ۰/۶۷ درصد اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری قرارگرفت. سپس ۲ میلی‌لیتر-n بوتیل به محلول اضافه و بعد از ورتکس به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. جذب محلول رویی صورتی‌رنگ در طول موج ۵۳۲ نانومتر قرائت شد. غلظت MDA با استفاده از ۱،۱،۳،۳-تترا اتوکسی پروپان به‌عنوان استاندارد تعیین گردید.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم GPx از روش (1967) Paglia and Valentine استفاده شد. در این روش، ۵۰ میکرولیتر مایع رویی جدا شده به همراه NADPH میلی‌مولاری، گلوتاتیون احیا شده ۱۵۰ میلی‌مولاری، گلوتاتیون ردوکتاز(30 U/ml)، سدیم آزید ۰/۰۱۲ مولاری، بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولاری و EDTA 5میلی‌مولاری (pH =7) داخل لوله آزمایش ریخته شد و در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه انکوبه شدند. در مرحله بعد، ۱۰۰ میکرولیتر از محلول H_2O_2 ۲ میلی‌مولاری به این محلول اضافه شد. سپس جذب نوری در بازه زمانی ۵ دقیقه و در طول موج ۳۴۰ نانومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم به‌صورت کاهش جذب نوری محلول در بازه زمانی دومین و چهارمین دقیقه تعریف شد.

روش تحلیل داده‌ها

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد ارزیابی قرارگرفت. سپس، تأثیر دو متغیر مستقل آنتی‌بیوتیک ارمتوکسین و میکروپلاستیک پلی‌اتیلن بر روی شاخص‌های استرس و نشانگرهای زیستی اکسیداتیو از طریق آنالیز واریانس دوطرفه بررسی شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و GraphPad Prism انجام شد.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

نتایج

شاخص‌های بیوشیمیایی سرم

نتایج آزمون تحلیل واریانس به منظور بررسی پارامترهای استرس تحت تاثیر تیمارهای مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. طبق نتایج مندرج در جدول ۲، با توجه به اینکه سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ است. بنابراین تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های آزمایشی در میزان پارامترهای پروتئین کل، گلوکز و لاکتات خون ماهیان وجود داشته است. نتایج کلی سطح پروتئین کل، گلوکز، لاکتات و کورتیزل در شکل ۱ ارائه شده است. بر طبقق نتایج بدست آمده، کمترین و بیشترین سطح پروتئین کل سرم به ترتیب در گروه‌های شاهد (۳/۹۹ گرم بر دسی لیتر) و گروه دریافت کننده بالاترین دوزهای آنتی بیوتیک (۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن) و میکروپلاستیک در جیره (۲۰۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم خوراک) (۸/۴۹ گرم بر دسی‌لیتر) دیده شد. روند مشابهی در دیگر شاخص‌ها شامل گلوکز (۱۵۴/۶ در مقابل ۴۱۸/۴ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)، کورتیزول (۰/۲۶۲ در مقابل ۰/۴۰۶ میکروگرم بر دسی‌لیتر) و لاکتات (۰/۱۵۶ در مقابل ۰/۵۴۲ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر سرم) وجود داشت (گروه کنترل در مقابل گروه OrmT30/MP200). طبق این یافته ها، تمامی گروه ها از نظر سطوح پروتئین کل، گلوکز و لاکتات سرم واجد تفاوت معنی‌دار بودند ($p<۰/۰۵$). این در حالی است که ماهیان آزمایشی از نظر سطح کورتیزول سرم تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($p>۰/۰۵$). همانطور که در شکل دیده می‌شود، مصرف توام میکروپلاستیک و آنتی‌بیوتیک بر روی سطوح گلوکز و لاکتات اثر هم‌افزایی داشته است. به طوری که علی رغم عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین گروه‌های دریافت کننده دوزهای میکروپلاستیک و آنتی‌بیوتیک به طور جداگانه با گروه شاهد ($p>۰/۰۵$)، گروه‌هایی که هر دوی این مواد شیمیایی به طور همزمان به جیره آنها افزوده شد، در این دو شاخص استرسی یک تغییر چشمگیر آماری ایجاد کردند ($p<۰/۰۵$).

شاخص‌های آنتی اکسیدانی

نتایج آزمون تحلیل واریانس شاخص‌های آنتی‌اکسیدانتی تحت تاثیر تیمارهای مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. طبق نتایج، با توجه به اینکه سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ است، فرض برابری میانگین تمامی شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای مختلف رد می‌شود. بنابراین تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های آزمایشی در میزان این پارامترها وجود داشته است. نتایج کلی شاخص‌های آنتی‌اکسیدانتی شامل GPx، SOD، CAT، MDA در شکل ۲ ارائه شده است. براساس نتایج، بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل GPx (۴۲/۴۵ میکرومول بر لیتر)، SOD (۱/۳۰۹ واحد بین المللی بر لیتر) و کاتالاز (۲/۳۴ واحد بین المللی بر لیتر) در گروه دریافت کننده بالاترین دوزهای آنتی‌بیوتیک (OrmT30) و میکروپلاستیک در جیره (MP200) مشاهده گردید. این در حالی است که بیشینه غلظت محصول پراکسیداسیون چربی در سرم (MDA) در گروه کنترل برابر ۵/۴۷ میکرومول بر لیتر دیده شد. از نظر فعالیت شاخص‌های آنزیمی GPx و SOD، تنها اثر توامان دوزهای آنتی‌بیوتیک و میکروپلاستیک معنی‌دار بوده است ($p<۰/۰۵$). در حالی که از نظر فعالیت کاتالازی و شاخص پراکسیداسیون، اثرات جداگانه آنتی‌بیوتیک (دوز ۳۰ mg/kg BW) و

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

میکروپلاستیک (۲۰۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن خوراک) و اثرات توامان این دو ماده شیمیایی افزودنی معنی‌دار بودند ($p<۰/۰۵$).

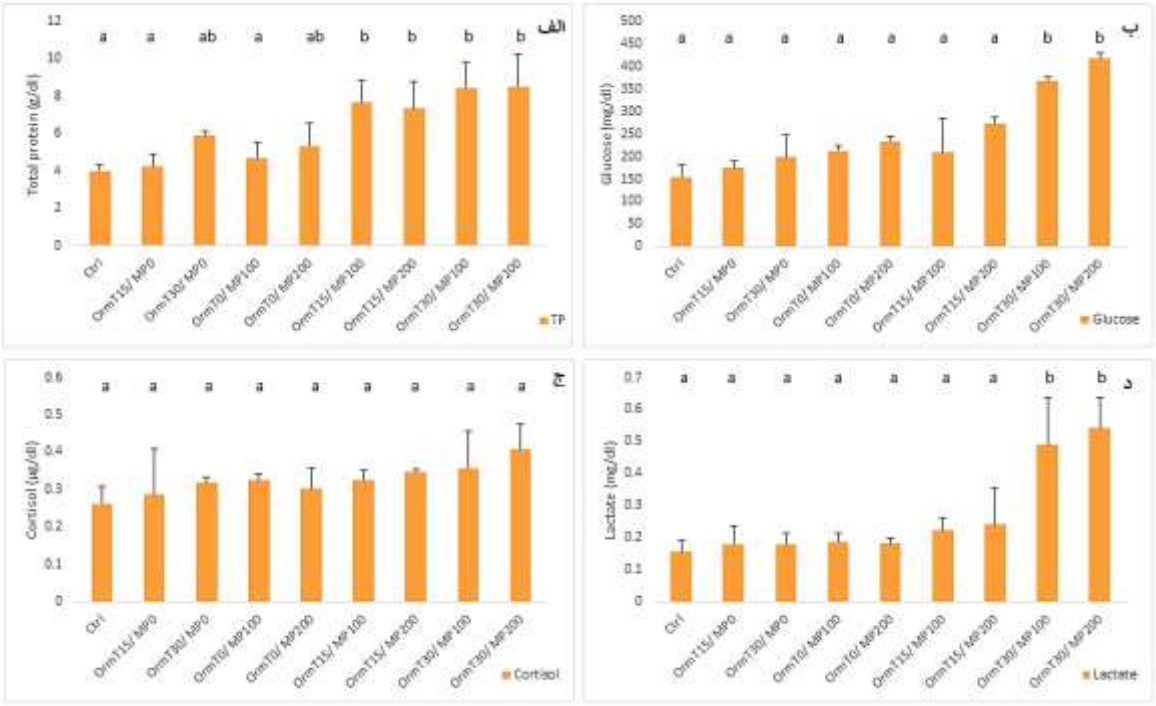
جدول ۲: نتایج آزمون تحلیل واریانس شاخص های استرس تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 2: Results of analysis of variance test to investigate estres indices under the influence of different treatments

TP					
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F statistic	Significant level
Intergroup	0.142	9	0.047	92.198	0.000
Intragroup	0.004	8	0.001		
Total	0.146	17			
Glucose					
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F statistic	Significant level
Intergroup	8.380	9	2.793	65.729	0.000
Intragroup	0.340	8	0.042		
Total	8.720	17			
Cortisol					
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F statistic	Significant level
Intergroup	5.219	3	1.740	0.946	0.463
Intragroup	14.709	8	1.839		
Total	19.928	11			
Lactate					
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F statistic	Significant level
Intergroup	0.068	9	0.023	34.885	0.000
Intragroup	0.005	8	0.001		
Total	0.073	17			

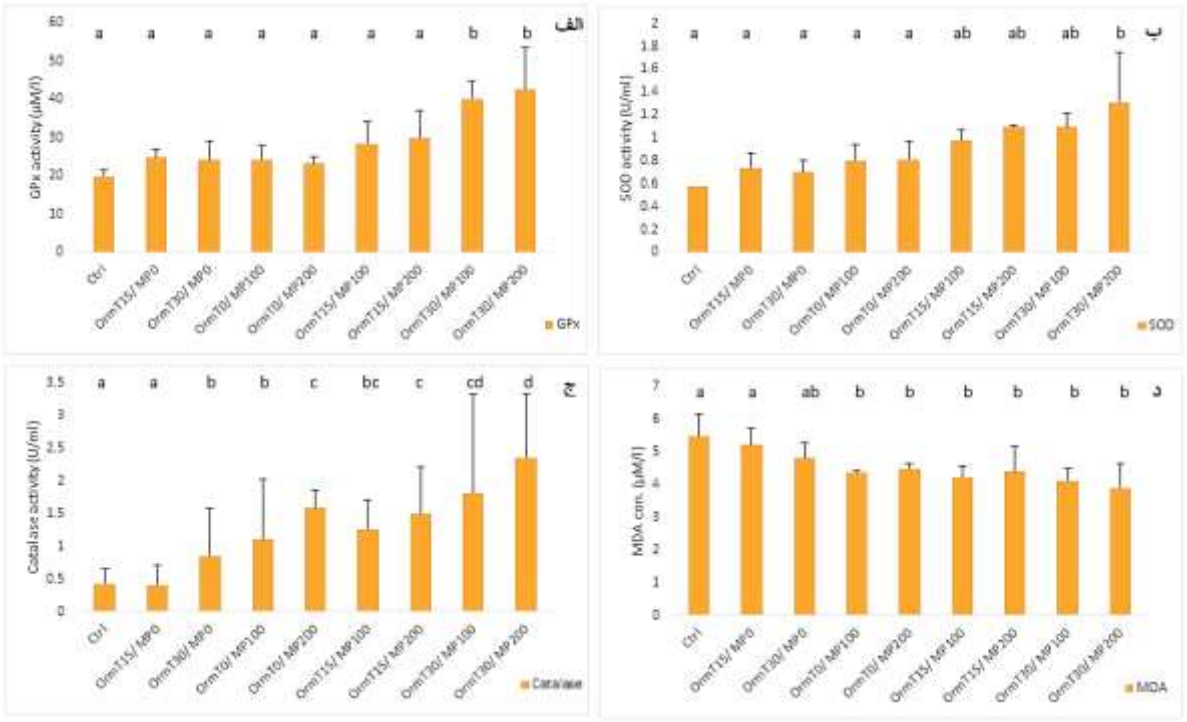
[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]



شکل ۱: شاخص‌های استرس سرم تحت تاثیر تیمارهای مختلف (الف: پروتئین کل؛ ب: گلوکز؛ ج: کورتیزول؛ د: لاکتات)

Figure 1: Serum estres indices affected by different treatments (A: total protein; B: glucose; C: cortisol; D: lactate)



شکل ۲: شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی سرم تحت تاثیر تیمارهای مختلف (الف: فعالیت GPx؛ ب: فعالیت SOD؛ ج: فعالیت کاتالاز؛ د: غلظت MDA)

Figure 2: Serum antioxidant indices affected by different treatments (A: GPx activity; B: SOD activity; C: Catalase activity; D: MDA concentration)

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

جدول ۳: نتایج آزمون تحلیل واریانس شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 3: Results of analysis of variance test to investigate antioxidant indices under the influence of different treatments

GPx					
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F statistic	Significant level
Intergroup	13.296	3	4.432	2.715	0.035
Intragroup	13.057	8	1.632		
Total	26.352	11			
SOD					
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F statistic	Significant level
Intergroup	85.403	3	28.468	3.880	0.046
Intragroup	58.700	8	7.338		
Total	144.103	11			
Catalase					
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F statistic	Significant level
Intergroup	30169.482	9	10056.494	65.729	0.000
Intragroup	1223.995	8	152.999		
Total	31393.477	17			
MDA					
Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F statistic	Significant level
Intergroup	7.255	3	2.418	8.852	0.006
Intragroup	2.186	8	0.273		
Total	9.441	11			

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

بحث

براساس نتایج حاصل از این مطالعه، کمترین سطح پروتئین کل سرم در گروه شاهد و بیشترین میزان آن در گروه دریافت‌کننده بالاترین دوزهای آنتی‌بیوتیک ارمتوکسین (۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن) و میکروپلاستیک (۲۰۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم خوراک) مشاهده شد. این روند مشابه در شاخص‌های بیوشیمیایی دیگر مانند گلوکز، کورتیزول و لاکتات نیز مشاهده شد. همچنین، تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های آزمایشی از نظر پارامترهای پروتئین کل، گلوکز و لاکتات خون ماهیان وجود داشت، اما در مورد کورتیزول تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. این یافته‌ها نشان داد که مصرف توأم میکروپلاستیک و آنتی‌بیوتیک اثر هم‌افزایی بر شاخص‌های استرس بیوشیمیایی مانند گلوکز و لاکتات دارد، به‌طوری که گروه‌هایی که هر دوی این مواد شیمیایی را دریافت کرده‌اند، در مقایسه با گروه‌های شاهد تغییرات آماری چشمگیری در این شاخص‌ها نشان دادند.

میکروپلاستیک‌ها زمانی که با آلاینده‌های دیگر ترکیب می‌شوند اثر هم افزایی بر سلامت موجودات زنده دارند، تعامل میکروپلاستیک‌ها با آلاینده‌های شیمیایی یافته‌های متناقضی را نشان داده است. به عنوان مثال در مطالعه Karbalaei و همکاران (۲۰۲۱)، گزارش شده که حضور میکروپلاستیک سمیت کلروپیریفوس را برای ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) افزایش می‌دهد. در مطالعه Guven و همکاران (۲۰۱۸) حضور میکروپلاستیک اثر سمیت حاد پیرن بر عملکرد شکارگری ماهی سی باس آسیایی (*Lates calcarifer*) را افزایش نمی‌دهد.

میکروپلاستیک‌ها از طریق تشکیل رادیکال‌های آزاد آسیب زننده به ماکرومولکول‌های سلولی و تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در حیوانات سمیت ایجاد می‌کنند (Kim *et al*., 2021). اطلاعات اندکی در مورد تاثیر میکروپلاستیک‌ها بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی ماهی وجود دارد. برخی از مطالعات افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز را در ماهی گورخری (*D. rerio*) (Qiao *et al*., 2019) و تیلاپیای موزامبیک (*Oreochromis mossambicus*) (Jeyavani *et al*., 2023) در معرض میکروپلاستیک نشان دادند. در حالی که در مطالعه Xiao و همکاران (۲۰۲۳) کاهش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز را در ماهی آب شیرین *Nothobranchius guentheri* در معرض میکروپلاستیک گزارش کردند. در زمینه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، بیشترین میزان فعالیت در گروه دریافت‌کننده بالاترین دوزهای آنتی‌بیوتیک و میکروپلاستیک مشاهده شد، در حالی که بیشینه غلظت محصول پراکسیداسیون لیپیدی در گروه کنترل دیده شد. در مطالعه Banaee و Mohammadzadeh در سال ۲۰۲۲ تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر برخی از شاخص‌های استرس اکسیداتیو در ماهی گامبوزیا (*G. holbrooki*) نشان دادند که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز ماهیان در معرض میکروپلاستیک‌های رنگی قرار گرفته، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این یافته‌ها با نتایج ما در زمینه افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گروه‌هایی در معرض هم زمان قرقر گزفاتن میکروپلاستیک و آنتی‌بیوتیک‌ها مطابقت دارد. افزایش فعالیت SOD در واقع یک واکنش فیزیولوژیکی به افزایش سوپراکسیدآنیون‌ها در

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

سلولهای کبدی ماهیان در معرض میکروپلاستیک‌ها است. افزایش معنی دار در فعالیت SOD در اسکالوپ خلیجی (*Argopecten irradians*) (Song *et al*., 2020)، تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) (Ding *et al*., 2018)، ماهی گورخری (*D. rerio*) (Lu *et al*., 2016)، ماهی دیسکاس (*Symphysodon aequifasciatus*) (Wen *et al*., 2018) و لارو سفید ماهی (*Coregonus peled*) (Frank *et al*., 2023) در معرض میکروپلاستیک‌ها گزارش شده است. کاتالاز یکی از آنزیم‌های شناخته شده در پراکسیزوم سلولی است که پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تجزیه می‌کند (Félix *et al*., 2022). افزایش معنی‌دار در فعالیت آنزیم کاتالاز نشان از بالا بودن نرخ تولید پراکسیدهیدروژن در سلول‌های کبدی ماهیان در معرض میکروپلاستیک‌ها است. علاوه بر این، افزایش نرخ پراکسید هیدروژن ممکن است با افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و تسریع روند دیسموته شدن سوپراکسید آنیون‌ها مرتبط است. افزایش معنی‌دار در فعالیت کاتالاز در صدف دوکفه‌ای آب شیرین (*Corbicula javanicus*) (Esterhuizen *et al*., 2022)، ماهی گورخری (*D. rerio*) (Félix *et al*., 2022)، ماهی دیسکاس (*Symphysodon aequifasciatus*) (Wen *et al*., 2018)، صدف سیاه مدیترانه ای (*Mytilus galloprovincialis*) (Capó *et al*., 2021)، ماهی گامبوزیا (*G. holbrooki*) (Banaee and Mohammadzadeh., 2022) تحت تاثیر میکروپلاستیک گزارش شده است. در برخی از مطالعات کاهش فعالیت کاتالاز در گونه‌های مختلف ماهی در پاسخ به میکروپلاستیک گزارش شده است (Umamaheswari *et al*., 2021). در مطالعه حاضر افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانتی گلوتاتیون پراکسیداز تحت تاثیر میکروپلاستیک افزایش نشان داد. این آنزیم، متعلق به خانواده بزرگ پراکسیدازها است که نقش زیستی مهمی در حفاظت از موجودات زنده در برابر آسیب‌های اکسیداتیو بازی می‌کند (Capó *et al*., 2021). این آنزیم از طریق احیاء هیدروپراکسیدهای لیپیدی به مشتقات الکلی و همچنین احیای پراکسیدهیدروژن به آب و مولکول اکسیژن، در حضور گلوتاتیون احیاشده می‌تواند سطح ترکیبات واکنشگر فعال اکسیژن را کاهش دهد (Banaee and Mohammadzadeh., 2022).

افزایش فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز صدف سیاه مدیترانه‌ای (*M. galloprovincialis*) (Capó *et al*., 2021)، تیلاپیای نیل (*O. niloticus*) (Dong *et al*., 2022)، ماهی گامبوزیا (*G. holbrooki*) (Banaee and Mohammadzadeh., 2022) و تیلاپیای موزامبیک (*O. mossambicus*) (Jeyavani *et al*., 2023) تحت تاثیر میکروپلاستیک گزارش شده است. با این حال، نتایج متناقضی برای فعالیت خاص GPx در برخی ماهیان گزارش شده است، در مطالعه Xia و همکاران (۲۰۲۰) کاهش فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز در ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) (Xia et al., 2020) و ماهی گورخری (*D. rerio*) (Umamaheswari *et al*., 2021) تحت تاثیر میکروپلاستیک گزارش شده است. مالون دی آلدهید (MDA) یک محصول تولیدی در مسیر پراکسیداسیون لیپیدها و جزیی از چرخه استرس اکسیداتیو است.

در مطالعه حاضر در گروه کنترل میزان MDA بالا بود و در تیمارهای ترکیبی بویژه بالاترین غلظت میکروپلاستیک و ارمتوکسین به کمترین مقدار رسید.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

در مطالعه Zhang و همکاران (۲۰۱۹)، تاثیر میکروپلاستیک پلی استایرین به همراه نوعی آلاینده به نام روکسیترومایسین در ماهی تیلاپیای نیل در مدت ۱۴ روز تیمار نشان داد که میزان MDA در حضور فلورانتین به تنهایی افزایش می‌یابد اما در مرحله بعد در دوره ۷ روزه پاکسازی غلظت MDA در ماهیان تحت تیمار میکروپلاستیک به صورت ترکیبی با روکسیترومایسین را مشاهده کردند. در مطالعه Lin و همکاران (۲۰۱۴)، تاثیر سم سولفونامید بعد از ۷۲ ساعت روی ماهی گورخری بررسی شد و MDA به عنوان یک نشانگر زیستی حساس به زمان مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که میزان MDA بعد از ۲۴ ساعت به میزان حداکثر رسیده و سپس با گذشت زمان به حد کنترل کاهش یافت. در این ارتباط، معنی‌دار نبودن میزان فعالیت MDA در تیمارهای ترکیبی میکروپلاستیک و ارمتوکسین در مطالعه حاضر ممکن است به دلیل طول دوره آزمایش، نوع ماهی و نوع آلاینده باشد.

نتیجه گیری نهایی

به طورکلی نتایج حاضر نشان داد که مصرف هم‌زمان میکروپلاستیک و آنتی‌بیوتیک در ماهی تیلاپیا، منجر به افزایش معنی‌دار در شاخص‌های بیوشیمیایی استرس (مانند گلوکز و لاکتات) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (SOD, CAT, GP_X) شد. این اثرات هم‌افزایی نشان‌دهنده افزایش سطح استرس اکسیداتیو و احتمال آسیب بافتی در ماهیان است که می‌تواند به تغییرات قابل‌توجهی در سلامت عمومی و کارایی سیستم ایمنی آن‌ها منجر شود. به‌منظور کاهش این خطرات، پیشنهاد می‌شود راهکارهای عملی نظیر کاهش مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها در صنعت آبزی‌پروری، مدیریت صحیح زباله‌های پلاستیکی، و تقویت قوانین مرتبط با کنترل آلودگی‌های میکروپلاستیکی به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرد. این اقدامات می‌توانند به حفظ سلامت اکوسیستم‌های آبی و کاهش اثرات زیان‌بار این آلاینده‌ها کمک کنند. در نهایت، بررسی اثرات توأمان میکروپلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها باید به‌عنوان یک اولویت تحقیقاتی در مطالعات آتی مورد توجه قرار گیرد. همچنین، مدیریت آلودگی‌های زیست‌محیطی و تنظیم قوانین مرتبط با مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها و استفاده از پلاستیک‌ها در محیط‌های آبی باید با در نظر گرفتن اثرات هم‌افزایی این مواد انجام شود تا از خطرات آن‌ها بر سلامت موجودات آبزی و به دنبال آن، بر زنجیره غذایی و سلامت انسانی جلوگیری شود.

سپاسگزاری

در اینجا برخود لازم می‌دانیم از حمایت های دوستان گرامی تشکر نماییم.

منابع

1. Adineh, H., Naderi, M., Yousefi, M., Khademi Hamidi, M., Ahmadifar, E. and Hoseini, S.M., 2020. Dietary licorice (*Glycyrrhiza glabra*) improves growth, lipid metabolism, antioxidant and immune responses, and resistance to crowding stress in common carp. *Cyprinus carpio. Aquaculture Nutrition*, *27*(2), pp.417 -426. DOI:10.1111/anu.13194
2. Asadi, M., Harsij, M., Adineh, H., Gholizadeh, M. and Moazami, N., 2021. Evaluation of growth performance, digestive enzyme activity, immune and antioxidant parameters of Common carp (*Cyprinus carpio* L.)

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

juveniles reared in aquaponic system. *Journal of Applied Ichthyological Research*, *9* (3), pp.30-37. DOI: 10.22034/jair.9.3.31[In Persian]

3. Atugoda, T., Wijesekara, H. and Werellagama, D.R.I.B., Jinadasa, K.B.S.N., Bolan, N.S., Vithanage, M., 2020. Adsorptive interaction of antibiotic ciprofloxacin on polyethylene microplastics: implications for vector transport in water. *Environmental Technology and Innovation*, *19*, 100971. DOI:10.1016/j.eti.2020.100971
4. Banaee, M. and Mohammadzadeh, M., 2022. The effect of microplastics with different colors on some oxidative stress biomarkers in *Gambusia holbrooki* Girard, 1859. *Journal of Aquaculture Sciences*, 10(19), pp.73-82. Doi 20.1001.1.23225351.1401.10.19.7.7 [In Persian]
5. Banaee, M., Badr, A.A., Multisani, C.R., Haghi, B.N. and Faggio, C. 2023. The toxicity effects of the individual and combined exposure of methyl tert-butyl ether (MTBE) and tire rubber powder (RP) on Nile tilapia fish (*Oreochromis niloticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, *Part C, 274*, 109759. DOI:10.1016/j.cbpc.2023.109759
6. Colombo, C.V., Fernandez-Severini, M.D., Forero-Lopez, A.D., Ardusso, M.G., Rimondino, G.N., Malanca, F.E. and Buzzi, N.S., 2023. Microplastics in commercial seafood: *Pleoticus muelleri* as a case study in an estuarine environment highly affected by human pressure (*Southwestern Atlantic*). *Environmental Research*, *216*, 114738. DOI:10.1016/j.envres.2022.114738
7. Ding, J., Zhang, S., Razanajatovo, M.R., Zou, H. and Zhu, W., 2018. Accumulation, tissue distribution, and biochemical effects of polystyrene microplastics in the freshwater fish red tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Environmental Pollution, 238*, pp.1-9. DOI:10.1016/j.envpol.2018.03.001
8. Dong, R., Zhou, C., Wang, S., Yan, Y. and Jiang, Q., 2022. Probiotics ameliorate polyethylene microplastics-induced liver injury by inhibition of oxidative stress in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology, 130*, pp.261-272. DOI:10.1016/j.fsi.2022.09.022
9. Esterhuizen, M., Buchenhorst, L., Kim, Y.J. and Pflugmacher, S. 2022. In vivo oxidative stress responses of the freshwater basket clam *Corbicula javanicus* to microplastic fibres and particles. *Chemosphere, 296*, 134037. DOI:10.1016/j.chemosphere.2022.134037
10. FAO, The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation, FAO, Rome, 2022, DOI:10.4060/cc0461en.
11. Félix, L., Carreira, P. and Peixoto, F., 2022. Effects of chronic exposure of naturally weathered microplastics on oxidative stress level, behaviour, and mitochondrial function of adult zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere, 310*, 136895. DOI:10.1016/j.chemosphere.2022.136895
12. Frank, Y.A., Interesova, E.A., Solovyev, M.M., Xu, J. and Vorobiev, D.S., 2023. Effect of Microplastics on the Activity of Digestive and Oxidative-Stress-Related Enzymes in Peled Whitefish (*Coregonus peled* Gmelin) Larvae. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*, 10998. DOI:10.3390/ijms241310998
13. Goth, L., 1991. A simple method for determination of serum catalase activity and revision of reference range. *Clinica Chimica Acta*, *196*(2-3), pp.143 -151. Doi: 10.1016/0009-8981(91)90067-m
14. Guven, O., Bach, L., Munk, P., Dinh, K.V., Mariani, P. and Nielsen, T.G., 2018. Microplastic does not magnify the acute effect of PAH pyrene on predatory performance of a tropical fish (*Lates calcarifer*). *Aquatic Toxicology*, *198*, pp.287–293. DOI:10.1016/j.aquatox.2018.03.011
15. Haave, M.., Gomiero, A., Schönheit, J.,

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

Nilsen, H. and Olsen, A.B., 2021. Documentation of Microplastics in Tissues of Wild Coastal Animals. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 575058. DOI:10.3389/fenvs.2021.575058

16. Hamed, M., Soliman, H.A.M., Badrey, A.E.A. and Osman, A.G.M., 2021. Microplastics induced histopathological lesions in some tissues of tilapia (*Oreochromis niloticus*) early juveniles, *Tissue and Cell*, *71*, 101512. DOI:10.1016/j.tice.2021.101512
17. Hanachi, P., Kazemi, S., Zivary, S. and Karbalaei, S., 2020. Effect of polyethylene terephthalate microplastics and abampectin pesticides on glutathione peroxidase enzyme activity and lipid peroxidation in Zebra fish. *Journal of Fisheries*, *73*(3), pp.361-372. DOI:10.22059/jfisheries.2020.306230.1185 [In Persian]
18. Jeyavani, J., Sibiya, A., Stalin, T., Vigneshkumar, G., Al-Ghanim, K.A., Riaz, M.N., Govindarajan, M. and Vaseeharan, B., 2023. Biochemical, genotoxic and histological implications of polypropylene microplastics on freshwater fish *Oreochromis mossambicus*: An aquatic eco-toxicological assessment. *Toxics*, *11*, 282. DOI:10.3390/toxics11030282
19. Karbalaei, S., Hanachi, P., Rafiee, G., Seifori, P. and Walker, T.R., 2021. Toxicity of polystyrene microplastics on juvenile *Oncorhynchus mykiss* (rainbow trout) after individual and combined exposure with chlorpyrifos. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123980. DOI:10.1016/j.jhazmat.2020.123980
20. Khanjani, M.H., Sharifinia, M. and Hajirezaee, S., 2022. Recent progress towards the application of biofloc technology for tilapia farming. *Aquaculture*, *552*, 738021. DOI:10.1016/j.aquaculture.2022.738021
21. Khanjani, M.H., Mohammadi, A. and Sharifinia, M., 2023. The impact of microplastics on bivalve mollusks: A bibliometric and scientific review. *Marine Pollution Bulletin, Part A*, *194,* 115271. DOI:10.1016/j.marpolbul.2023.115271
22. Khanjani, M.H. and Mohammadi, A., 2025. Microplastic pollution in aquatic ecosystems: A comprehensive review of impacts on aquatic animals. *Annals of Animal Science*, pp.1-32. DOI: 10.2478/aoas-2025-0051
23. Kim, J.H., Yu, Y.B. and Choi, J.H., 2021. Toxic effects on bioaccumulation, hematological parameters, oxidative stress, immune responses and neurotoxicity in fish exposed to microplastics: A review. *Journal of Hazardous Materials*, *413*, 125423. DOI:10.1016/j.jhazmat.2021.125423
24. Lawan, P.L.M.J.H., De Silva, D.S.M., Amarathunga, A.A.D., McGoran, A., Bakir, A., Sivyer, D.B. and Reeve, C., 2024. Microplastic Contamination in Shrimps from the Negombo Lagoon—Sri Lanka. *Water*, *16*, 447. DOI:10.3390/w16030447
25. Leila, B., Sedláček, P. and Anastasopoulou, A., 2023. Plastic pollution in the deep-sea Giant red shrimp, *Aristaeomorpha foliacea*, in the Eastern Ionian Sea, an alarm point on stock and human health safety. *Science of the Total Environment, 877*, 162783. DOI:10.1016/j.scitotenv.2023.162783
26. Lin, T., Yu, S., Chen, Y. and Chen, W., 2014. Integrated biomarker responses in zebrafish exposed to sulfonamides. *Environmental Toxicology and Pharmacology, 38*(2), pp.444-452. DOI:10.1016/j.etap.2014.07.020
27. Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., and Randall, R.J., 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, *193*, pp.265-275. DOI:10.1016/S0021-9258(19)52451-6
28. Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J., Ding, L. and Ren, H., 2016. Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

(*Danio rerio*) and toxic effects in liver. Environmental Science andMicroplastic intake and enzymatic responses in *Mytilus galloprovincialis* reared at the vicinities of an aquaculture station. *Chemosphere, 280*, 130575. DOI: 10.1021/acs.est.6b00183

29. Marklund, S. and Marklund, G., 1974. Involvement of the superoxyde anion radical in the auto oxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxyde dismutase. *European Journal of Biochemistry*, 47, pp.469 - 474. DOI: 10.1111/j.1432-1033.1974.tb03714.x
30. Mohamadi Dehcheshmeh, A., Khosravizadeh, M., Mousavi, S. M., Babadi, S. and Shiry, N., 2024. Electro-immobilisation and Fish Welfare: An Investigation into Stress, Consciousness, and Physiological Aspects during Slaughter. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, *2*, pp.1-16. DOI: 10.1080/10888705.2024.2348460
31. Ni, J., 2022. Emerging pollution and emerging pollutants. *National Science Open, 1* (2), 20220030. DOI:10.1360/nso/20220030
32. Ovung, A. and Bhattacharyya, J., 2021. Sulfonamide drugs: structure, antibacterial property, toxicity, and biophysical interactions. *Biophysical Reviews*, *13*(2), pp.259-272. DOI: 10.1007/s12551-021-00795-9.
33. Paglia, D.E. and Valentine, W.N., 1967. Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 70(1), pp.158-169.
34. Pastorino, P., Prearo, M., Anselmi, S., Menconi, V., Bertoli, M., Dondo, A., Pizzul, E. and Renzi, M., 2021. Use of the Zebra Mussel *Dreissena polymorpha* (Mollusca, Bivalvia) as a Bioindicator of Microplastics Pollution in Freshwater Ecosystems: A Case Study from Lake Iseo (North Italy). *Water*, *13*, 434. DOI:10.3390/w13040434
35. Qiao, R., Sheng, C., Lu, Y., Zhang, Y., Ren, H. and Lemos, B., 2019. Microplastics induce intestinal inflammation, oxidative stress, and disorders of metabolome and microbiome in zebrafish. *Science of the Total Environment, 662*, pp.246–253. DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.01.245
36. Rifai, N., Bachorik, P.S. and Albers, J.J., 1999. Lipids, lipoproteins and apolipoproteins. In: Burtis CA, Ashwood ER, editors. Tietz Textbook of Clinical Chemistry. 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 809 P.
37. Sanchez, W., Bender, C. and Porcher, J.M., 2014. Wild gudeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: preliminary study and first evidence. *Environmental Research*, 128, pp.98–100. DOI:10.1016/j.envres.2013.11.004
38. Satho, K., 1978. Serum lipid peroxidation in cerebrovascular disorders determined by a new colorimetric method. *Clinica Chimica Acta*, 90, pp.37–43. DOI: 10.1016/0009-8981(78)90081-5
39. Song, J.A., Choi, C.Y. and Park, H.S., 2020. Exposure of bay scallop Argopecten irradians to micro-polystyrene: bioaccumulation and toxicity. *Comparative Biochemistry and Physiology* Part C, *236*, 108801. DOI. 10.1016/j.cbpc.2020.108801
40. Umamaheswari, S., Priyadarshinee, S., Bhattacharjee, M., Kadirvelu, K. and Ramesh, M., 2021. Exposure to polystyrene microplastics induced gene modulated biological responses in zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, *281*, 128592. DOI:10.1016/j.chemosphere.2020.128592
41. Wen, B., Jin, S., Chen, Z., Gao, J., Liu, Y., Liu, J. and Feng, X., 2018. Single and combined effects of microplastics and cadmium on the cadmium accumulation, antioxidant defense and innate immunity of the discus fish (*Symphysodon aequifasciatus*).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]

Environmental Pollution, 243, pp.462-471. DOI:10.1016/j.envpol.2018.09.029

42. Xia, X., Sun, M., Zhou, M., Chang, Z. and Li, L., 2020. Polyvinyl chloride microplastics induce growth inhibition and oxidative stress in *Cyprinus carpio* var. larvae. *Science of the Total Environment, 716*, 136479. DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.136479
43. Xiao, K., Song, L., Li, Y., Li, C. and Zhang, S., 2023. Dietary intake of microplastics impairs digestive performance, induces hepatic dysfunction, and shortens lifespan in the annual fish *Nothobranchius guentheri*. *Biogerontology*, *24*, pp.207–223. DOI: 10.1007/s10522-022-10007-w
44. Zhang, S., Ding, J., Razanajatovo, R.M., Jiang, H., Zou, H. and Zhu, W., 2019. Interactive effects of polystyrene microplastics and roxithromycin on bioaccumulation and biochemical status in the freshwater fish red tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Science of the Total Environment,* 648, pp.1431–1439. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.08.266
45. Zhang, Y., Li, M., Chang, F., Yi, M., Ge, H., Fu, J. and Dang, C., 2022. The distinct resistance mechanisms of cyanobacteria and green algae to sulfamethoxazole and its implications for environmental risk assessment. *Science of the Total Environment, 854*, 158723. DOI:10.1016/j.scitotenv.2022.158723
46. Zhang, Y., Xu, X., Xu, J., Li, Z., Cheng, L., Fu, J., Sun, W. and Dang, C., 2024. When antibiotics encounter microplastics in aquatic environments: Interaction, combined toxicity, and risk assessments, *Science of the Total Environment, 929*, 172455. DOI:10.1016/j.scitotenv.2024.172455

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.71901/jad-2025-3-895]