اثر غلظت‌های تحت کشنده نانوپلاستیک پلی‌استایرن بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)

علیرضا مهری*[1]، سید علی اکبر هدایتی[1]، حمید محمدی آذرم[2]، علی جافر نوده[3]، صفورا ابرقویی[4]

گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

[2]گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

[3]گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

[4]مرکز آموزش علمی کاربردی کشاورزی بهارآوران نسترن، دانشگاه جامع علمی کاربردی، قم، ایران.

*نویسنده مسئول alirezamehri1375@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۳۰

چکیده

توسعه قابل‌توجه نانو تکنولوژی و استفاده گسترده از نانو مواد در زمینه‌های مختلف صنعتی باعث ضرورت بررسی اثرات تخریبی آن‌ها بر سیستم ایمنی می‌باشد. از این‌رو در استفاده از نانو ذرات باید به سمیت آن‌ها توجه نمود. این تحقیق، با هدف بررسی پاسخ‌های اکوفیزیولوژیکی ماهی کپور معمولی در مواجه با نانو پلاستیک پلی‌استایرن به‌عنوان یک پلیمر پر مصرف انجام شد. تعداد هشتاد و چهار قطعه ماهی کپور معمولی با میانگین وزنی۵/۱ ± ۳۰ گرم، در ۴ تیمار غذایی (شاهد با غذای تجاری و تیمارها با غذهای حاوی ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌لیتر نانوپلی‌استایرن امولسیونی) به‌مدت ۲۸ روز قرار گرفتند. در پایان دوره آزمایش نمونه سرم و موکوس جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که غلظت‌های مختلف نانوپلاستیک پلی‌استایرن بر شاخص‌های پروتین کل سرم خون تاثیر معنی‌داری نداشتند ($P>0/05$)، در حالی که میزان گلوکز در غلظت ۱ میلی‌لیتر (بالاترین غلظت)، نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌دار داشت ($P<0/05$). تیمارآزمایشی باعث افزایش معنی‌دار مقدار پروتین محلول موکوس شد ($P<0/05$). همچنین تیمارهای آزمایشی به‌ترتیب باعث افزایش و کاهش معنی دار ALT و AST سرم خون شد ($P<0/05$). به‌طور کلی نتایج نشان داد که نانوپلاستیک پلی‌استایرن موجب افزایش استرس و پاسخ‌های نامطلوب فیزیولوژیک در ماهی کپور معمولی می‌شود و این عوارض مخرب در غلظت‌های بالاتر مشهودتر است.

واژگان کلیدی: نانوپلاستیک، پلی‌استایرن، کپورمعمولی، سرم، موکوس.

مقدمه

در حال حاضر فناوری نانو، پیشرفته‌ترین و جدیدترین فن‌آوری بشری است که از هم‌گرایی علوم فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی به‌وجود آمده است. توسعه قابل توجه نانو تکنولوژی و استفاده گسترده نانو مواد در زمینه‌های مختلف صنعتی باعث ضرورت بررسی اثرات تخریبی آن‌ها بر ایمنی می‌باشد. از این‌رو، در استفاده از نانو ذرات باید به سمیت آن‌ها توجه نمود. زیرا می‌توانند با پاسخ‌های التهاب مزمن و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن همراه باشند (Chang *et al*., 2012).

افزایش فعالیت کارخانه‌ها، نگرانی‌های زیادی را در مورد ورود پساب‌های خروجی این مراکز به اکوسیستم‌های آبی به‌وجود آورده است که موجودات ساکن در این اکوسیستم‌ها شدیداً در معرض خطرات مستقیم و یا غیرمستقیم این دسته آلودگی‌ها قرار دارند. از آنجا که ماهیان و دیگر موجودات دریایی به عنوان بخش مهمی از منابع تأمین پروتئین جوامع بشری شناخته می‌شوند، توجه به مسائل زیست محیطی و بهداشتی آن‌ها باید مورد توجه قرار گیرد (Simate *et al*., 2012).

پلاستیک‌های وارد شده به اقیانوس‌ها و دریاها بر اثر عوامل مختلف تخریب شده و به تکه‌های کوچک‌تر تبدیل می‌شوند. از جمله عوامل مؤثر در

تخریب پلاستیک می‌توان به ۱) تخریب زیستی: تکه تکه شدن توسط ارگانیسم‌های زنده مانند میکروب‌ها، ۲) تخریب نوری: به‌وسیله نور خورشید، ۳) اکسیداسیون حرارتی: شکست اکسایشی کند در دمای متوسط محیط، ۴) تخریب گرمایی: تخریب در دماهای زیاد و ۵) هیدرولیز: واکنش با آب، اشاره کرد (Al-Oufi *et al.*, 2004). پلاستیک‌ها در اثر عوامل فوق به میکرو و نانوپلاستیک تبدیل می‌شوند (Oliveira *et al.*, 2019). میکروپلاستیک‌ها به ذرات کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر اطلاق می‌شود اما در مورد نانوپلاستیک‌ها تعریف اثبات شده‌ای وجود ندارد (Gigault *et al.*, 2018). اما فرض بر این است که آن‌ها ذراتی با منشأ و ترکیب مشابه میکرو پلاستیک‌ها با اندازه زیر ۱۰۰ میکرومترهستند (Ferreira *et al.*, 2019; Koelmans *et al.*, 2015). به‌دلیل رنگ‌آمیزی جذاب، شناور بودن و تشابه غذایی میکروپلاستیک‌ها با مواد غذایی، در میان موجودات آبزی، ماهیان بیشتر مستعد بلعیدن این ذرات هستند و از آنجا که موجوات ارزشمندی از نظر تأمین پروتئین حیوانی مورد نیاز انسان هستند، بررسی وقوع و اثرات بالقوه این مواد حائز اهمیت می‌باشد .نانوذرات نقره به‌علت خواص ضد باکتریایی، کاربرد گسترده‌ای در زخم‌پوش‌ها، پانسمان زخم، پماد زخم‌های پوستی، ضدعفونی کننده‌ها و پوشش های ابزار پزشکی استفاده می‌شود، همچنین به‌دلیل داشتن خصوصیت‌های غیر معمول نوری شیمیایی، فوتوالکتروشیمیایی و الکتریکی مورد توجه دانشمندان هستند. با توجه به اینکه نانوذرات ساخته دست بشر هستند و در فرآیند تکامل وجود نداشته‌اند، نگرانی‌هایی پیرامون آلودگی محیط زیست و موجودات زنده خصوصاً آبزیان وجود دارد. نانوذرات قادر به‌عبور از جداره رگ‌های خونی و جفت می‌باشند و به‌راحتی می‌توانند با مولکول‌های مستقر روی سطح یا داخل سلول‌ها تعامل داشته باشند که این مسئله سلامت موجودات زنده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. (Gong *et al.*, 2007).

کپور ماهیان از مهم‌ترین خانواده‌های ماهیان آب شیرین بوده که تاکنون بالغ بر ۲۲۰ جنس و۲۴۲۰ گونه از آن‌ها معرفی شده است. گونه کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) متعلق به خانواده کپورماهیان (Cyprinidae) است و در بوم‌سازگان های آب شیرین از جمله ماهیان مهم از لحاظ اقتصادی بوده و به جهت خوراک مصرفی مردم پرورش داده می‌شود. این گونه به‌طور معمول در شمال کشور (گیلان، مازندران و گلستان)، خوزستان و آب‌های داخلی پرورش داده می‌شوند. این ماهی در آب‌های شیرین زندگی کرده و در تمام قاره‌ها به‌جزء استرالیا بومی شده است. نظر کاریولوژیکی، خانواده کپورماهیان غالباً دارای۵۰-۴۸ جفت کروموزوم هستند اما گونه کپور معمولی ممکن است دارای کروموزوم‌های بیشتری باشد (Billard *et al.*, 1995). با توجه به اهمیت موارد فوق و نگرانی‌های پیرامون نانوپلاستیک‌ها، این مطالعه به‌منظور بررسی اثر غلظت‌های تحت کشنده نانوپلاستیک پلی‌استایرن بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

تهیه نانوپلاستیک و آماده‌سازی آن: ذرات نانو پلی‌استایرن به‌صورت امولسیون در محدوده ۷۰ نانومتری تهیه شد (شکل ۱). استایرن به‌عنوان مونومر، پلی‌وینیل‌الکل (PVA) با جرم مولکولی ۱۲۸۰۰۰ گرم بر مول به‌عنوان تثبیت‌کننده از شرکت مرک آلمان و بنزوئیل‌پراکسید به‌عنوان آغازگر از شرکت آلفا آریزر (آمریکا) خریداری شدند.

استایرن قبل از استفاده تقطیر شد و سایر مواد شیمیایی به‌همان صورت مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین در تمام آزمایشات آب دیونیزه بکار برده شد. ذرات پلی‌استایرن مطابق با تحقیقات Tahami و همکاران (۲۰۱۶) و Shohani و همکاران (۲۰۱۷) ساخته شد. بر اساس این روش‌ها، ۳-۱ درصد وزنی آغازگر (بنزوئیل پراکسید)، ۴-۱ درصد وزنی

تثبیت‌کننده (پلی‌وینیل‌الکل) انتخاب و سرعت هم زدن ۷۵۰-۵۵۰ دور در دقیقه قرار داده شد. پلیمریزاسیون در یک راکتور یک لیتری سه‌دهانه، مجهز به قیف اضافه‌کننده (اضافه‌کردن قطرای مونومر استایرن)، خنک‌کننده و دماسنج انجام شد. در ظرف واکنش ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، آغازگر و تثبیت‌کننده اضافه شد و گاز نیتروژن به‌مدت ۲۰ دقیقه برای خارج کردن اکسیژن محلول از آن عبور داده شد. سپس دما را به ۹۰ درجه سانتی‌گراد رسانده و ضمن هم‌زدن، به‌تدریج طی مدت نیم ساعت استایرن قطره قطره اضافه شد و واکنش پلیمریزاسیون به‌مدت ۸ ساعت ادامه یافت (Tahami *et al*., 2016; Shohani *et al*., 2017).

فراهم کردن شرایط پرورش کپور و تیماربندی: این تحقیق در تابستان ۱۳۹۸، در سالن آبزی‌پروری (گروه شیلات) دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. بدین منظور، ۸۴ عدد ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) با میانگین وزنی ۵/۱ ±۳۰ گرم تهیه و در مخازنی با هوادهی و جریان مناسب آب به‌مدت دو هفته جهت سازگاری با شرایط جدید نگهداری و روزانه به‌میزان ۳ درصد وزن بدن غذادهی شدند (Abarghouei *et al*., 2021). سپس ماهیان به‌صورت تصادفی به چهارگروه تقسیم شدند.

گروه شاهد با غذای پایه و فاقد نانوپلاستیک پلی‌استایرن و تیمارها با غذای حاوی ۰/۱، ۰/۵و ۱ میلی‌لیتر نانوپلی‌استایرن امولسیونی، که روی غذا اسپری شدند و از ژلاتین ۲ درصد برای تثبیت نانو-مواد بر روی غذا استفاده شد.

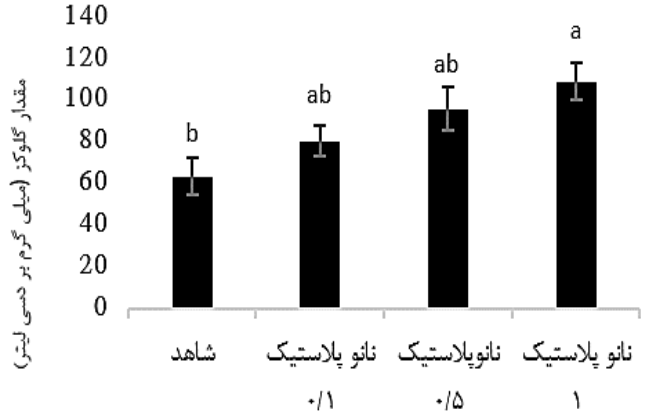
با توجه به مطالعات (Lee *et al*., 2019) روی میکروپلاستیک‌های پلی‌استایرن در شرایط آزمایشگاهی و مطالعات مشابه نتایج نشان داد میکروپلاستیک و نانو پلاستیک‌ها قابلیت تجمع در اندام‌های مختلف را دارند، غلظت‌های این مطالعه بر اساس مطالعات پیشین و با بررسی غلظت‌های محیطی از طریق مطالعات میدانی روی میکروپلاستیک‌ها، و با هدف بررسی اثرات مستقیم این ذرات از طریق خوراکی روی ماهی کپور معمولی به‌عنوان مدل زیستی انتخاب شد (Besseling *et al*., 2014). جهت تعیین محدوده LC_{50} غلظت‌های بسیاری اعمال شد. پیش‌تست‌های مطالعات پیشین روی این ذرات و ذرات میکروپلاستیک پلی‌استایرن نشان داد این ذرات در مدت ۹۶ ساعت کشندگی ندارند. غذای تهیه شده به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط خشک و سپس در ظروف استریل نگهداری شد.

آزمایش‌های سمیت تحت‌حاد در مدت زمان ۲۸ روز انجام شد و در پایان دوره آزمایش، جهت تهیه پلاسما، ماهیان با پودر گل میخک به میزان ppm ۲۰ بیهوش و با استفاده از سرنگ هپارینه خون‌گیری انجام شد. برای جداسازی پلاسما، نمونه‌های خون به مدت دو دقیقه در دور ۱۵۰۰ سانتریفیوژ و پس از جداسازی پلاسما، نمونه‌ها جهت انجام تست‌های بیوشیمیایی در دمای ۸۰- درجه نگهداری شدند. اندازه‌گیری مقدار هموگلوبین مطابق روش Kondera و همکاران (۲۰۱۲) و مقدار هماتوکریت با استفاده از روش Vazquez و همکاران (۲۰۰۷) محاسبه شد.

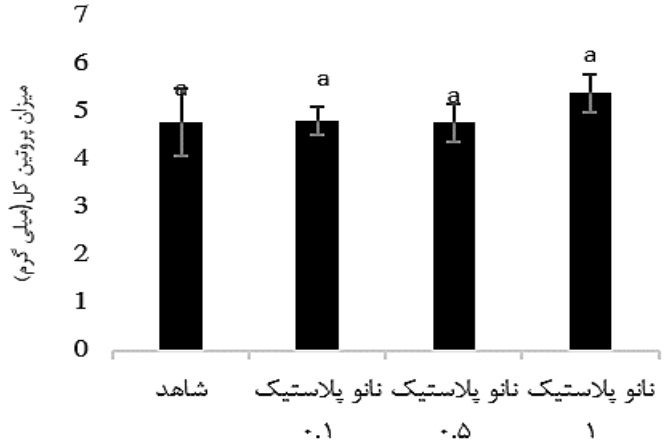
نتایج

بررسی تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که، بالاترین غلظت آزمایش فقط بر میزان گلوکز خون تأثیر معنی‌داری دارد ($P<۰/۰۵$) همچنین میزان گلوکز در اثر تیمارهای تغذیه شده با نانوپلاستیک با افزایش غلظت‌ها افزایش یافت (شکل ۱).

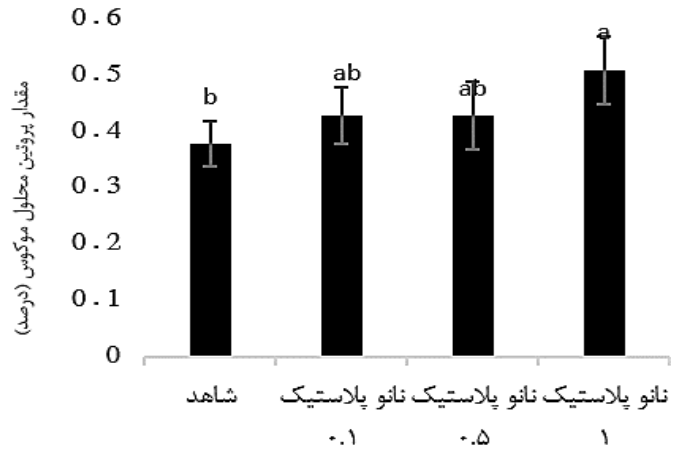
بررسی تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که، بالاترین غلظت آزمایش بر میزان پروتین کل سرم تأثیر معنی‌داری ندارد ($P>۰/۰۵$) همچنین پروتین کل سرم خون در اثر تیمارهای تغذیه‌شده با نانوپلاستیک با افزایش غلظت‌ها افزایش یافت (شکل ۲).



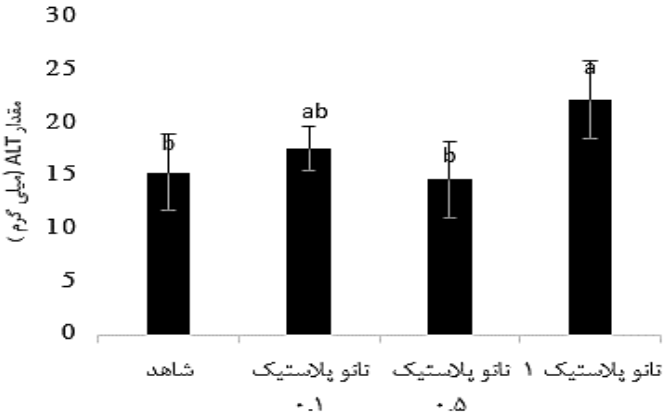
شکل۱- شاخص‌های بیوشیمیایی سرم (گلوگز) ماهی کپور معمولی در مواجهه با نانوپلاستیک در تیمارهای مختلف آزمایشی (حروف انگلیسی متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ($P<۰/۰۵$) بین تیمارهای آزمایشی است و حروف انگلیسی یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ($P>۰/۰۵$) بین تیمارهای آزمایشی است).



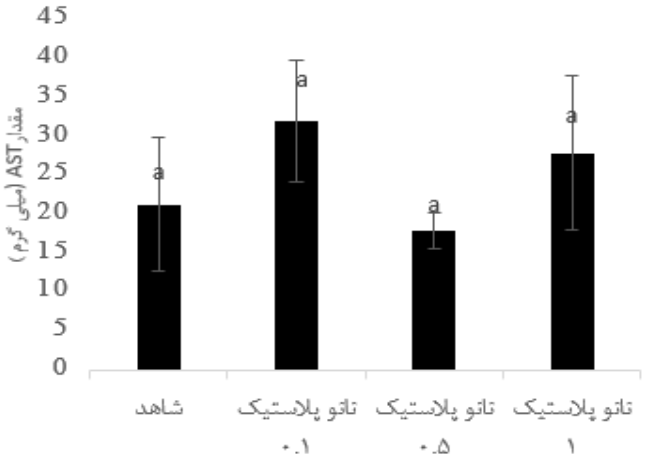
شکل ۲- شاخص‌های بیوشیمیایی سرم (پروتئین کل) ماهی کپور معمولی در مواجهه با نانوپلاستیک در تیمارهای مختلف آزمایشی(حروف انگلیسی متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ($P<۰/۰۵$) بین تیمارهای آزمایشی است و حروف انگلیسی یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ($P>۰/۰۵$) بین تیمارهای آزمایشی است).



شکل ۳- پارامتر های موکوس (پروتئین محلول) ماهی کپور معمولی در مواجهه با نانو پلاستیک در تیمار های مختلف آزمایشی (حروف انگلیسی متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ($P<۰/۰۵$) بین تیمارهای آزمایشی است و حروف انگلیسی یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ($P>۰/۰۵$) بین تیمارهای آزمایشی است).



شکل ۴- شاخص های آنزیمی سرم خون (ALT) ماهی کپور معمولی در مواجهه با نانو پلاستیک در تیمار های مختلف (حروف انگلیسی متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ($P<۰/۰۵$) بین تیمارهای آزمایشی است و حروف انگلیسی یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ($P>۰/۰۵$) بین تیمارهای آزمایشی است).



شکل ۵- شاخص های آنزیمی سرم خون (AST) ماهی کپور معمولی در مواجهه با نانو پلاستیک در تیمار های مختلف آزمایشی (حروف انگلیسی متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ($P<۰/۰۵$) بین تیمارهای آزمایشی است و حروف انگلیسی یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ($P>۰/۰۵$) بین تیمارهای آزمایشی است).

بررسی تجریه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که در مجموع، تیمارهای آزمایشی بر مقدار پروتین محلول موکوس تأثیر معنی‌داری داشت ($P<۰/۰۵$) به‌طوری که پروتئین محلول موکوس در اثر تیمارهای تغذیه شده با سم نانو پلاستیک با افزایش غلظت نیز افزایش یافت (شکل ۳).

نتایج نشان داد که، تیمارهای آزمایشی برمقدار ALT سرم خون تأثیر معنی‌داری داشت ($P<۰/۰۵$) به‌طوری‌که مقدار ALT در اثر تیمارهای تغذیه‌شده با سم نانو پلاستیک با افزایش غلظت نیز افزایش یافت (شکل ۴). بررسی آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که، تیمارهای آزمایشی برمقدار AST سرم خون تاثیر معنی‌داری داشت ($P<۰/۰۵$) به‌طوری‌که مقدار AST در اثر تیمارهای تغذیه شده با سم نانو پلاستیک با افزایش غلظت نیز کاهش یافت (شکل ۵).

بحث

میکروپلاستیک‌ها، با توجه به اندازه کوچک‌ی که دارند احتمالاً به‌طور زیستی از طریق شبکه غذایی در دسترس موجودات قرار می‌گیرند. ترکیب و سطح نسبتاً وسیع این مواد، آن‌ها را به یک سطح مناسب برای چسبیدن ترکیبات آلی مقاوم به تجزیه زیستی و یا ترکیبات سمی که از طریق محیط‌های آبی وارد می

شوند، تبدیل نموده است در نتیجه از جایی‌که میکروپلاستیک‌ها پتانسیل تجمع‌زیستی را دارند، مصرف آن‌ها ممکن است آغاز تجمع سموم در زنجیره غذایی پایه باشد (Teuten *et al*., 2009). با توجه به اندازه کوچک و حضور آن‌ها هم در اکوسیستم‌های پلاژیک و بنتیک، این پتانسیل را دارند که توسط مجموعه‌ای از موجودات زنده دریایی مصرف شوند (Rios Mendoza and Jones, 2015). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که از شاخص‌های بیوشیمیایی پروتئین محلول، نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌دار ندارد ولی گلوکز در بالاترین غلظت (۱ میلی‌لیتر)، نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌دار داشتند ولی بر میزان پروتین کل سرم تاثیر معنی داری نشان نداد. در مجموع، تیمارهای آزمایشی برمقدار ALT و AST سرم خون تأثیر معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که مقدار ALT در اثر تیمارهای تغذیه‌شده با سم نانو پلاستیک با افزایش غلظت نیز افزایش در حالی که مقدار AST نیز کاهش یافت.

از شاخص‌های بیوشیمیایی خون، میزان گلوکز، در بالاترین غلظت نانوپلاستیک، نسبت به گروه شاهد افزایش معنی‌دار داشت. از آنجا که گلوکز اصلی‌ترین ماده به‌دست آمده از سوخت و ساز مواد کربوهیدراتی می‌باشد (Zhou *et al*., 2009) و افزایش غلظت آن می‌تواند به‌دلیل فرآیند گلکونئوژنزیز باشد که به موجب آن در شرایط نامساعد و استرس (داخلی یا خارجی) هورمون‌های کاتکول آمین، آدرنالین و نورآدرنالین توسط سلول‌های کرومافین به خون ترشح شده و این هورمون‌ها به همراه کورتیزول، گلیکوژن بافت را به گلوکز تبدیل می‌کند تا انرژی مورد نیاز سلول‌ها در طی فرآیند استرس فراهم شود (Saravanan *et al*., 2011). در مطالعات مختلف اثرات نانوپلاستیک ها بر آبزیان انجام شده است. در مطالعه‌ای که توسط Lee و همکاران (۲۰۱۹)، روی تجمع زیستی نانوپلاستیک‌های پلی‌استایرن و تأثیر آن‌ها بر سمیت یون‌های طلا بر جنین ماهی زبرای گورخری انجام شد، نتایج نشان داد که نانوپلاستیک‌های پلی استایرن کوچک‌تر، به آسانی در کوریون و جنین در حال رشد نفوذ کرده (بیشتر در مناطق غنی از لیپیدها مانند لیپیدهای کیسه زرده) و در کل بدن تجمع می‌یابند. در مطالعه انتقال غذایی و اثرات انحصاری نانوپلاستیک پلی‌ستایرن بر زنجیره غذایی چهار گونه آب شیرین انجام شد، نتایج نشان داد که نانوپلاستیک‌ها، به‌راحتی از طریق زنجیره غذایی منتقل می‌شوند. یافته‌های آن‌ها به شدت و خطرات بالقوه و ریسک بالای آسیب بر سلامتی هنگام در معرض قرار گرفتن نانو پلاستیک ها اشاره دارد (Chae *et al*., 2018).

پوست آبزیان به‌دلیل ترشح موکوس مانع از ورود باکتری‌ها می‌شود که یک مکانیسم دفاعی برای ماهیان می‌باشد و در فعالیت‌های ایمنی نقش دارند (Salinas *et al*., 2011). موکوس پوست با داشتن مکانیسم‌های قوی می‌تواند عوامل بیماری‌زا را قبل از تماس با پوست به دام انداخته و جمع‌آوری کند؛ چرا که بیشتر باکتری‌ها و پاتوژن‌ها از غشاء نیمه تراوای پوست می‌توانند عبور کنند. به‌علاوه از جمله مکانیسم‌های دیگر موکوس پوست، محیطی را ایجاد می‌کند که ممکن است فعالیت ضد باکتریایی داشته باشد، در پوست ماهیان مکانی را برای فعالیت‌های مهم زیست‌شناختی مانند سیستم ایمنی ذاتی و اکتسابی ایجاد می‌کند و اعمال مختلفی مانند تنظیم یونی، تنظیم اسمزی، روان‌سازی و رفتار مراقبتی والدینی انجام می‌دهد. موکوس ماهیان عمدتاً از ترکیب آب و ماکرومولکول‌ها شامل موسین و دیگر پروتئین‌ها (گلیکوپروتئین‌ها، پروتئوگلیکان‌ها و پروتئین‌ها است، همچنین حاوی نمک، چربی به‌عنوان مثال اسیدهای چرب)، فسفولیپیدها و کلسترول می‌باشد (Subramanian *et al*., 2007).

عوامل محیطی (فصل، شوری، درجه حرارت و تراکم)، عوامل فیزیولوژیکی (گونه ماهی، سن، جنس و وضعیت تغذیه‌ای)، زمان نمونه‌برداری، چگونگی تهیه نمونه، دقت و حساسیت روش‌های اندازه‌گیری

می‌توانند بر فعالیت پارامترهای موکوس تأثیرگذار باشند (Verdegerm, 1997).

افزایش سطح آنزیم AST ممکن است نشان‌دهنده افزایش اکسیداسیون اسیدهای آمینه جهت تأمین انرژی و تولید مولکول‌های آدنوزین‌تری فسفات مورد نیاز سلول‌ها برای حفظ هموستازی باشد (Park *et al*., 2010). افزایش فعالیت این آنزیم‌ها ممکن است نرخ تجزیه پروتئین‌ها برای تأمین انرژی و بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده را افزایش دهند. ALT و AST جزء آنزیم‌های غیرعملکردی پلاسما هستند که به‌طور طبیعی در سلول‌های برخی از اندام‌ها از جمله کبد قرار گرفته اند. یکی از دلایل افزایش سطح سرمی این آنزیم‌ها ممکن است تغییر در نفوذپذیری غشای پلاسمایی سلول‌های کبدی و یا صدمات سلولی حاصل از قرار گرفتن در معرض نانواکسید روی باشد (Park *et al*., 2010) چنین ناسازگاری‌هایی در نتایج تحقیقات مختلف ممکن است نشان‌دهنده این واقعیت باشد که عوارض مختلف میکرو و نانوپلاستیک‌ها به غلظت و مدت زمان قرار گرفتن در معرض این ذرات، مرحله زندگی موجودات و شرایط مختلف محیطی بستگی دارد که در مطالعات مختلف متفاوت بوده است. از مقایسه یافته‌های مطالعه حاضر با سایر مطالعات می‌توان نتیجه گرفت، احتمالاً غلظت‌های بیشتری از نانوپلاستیک پلی‌استایرن موجب افزایش استرس و پاسخ‌های التهابی در ماهی کپور معمولی می‌شود. بنابراین برای نتیجه‌گیری بهتر پیشنهاد می‌شود غلظت‌های گسترده‌تر، ترکیب سموم و اثرات آن بر سمیت نانوپلاستیک پلی‌استایرن، همراه با مطالعه سایر پلیمرها، اثرات اندازه‌های مختلف به‌تنهایی و یا با ترکیب با سایر سموم و سایر گونه‌های آبزی مورد بررسی قرار گیرد. هم‌چنین پیشنهاد می‌گردد میزان ورود پلاستیک‌های مختلف به محیط‌زیست، مورد سنجش، بررسی و برنامه‌ریزی قرار گیرد.

منابع

Abarghouei S., Hedayati A., Raeisi M., Hadavand B.S., Rezaei H., Abed-Elmdoust A. 2021. Size-dependent effects of microplastic on uptake, immune system, related gene expression and histopathology of goldfish (*Carassius auratus*). *Chemosphere* 129977.

Al-Oufi H., McLean E., Kumar A.S., Claereboudt M., Al-Habsi M. 2004. The effects of solar radiation upon breaking strength and elongation of fishing nets. *Fisheries Research* 66(1), 115-119.

Besseling E., Wang B., Lürling M., Koelmans A.A., 2014. Nanoplastics affects growth of S. obliquus and reproduction of *D. magna*. *Environmental Science & Technology* 48 (20), 12336e12343

Billard R., Cosson J., Perchec G., Linhart O. 1995. Biology of sperm and artificial reproduction in carp. *Aquaculture* 129(1), 95-112.

Chang Ya., Xia L., Zhang, M., Zhang J., Xing G. 2012. The Toxic Effects and Mechanisms of CuO and ZnO Nanoparticles. *Materials* 5(12), 2850-2871.

Ferreira I., Venâncio C., Lopes I., Oliveira M., 2019. Nanoplastics and marine organisms: what has been studied? *Environmental Toxicology and Pharmacology* 67, 1-7.

Gigault J., Halle A., Baudrimont M., Pascal P.Y., Gauffre F., Phi T.L., El Hadri H., Grassl B., Reynaud S. 2018. Current opinion: what is a nanoplastic?. *Environmental Pollution* 235(2018), 1030-1034.

Gong P., Li H., He X., Wang K., Hu J., Tan W., Yang X., 2007. Preparation and antibacterial activity of Fe3O4@ Ag nanoparticles. *Nanotechnology* 18(28), 285604.

Koelmans A.A., Besseling E., Shim W.J. 2015. Nanoplastics in the aquatic environment.
Critical review. In: Marine Anthropogeni. *Litter* 325-340.

Kondera E., Dmowska A., Rosa M., Witeska M. 2012. The effect of bleeding on peripheral blood and head kidney hematopoietic tissue in common carp (*Cyprinus carpio*). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 36(2),

169-175
Lee W.S., Cho H.J., Kim E., Huh Y.H., Kim H.J., Kim B., Kang T., Lee J.S., Jeong J. 2019. Bioaccumulation of polystyrene nanoplastics and their effect on the toxicity of au ions in zebrafish embryos. *Nanoscale* 11(7), 3396-3396
Oliveira M., Almeida M., Miguel I. 2019. Trends in analytical chemistry a micro (nano) plastic boomerang tale: a never ending story?. *Trends in Analytical Chemistry* 112, 196-200.
Park E.J., Bae E., Yi J., Kim Y., Choi K., Lee S.H. 2010. Repeated-dose toxicity and inflammatory responses in mice by oral administration of silver nanoparticles. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 30(2), 162-168.
Rios Mendoza L.M., Jones P.R. 2015. Characterisation of microplastics and toxic chemicals extracted from microplastic samples from the North Pacific Gyre. *Environmental Chemistry* 12(5): 611.
Salinas I., Zhang Y.A., Sunyer J.O. 2011. Mucosal immunoglobulins and B cells of teleost fish. *Developmental & Comparative Immunology* 35, 1346-1365.
Saravanan M., Kumar K.P., Ramesh M. 2011. Haematological and biochemical responses of freshwater teleost fish *Cyprinus carpio* (Actinopterygii: Cypriniformes) during acute chronic sublethal exposure to lindane. Pesticide Biochemistry and Physiology 100, 206-211.
Shohani N., Pourmahdian S., Shirkavand Hadavand B. 2017. Response surfacemethodology for design of porous hollow sphere thermal insulator. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 269(1), 012073.
Simate, G.S., Iyuke, S.E., Ndlovu, S., Heydenrych, M., Walubita, L.F. 2012. Human health effects of residual carbon nanotubes and traditional water treatment chemicals in drinking water. *Environment International* 39(1), 38-49.
Subramanian S., MacKinnon S.L., Ross N.W. 2007. A comparative study on innate immune parameters in the epidermal mucus of various fish species. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 148(3), 256-263.
Tahami S.V., Pourmahdian S., Hadavand B.S., Azizi Z.S., Tehranchi M.M. 2016. Thermal tuning the reversible optical band gap of self-assembled polystyrene photonic crystals. *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications* 22, 40e45.
Teuten E.L., Saquing J.M., Knappe D.R., Barlaz M.A., Jonsson S., Björn A., Ochi D. 2009. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364(1526): 2027-2045.
Vazquez G.R., Guerrero G.A. 2007. Characterization of blood cells and hematological parameters in Cichlasoma dimerus (Teleostei, Perciformes). *Tissue and Cell* 39(3), 151-16
Verdegem M.C.J., Hilbrands A.D., Boon J.H., 1997. Influence of salinity and dietary composition on blood parameter values of hybrid red tilapia (*Oreochromis niloticus* & *Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture Research* 28, 453-459.
Zhou W., Wang G., Han Z., Yao W., Zhu W. 2009. Metabolism of flaxseed lignans in the rumen and its impact on ruminal metabolism and flora. *Animal Feed Science and Technology* 150, 18-26.

Sub-lethal effects of polystyrene nanoplastics on some physiological indices of common carp (*Cyprinus carpio*)

Alireza Mehri[1*], Seyed Aliakbar Hedayati[1], Hamid Mohammadi Azarm[2], Ali Jafar Nodeh[3], Safoura Abarghoui[4]

[1]Department of Fisheries and Aquatic Ecology, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
[2]Department of Fisheries, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology, Khorramshahr, Iran.
[3]Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
[4]Baharavaran Nestern Agricultural Applied Scientific Training Center, Applied Scientific University, Qom, Iran.
*Corresponding author: alirezamehri1375@gmail.com
Received: 2022/6/26 Accepted: 2022/7/21

Abstract
The significant development of nanotechnology and the widespread use of nanomaterials in various industrial fields make it necessary to investigate their destructive effects on biological systems. Therefore, in the use of nanoparticles, attention should be paid to their toxicity. This research was conducted with the aim of investigating the ecophysiological responses of common carp in exposure to nanoplastic-polystyrene as a widely used polymer. A total of 84 specimens of common carp with an average weight of 30±1.5 g, were examined in 4 food treatments (control with commercial food and treatments with diet containing 0.1, 0.5, 1 ml nano-polystyrene emulsion). At the end of the 28 days test period, serum and mucus samples were collected. The results showed, different concentrations of polystyrene nanoplastics had no significant effect on total blood serum protein indices (P>0.05). But the amount of glucose in the concentration of 1 ml (the highest concentration) increased significantly compared to the control group (P<0.05). The experimental treatments caused a significant increase in the amount of soluble mucus protein (P<0.05). Also, experimental treatments caused a significant increase and decrease of ALT and AST in blood serum, respectively (P<0.05). Generally, the results showed that polystyrene nano-plastic increases stress and adverse physiological responses in common carp and these harmful effects are more evident in higher concentrations.

Keywords: Nanoplastic, Polystyrene, Common carp, Serum, Mucus.