فیزیولوژی و بیوتکنولوژی آبزیان
سال سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

اثرات میکروپلاستیک پلی‌اتیلن با چگالی بالا (HDPE) بر شاخص‌های رشد بچه‌ماهی ازون‌برون (*Acipenser stellatus*)

مسعود ستاری[۱]*، آرش جمشیدی[۲]، مجید راستا[۳]، ذبیح‌الله پژند[۴]

DOI: 10.22124/japb.2024.27770.1547
تاریخ دریافت: تیر ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۳

چکیده

پلی‌اتیلن یکی از فراوان‌ترین میکروپلاستیک‌ها است که به وفور در همه جا یافت می‌شود. هدف از این پژوهش تعیین اثرات میکروپلاستیک پلی‌اتیلن با چگالی بالا (HDPE) بر شاخص‌های رشد و ضریب تبدیل غذایی بچه‌ماهیان ازون‌برون (*Acipenser stellatus*) بود. ۱۲ مخزن و در هر مخزن ۱۰ بچه‌ماهی ازون‌برون با میانگین وزنی ۱۸ تا۲۰ گرم قرار داده شد. بچه‌ماهیان به مدت سی روز، برای ارزیابی اثرات افزودن میکروپلاستیک در غذا به صورت انکپسوله، در سه تیمار و یک گروه شاهد قرار گرفتند. زیست‌سنجی ماهیان در پایان دوره انجام شد و شاخص‌های رشد شامل وزن و درازای نهایی، نرخ رشد ویژه (SGR)، درصد افزایش وزن بدن (BWI)، ضریب چاقی (CF)، نرخ رشد روزانه (ADG) ضریب تبدیل غذایی (FCR) و درصد بازماندگی (SR) محاسبه شد. بنابر نتایج مطالعه حاضر، میکروپلاستیک پلی‌اتیلن با چگالی بالا، باعث کم شدن اشتها و کاهش میل به غذا شد. همچنین بر روی شاخص‌های رشد شامل میانگین وزن نهایی، درصد افزایش وزن، رشد روزانه، نرخ رشد ویژه اثرات مخربی داشت و بر ضریب تبدیل غذایی نیز تاثیر منفی گذاشت و با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P<0/05$). وجود این ذرات در غذا از بابت ایجاد سیری کاذب در ماهیان، منجر به عدم غذا خوردن با افزایش غلظت میکروپلاستیک در جیره شد. وجود میکروپلاستیک در غذا با غلظت‌های ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جیره باعث کاهش رشد ماهیان شد و هضم و جذب غذا را کم کرد و بر بچه‌ماهیان ازون‌برون اثر سوء از جمله لاغری و عدم رشد مناسب داشت.

واژگان کلیدی: *رشد، میکروپلاستیک، پلی‌اتیلن، HDPE*، Acipenser stellatus.

۱- استاد گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
۲- دکتری بوم‌شناسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.
۳- دانشجوی پسادکتری، دانشکده مهندسی هیدرولیک و محیط زیست، دانشگاه China Three Gorges University، ییچانگ، چین.
۴- دانشیار موسسه تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
* نویسنده مسئول: msattari647@gmail.com

مقدمه

میکروپلاستیک‌ها به لحاظ فراوانی و دوام در طبیعت توجه زیادی را به خود جلب کرده اند (Yukioka et al., 2020). پلاستیک‌ها از پلیمرهای مختلفی تشکیل شده‌اند و با توجه به ترکیبات، وزن مخصوص و شکل، به صورت شناور سطح آب، شناور خنثی و غوطه‌ور وجود دارند (Lusher et al., 2013). با در نظر گرفتن ورود پیوسته اقلام پلاستیکی و تجزیه‌ناپذیری بقایای آنها، مقادیر میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آبی به طور مستمر در حال افزایش است (Barnes et al., 2009). میکروپلاستیک‌ها تقریبا در همه انواع زیستگاه‌های آبی توزیع شده‌اند و این موضوع، آنها را در دسترس طیف وسیعی از موجودات آبزی از جمله ماهیان قرار می‌دهد. این ذرات به دلیل شناور بودن در محیط آب شباهت زیادی به غذا دارند و این شباهت منجر به بلعیده شدن این ذرات توسط ماهیان می‌شود. در دستگاه گوارش بسیاری از ماهیان نمونه‌برداری شده‌ای که ظاهر لاغری داشتند ذرات میکروپلاستیک مشاهده شد (Baldwin et al., 2016; Lusher et al., 2016; Dai et al., 2018). آنها به دلیل اندازه کوچک و شباهت به مواد غذایی طبیعی به طور تصادفی یا به اشتباه توسط ماهیان مصرف می‌شوند. بلعیدن میکروپلاستیک‌ها می‌تواند اثرات متعددی روی هضم و جذب غذا و رشد ماهی ایجاد کند. میکروپلاستیک‌ها ضریب تبدیل غذایی را کاهش می‌دهند و منجر به لاغری و کاهش رشد در ماهیان می‌شوند (Wright and Kelly, 2017). پس از بلع، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند در دستگاه گوارش ماهی جمع شوند و باعث انسداد در سراسر دستگاه گوارش و باعث سیری کاذب در ماهیان شوند که این خود منجر به کاهش تغذیه می‌شود (Lusher et al., 2013). همچنین خوردن میکروپلاستیک-ها می‌تواند منجر به مشکلات ساختاری و عملکردی دستگاه گوارش شود که به نوبه خود بر تغذیه و رشد تاثیرگذار است (Jabeen et al., 2017). علاوه بر این، ذرات پلاستیکی بسیار ریز قادر هستند به اندام‌های دیگر ماهی مانند کبد و روده منتقل شوند و به این اندام‌ها آسیب برسانند که این آسیب‌ها نیز می‌توانند بر میزان جذب غذا تاثیر منفی داشته باشند (Lu et al., 2016). پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌استر و پلی‌استایرن به عنوان بیشترین پلیمرهای تولید شده در جهان اغلب

در دستگاه گوارش ماهیان وجود دارند (Plastics Europe, 2018). پلی‌اتیلن از فراوان‌ترین پلیمرها است که حجم بالایی از تولید پلاستیک در جهان را تشکیل می‌دهد (Plastics Europe, 2019) و اولین پلیمر تشکیل دهنده زباله‌های پلاستیکی، لوله‌ها و مخازن ژئوممبران و شلنگ‌های انتقال آب هستند که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. میکروپلاستیک‌های با چگالی بالا مانند پلی‌اتیلن در آب فرو می‌روند. میکروپلاستیک‌های متشکل از پلی‌اتیلن باعث جلوگیری از تفریخ تخم‌ها می‌شوند و خوردن آن‌ها توسط نوزاد ماهیان باعث کاهش رشد و تغییر تمایل غذایی بچه‌ماهیان می‌شود (Lonnstedt and Eklov, 2016). میکروپلاستیک‌ها به طور نامحسوس می‌توانند بر افزایش هزینه‌های تولید در مزارع پرورش ماهی تاثیرگذار باشند. به این نحو که از طرفی مصرف غذا کاهش پیدا می‌کند و این باعث هدر رفتن غذا می‌شود و از طرف دیگر باعث افزایش دفع در ماهیان می‌شود (Lu et al., 2022). غلظت میکروپلاستیک‌ها و ویژگی‌های ظاهری آنها نیز بر انتخاب‌پذیری تغذیه ماهیان تاثیرگذار است. در بیشتر مطالعات شواهد بلع میکروپلاستیک توسط ماهی از تجزیه و تحلیل دستگاه گوارش ماهی به دست آمده است (Lusher et al., 2013; Lu et al., 2022; Rasta et al., 2023) با این وجود، دانش در مورد تاثیر آنها بر شاخص‌های رشد ماهی محدود است (Hamed et al., 2021). بنابراین بررسی وجود میکروپلاستیک‌ها و تاثیرات آنها بر شاخص‌های رشد و ضریب تبدیل غذایی برای کاهش هزینه غذا، ضروری است که می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای ارزیابی توان بالقوه خطرات احتمالی میکروپلاستیک‌ها برای ایمنی آبزیان ارائه دهد.

در بین ماهیان دریای خزر، تاس‌ماهیان از مهم‌ترین ماهیانی هستند که در دریای خزر زیست می‌کنند. این ماهیان از نظر اقتصادی و غذایی، گوشت و از نظر استحصال خاویار از اهمیت خاصی برخوردار هستند. روند کاهش ذخایر موجود تاس‌ماهیان دریای خزر به دلایل مختلف از جمله تخریب رودخانه‌ها و تکثیر طبیعی این ماهیان، ورود بیش از اندازه آلاینده‌ها به دریا و صید بدون نظارت همچنان ادامه دارد. کلیه گونه‌های ماهیان خاویاری که محل زندگی آنها در دریای خزر و حوضه آبریز اطراف آن است، در فهرست ماهیان در معرض خطر سازمان IUCN قرار دارند (Bai et al., 2024). دریای خزر از مهم‌ترین حوضه‌های آبی

است که زیستگاه طبیعی ۵ گونه از تاس‌ماهیان به شمار می‌آید و در این پژوهش بچه‌ماهی ازون‌برون (*Acipenser stellatus*) بررسی شد. این ماهیان بعد از رسیدگی به سن بلوغ برای تخم‌ریزی از دریا به سمت آب‌های شیرین رودخانه مهاجرت می‌کنند و طی این مدت ممکن است در معرض آلودگی‌های شهری و صنعتی قرار گیرند. وجود مواد پلاستیکی بویژه میکروپلاستیک‌ها از خطرات بزرگ زیستی ماهیان بویژه ماهیان با ارزش خاویاری است. مطالعات گذشته حضور میکروپلاستیک‌ها را در دستگاه گوارش ماهیان خاویاری دریای خزر نشان داده است (Rasta et al., 2023). گونه‌های پرورشی عمده در مراکز پرورشی شامل فیل‌ماهی (*Huso huso*)، تاس‌ماهی ایرانی (*Acipenser persicus*)، شیپ (*Acipenser nudiventris*) و ازون‌برون هستند. با توجه به تایید بازار جهانی، خاویار ایران از بهترین نمونه‌های خاویار در جهان است (Alimohammadi et al., 2024). پرورش ماهیان خاویاری و مراقبت‌های ویژه از آن یکی از صنایع تولیدی پررونق و سودآور در زمینه آبزی‌پروری در کشور است (Alimohammadi et al., 2024). بنابراین برای جلوگیری از انقراض و کاهش نسل این ماهیان با ارزش شیلاتی نیاز به مطالعات بنیادی و کاربردی در این زمینه است. این مطالعه با هدف تعیین اثرات میکروپلاستیک بر بچه‌ماهیان ازون‌برون که از گونه‌های با ارزش شیلاتی هستند، انجام شد. مطالعه حاضر به عنوان اولین مطالعه از بررسی اثرات میکروپلاستیک بر شاخص‌های رشد و بازماندگی و ضریب تبدیل غذایی بچه‌ماهی ازون‌برون است که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای مطالعات بعدی فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در انستیتو تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری (رشت) و با استفاده از ۱۲ مخزن، به ظرفیت ۲۰۰ لیتر برای مدت یک ماه برای ارزیابی اثرات مزمن با اضافه کردن میکروپلاستیک در جیره بچه‌ماهیان ازون‌برون (*Acipenser stellatus*) به صورت انکپسوله انجام شد. بچه‌ماهیان ابتدا به مدت دو هفته با جیره پایه (۲۱ بیضا، ایران؛ جدول ۱) تغذیه و سازگار شدند. در این پژوهش، سه تیمار آزمایشی و یک گروه شاهد با سه تکرار برای هر تیمار در نظر گرفته شد. به هر مخزن

۱۰ قطعه بچه‌ماهی ازون‌برون با میانگین وزنی ۱۸ تا ۲۰ گرم معرفی شد.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی و مشخصات جیره پایه

فرم خوراک	اندازه (mm)	پروتئین خام (٪)	چربی خام (٪)	فیبر خام (٪)	خاکستر (٪)	رطوبت (٪)	فسفر (٪)
فرورونده	۱/۵	۵۰-۵۴	۱۲-۱۴	۱-۳	۷-۱۱	۶-۱۱	۱-۲

غذادهی به صورت فرموله و تا حد سیری، در سه نوبت صورت گرفت. طی انجام این مطالعه، ماهیان به لحاظ شرایط محیطی، در وضعیت مشابهی قرار گرفتند. فراسنجه‌های کیفی آب شامل دما، اکسیژن و pH هر روز با استفاده از دستگاه‌های دماسنج دیجیتال (RS، چین)، اکسیژن‌متر پرتابل (Citycell، چین) و pHسنج پرتابل (pH-686، ATC، چین) اندازه‌گیری شدند (Lei et al., 2018). همچنین در طی دوره آزمایش، آب ورودی به مخازن ماهی با استفاده از پرتوی فرابنفش (یک مخزن بزرگ به عنوان آب ذخیره) سترون شد تا هیچ آلودگی در آب ورودی به مخازن وجود نداشته باشد (Jabeen et al., 2017). ماهی‌ها پس از دو هفته سازگاری با شرایط جدید و تغذیه با جیره پایه به صورت تصادفی در مخازن قرار گرفتند. هوادهی در مخازن توسط یک دستگاه پمپ مرکزی انجام شد، به طوری که تمام مخازن با کمترین آشفتگی هوادهی شدند.

گروه‌های آزمایش شامل گروه شاهد تغذیه شده با جیره پایه و فاقد میکروپلاستیک پلی‌اتیلن و تیمارهای تغذیه شده با جیره پایه حاوی ۱ (تیمار اول)، ۱۰ (تیمار دوم) و ۱۰۰ (تیمار سوم) میلی‌گرم میکروپلاستیک پلی-اتیلن در کیلوگرم جیره بودند (Hamed et al.,2021).

در این مطالعه از پلیمر پلی‌اتیلن با چگالی بالا استفاده شد. نوع پلیمری اقلام پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن ۱۰۰ درصد (Sigma-Aldrich، آمریکا) به صورت پودری تهیه شد. اندازه تمام ذرات پلاستیک بین ۳۴ تا ۵۰ میکرومتر بود (شکل ۱).

میکروپلاستیک صناعی امولسیونی، بر روی جیره افشانه شد. برای فرآیند ریزپوشانی (ان‌کپسوله کردن)، ۳۰ گرم مالتودکسترین و ۱۰ گرم صمغ عربی با ۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر

مخلوط و دمای آب به ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد و به مدت ۵ دقیقه توسط هوموژنایزر با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به طور کامل همگن شد. سپس مواد به دست آمده به مدت یک روز در بن‌ماری با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای هیدراته شدن نگهداری شد.

Product Specification

Product Name:
Polyethylene - Ultra-high molecular weight, surface-modified, powder, 34-50 µm particle size

Product Number:	**434272**
CAS Number:	9002-88-4
MDL:	MFCD00084423
Formula:	C2H4

TEST	Specification
Appearance (Color)	White
Appearance (Form)	Powder
Fine Powder	
Infrared spectrum	Conforms to Structure
Particle Size	34 - 50 micron
(D50)	

شکل ۱: مشخصات پلی‌اتیلن به کار رفته در مطالعه حاضر

در مرحله بعد، مخلوط میکروپلاستیک و غذا با مواد دیواره‌ای به مدت ۳۰ دقیقه مخلوط شد و سپس به فریز درایر منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آن نگهداری شد. در ادامه ماده متخلخل به دست آمده برای هر یک از تیمارها در هاون چینی ریز شد. سپس در ظروف استریل برای ادامه آزمایش نگه داشته شد (Ashouri et al., 2015). اثرات میکروپلاستیک به منظور ارزیابی اثرات آن به صورت مخلوط با غذا به مدت ۳۰ روز آزمایش شد. طی این مدت هوادهی به همراه تعویض آب روزانه انجام شد.

برای زیست‌سنجی ماهیان در پایان دوره، پس از گرسنه نگه داشتن ۲۴ ساعتی ماهیان، وزن با دقت ۰/۱ گرم و درازای کل با دقت ۱ میلی‌متر به صورت انفرادی اندازه‌گیری شد. ماهیان قبل از زیست‌سنجی با پودر گل میخک

با غلظت ۱۲۰-۵۰ میلی‌گرم در لیتر بیهوش شدند (Shapawi et al., 2007).

بر اساس زیست‌سنجی‌های انجام شده و با در نظر گرفتن اطلاعات به دست آمده از درازا و وزن ماهیان و زمان دوره آزمایش و تشکیل بانک اطلاعاتی و محاسبات آماری شاخص‌های رشد شامل افزایش درازا (LG)، افزایش وزن (WG)، نرخ رشد ویژه (SGR)، میانگین رشد روزانه (ADG)، درصد افزایش وزن بدن (BWI)، شاخص وضعیت یا ضریب چاقی (CF)، درصد بازماندگی (SR) و ضریب تبدیل غذایی (FCR) از رابطه‌های ۱ تا ۷ محاسبه و نسبت به گروه شاهد مقایسه شد (Shapawi et al., 2007).

رابطه ۱:

$$WG\ (g) = W_f - W_i$$

W_i: وزن اولیه (گرم)؛ W_f: وزن نهایی (گرم).

رابطه ۲:

$$SGR\ (\%/day) = [(\ln W_f - \ln W_i) / t] \times 100$$

W_i: وزن اولیه (گرم)؛ W_f: وزن نهایی (گرم)؛ t: طول دوره پرورش (روز).

رابطه ۳:

$$ADG\ (g/day) = (W_f - W_i) / t$$

W_i: وزن اولیه (گرم)؛ W_f: وزن نهایی (گرم)؛ t: طول دوره پرورش (روز).

رابطه ۴:

$$BWI\ (\%) = [(W_f - W_i) / W_i] \times 100$$

W_i: وزن اولیه (گرم)؛ W_f: وزن نهایی (گرم).

رابطه ۵:

$$CF = (W / L^3) \times 100$$

W: وزن ماهی (گرم)؛ L: درازای کل (سانتی‌متر).

رابطه ۶:

$$SR\ (\%) = (N_i / N_f) \times 100$$

N_i: تعداد ماهیان در ابتدای آزمایش؛ N_f: تعداد ماهیان در انتهای آزمایش.

رابطه ۷:

$$FCR = F / (WG)$$

F: غذای مصرف شده (گرم)؛ WG: افزایش وزن (گرم).

تجزیه و تحلیل آماری

در این مطالعه از طرح کاملا تصادفی با تشکیل ۴ گروه و هر گروه با ۳ تکرار استفاده شد. توزیع نرمال داده‌ها در گروه‌ها و تکرارها برای متغیرهای رشد با آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. برای مقایسه آماری از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و پس از انجام آزمون Test of Homogeneity of Variances برای مقایسه گروه‌ها با یکدیگر از پس‌آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P<0/05$) استفاده شد.

کلیه بررسی‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

نتایج

وزن اولیه

با توجه به وزن‌کشی اولیه ماهیان و انتخاب ماهیان با وزن اولیه بین ۱۸ تا ۲۰ گرم، داده‌های اولیه عادی بود. پس از بررسی آماری، هنگام مقایسه میانگین وزن اولیه بچه ماهیان، در بین تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵؛ جدول ۲).

جدول ۲: شاخص‌های رشد بچه‌ماهیان ازون‌برون در تیمارهای مختلف میکروپلاستیک پلی‌اتیلن با چگالی بالا (میانگین ± خطای استاندارد)

شاخص	شاهد	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳
وزن اولیه (g)	۱۹/۹۳±۰/۳۲ a	۱۹/۸۶±۰/۳۱ a	۲۰/۱۴±۰/۲۶ a	۲۰/۴۵±۰/۱۶ a
وزن نهایی (g)	۴۷/۸۶±۱/۲۳ a	۴۱/۳۷±۰/۷۱ b	۴۵/۴۵±۱/۲۸ ab	۴۴/۴۹±۱/۹۵ ab
درازای کل اولیه (cm)	۲۱/۵۸±۰/۲۳ a	۲۱/۵۴±۰/۱۸ a	۲۲/۱۲±۰/۱۳ a	۲۱/۹۷±۰/۱۱ a
درازای کل نهایی (cm)	۲۸/۳۷±۰/۶۱ a	۲۶/۹۰±۰/۴۷ a	۲۷/۹۱±۰/۳۱ a	۲۶/۸۶±۰/۹۸ a
زی‌توده اولیه (g)	۱۹۹/۳۳±۳/۱۶ a	۱۹۸/۶۳±۳/۱۵ a	۲۰۱/۳۳±۲/۶۴ a	۲۰۴/۵۳±۱/۶۳ a
زی‌توده نهایی (g)	۴۷۸/۶۷±۱۲/۳۲ a	۴۱۳/۷۰±۷/۰۵ b	۴۵۴/۵۰±۱۲/۸۰ ab	۴۴۴/۷۷±۱۹/۵۳ ab
تولید (g)	۲۷۹/۳۳±۹/۲۶ a	۲۱۵/۰۷±۹/۴۲ b	۲۵۳/۱۷±۱۲/۱۹ ab	۲۴۰/۲۳±۱۹/۸۶ ab
CF (g/cm^3)	۰/۲۱±۰/۰۰۹ a	۰/۲۱±۰/۰۰۲ a	۰/۲۰±۰/۰۰۳ a	۰/۲۳±۰/۰۲۰ a
WG (g)	۲۷/۹۳±۰/۹۳ a	۲۱/۵۱±۰/۹۴ b	۲۵/۳۱±۱/۲۲ ab	۲۴/۰۲±۱/۹۹ ab
FCR	۱/۵۵±۰/۰۴ b	۲/۰۲±۰/۰۹ a	۱/۷۲±۰/۰۸ ab	۱/۸۲±۰/۰۲ ab
BWI (٪)	۱۴۰/۰۷±۲/۵۶ a	۱۰۸/۴۵±۶/۲۶ b	۱۲۵/۷۶±۶/۱۵ ab	۱۱۷/۵۱±۹/۹۰ ab
SGR (٪/day)	۲/۹۲±۰/۰۴ a	۲/۴۵±۰/۱۰ b	۲/۷۱±۰/۰۹ ab	۲/۵۸±۰/۱۵ ab
ADG (g/day)	۴/۶۷±۰/۰۹ a	۳/۶۲±۰/۲۱ b	۴/۱۹±۰/۲۱ ab	۳/۹۲±۰/۳۳ ab

تیمار ۱: ۱mg/kg میکروپلاستیک؛ تیمار ۲: ۱۰mg/kg میکروپلاستیک؛ تیمار ۳: ۱۰۰mg/kg میکروپلاستیک؛ CF: ضریب چاقی؛ FCR: ضریب تبدیل غذایی؛ BWI: درصد افزایش وزن؛ SGR: نرخ رشد ویژه؛ ADG: نرخ رشد روزانه؛ WG: افزایش وزن ماهی. در هر ردیف، حروف لاتین غیرهم‌نام نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری است (P<۰/۰۵).

وزن نهایی

مقایسه میانگین وزن نهایی بچه‌ماهیان در تیمارهای آزمایشی و شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۵). به این ترتیب که میانگین وزن نهایی در گروه شاهد به طور معنی‌داری بیش از دیگر تیمارها بود و کمترین میزان وزن در تیمار ۱ مشاهده شد (جدول ۲).

درازای اولیه

در رابطه با درازای اولیه، از آنجایی که ماهیان با شرایط مشابهی نسبت به هم انتخاب شدند، در هنگام مقایسه میانگین درازای اولیه بچه‌ماهیان در بین تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵؛ جدول ۲).

درازای نهایی

به منظور مقایسه میانگین درازای نهایی بچه‌ماهیان ازون‌برون در انتهای دوره پرورش و در روز سی‌ام، درازای نهایی ماهیان بررسی و اندازه‌گیری شد و در بین تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵؛ جدول ۲).

افزایش وزن ماهی

نتایج به دست آمده از مقایسه افزایش وزن ماهی (WG) بچه‌ماهیان ازون‌برون در تیمارها و شاهد، اختلاف معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۵). به این ترتیب که افزایش وزن ماهی در گروه شاهد به طور معنی‌داری بیش از دیگر تیمارها بود (جدول ۲).

شاخص وضعیت یا ضریب چاقی

در انتهای دوره با توجه به وزن نهایی و درازای نهایی ماهیان، شاخص وضعیت یا ضریب چاقی مورد ارزیابی قرار گرفت و در مقایسه این شاخص در بین بچه‌ماهیان تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (P>۰/۰۵؛ جدول ۲).

ضریب تبدیل غذایی

در پایان دوره آزمایش با مقایسه ضریب تبدیل غذایی (FCR) بچه‌ماهیان بین تیمارها و شاهد، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵). نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ضریب تبدیل غذایی در گروه شاهد عملکرد بهتری در قیاس با تیمارهای دیگر داشت و به طور معنی‌داری نسبت به دیگر تیمارها کمتر بود (جدول ۲).

درصد افزایش وزن

مقایسه درصد افزایش وزن بچه‌ماهیان ازون‌برون بین تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۵). به این ترتیب که میزان افزایش وزن در گروه شاهد به طور معنی‌داری بیش از دیگر تیمارها بود (جدول ۲).

نرخ رشد روزانه

در مقایسه رشد روزانه (ADG) بچه‌ماهیان بین تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵). نرخ رشد روزانه در گروه شاهد به طور معنی‌داری بیش از دیگر تیمارها بود (جدول ۲).

نرخ رشد ویژه

مقایسه نرخ رشد ویژه (SGR) بچه‌ماهیان بین تیمارها و گروه شاهد، اختلاف معنی‌داری را نشان داد (P<۰/۰۵) و در گروه شاهد به طور معنی‌داری بیش از دیگر تیمارها بود (جدول ۲).

درصد بازماندگی

در بررسی میزان بازماندگی (SR) پس از سی روز تغذیه با غذای حاوی میکروپلاستیک پلی‌اتیلن با چگالی بالا (HDPE) هیچ تلفاتی در تیمارهای ۱، ۱۰، ۱۰۰ میلی‌گرم میکروپلاستیک در کیلوگرم غذا، مشاهده نشد.

بحث

در ارتباط با میکروپلاستیک‌ها در جهان پژوهش‌های زیادی انجام شده که هر کدام جنبه خاصی را بررسی کرده‌اند. با این وجود، پژوهش‌های انجام شده در مورد اثرات این ذرات در محیط‌های آزمایشگاهی بر ماهیان به ندرت انجام شده و بسیار محدود است. در رابطه با اثرات میکروپلاستیک پلی‌اتیلن با چگالی بالا بر شاخص‌های رشد بچه‌ماهیان ازون برون تا کنون مطالعه‌ای صورت نگرفته است. از آنجا که ماهیان به طور گسترده در طول دوره پرورش و همچنین در سیستم‌های پرورشی در معرض این ذرات قرار می‌گیرند و از طرف دیگر در محیط‌های آبی طبیعی این ذرات از طریق وارد شدن فاضلاب‌های شهری و صنعتی و غیره به فراوانی یافت می‌شوند، لازم شد مطالعه‌ای در رابطه با اثرات این ماده بر گونه بچه‌ماهیان ازون‌برون که از ماهیان با ارزش شیلاتی است انجام شود.

بر اساس نتایجی که از آزمایش‌ها به دست آمد، وجود میکروپلاستیک در جیره بچه‌ماهیان

ازون‌برون اثرات متفاوتی بر رشد داشت. برای مثال در مقایسه میانگین وزن نهایی بچه‌ماهیان ازون‌برون بین تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و میانگین وزن نهایی در گروه شاهد به طور معنی‌داری بیشتر از دیگر تیمارها بود. به نظر می‌رسد که وجود میکروپلاستیک در غذا باعث کاهش اشتها و کاهش میل به غذا شد و از این رو میانگین وزن نهایی در گروه شاهد بیشتر از تیمارهای دیگر بود (Mbugani et al., 2022). در مطالعه‌ای دیگر که روی ماهی آنچوی شمالی (*Engraulis mordax*) انجام شد، نتایج مشابهی ثبت شد و وجود میکروپلاستیک در غذا باعث کاهش تمایل ماهی به تغذیه و خوردن غذا شد (Kelly, 2022). بنابراین و با توجه به میانگین وزن نهایی، درصد افزایش وزن بچه‌ماهیان در تیمار-ها و شاهد اختلاف معنی‌دار آماری ثبت شد و میزان درصد افزایش وزن ماهیان در گروه شاهد به شکل معنی‌داری بیش از دیگر تیمارها بود. این به این معنا است که گروه شاهد بیشترین رشد و افزایش وزن را نسبت به تیمارهای دیگر داشت. همچنین، در مقایسه رشد روزانه (ADG) بچه‌ماهیان بین تیمارها و شاهد اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد و میانگین رشد روزانه در گروه شاهد به شکل معنی‌داری بیش از دیگر تیمارها بود. در مطالعه‌ای که بر روی بچه‌ماهیان تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) به انجام رسید نیز وجود میکروپلاستیک در غذا منجر به کاهش رشد روزانه شد که مطابق با مطالعه حاضر بود و بیانگر اثرات منفی میکروپلاستیک بر میزان افزایش وزن ماهی است (Hamed et al., 2022). در نرخ رشد ویژه (SGR) بچه-ماهیان بین تیمارها و شاهد نیز اختلاف معنی-داری مشاهده شد و نرخ رشد ویژه در گروه شاهد به شکل معنی‌داری بیش از تیمارهای دیگر بود. همچنین از نظر افزایش وزن (WG) بچه‌ماهیان بین تیمارها و شاهد نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و افزایش وزن ماهی در گروه شاهد به شکل معنی‌داری بیش از تیمارهای دیگر بود. اثرات مزمن قرار گرفتن در معرض میکروپلاستیک پلی‌اتیلن با چگالی بالا در تغذیه و متابولیسم مواد مغذی سوف زرد جوان (*Perca flavescens*) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آنها نشان داد که کاهش کیفیت تغذیه کامل ماهی، تغییر متابولیسم مواد مغذی و همچنین تغییرات جامعه میکروبی در دستگاه گوارش سوف زرد از عوارض میکروپلاستیک بود (Lu et al., 2022). اما وجود میکروپلاستیک پلی‌اتیلن با چگالی بالا بر روی

میانگین درازای نهایی بچه‌ماهیان بین تیمارها و شاهد تاثیری نداشت و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در مطالعه‌ای، ماهی گورخری (*Danio rerio*) را به مدت ۷ روز در معرض دانه‌های میکروپلاستیک پلی‌استایرن با ابعاد ۲ میکرومتر قرار دادند و حرکات ناشی از استرس و کاهش تغذیه را در این ماهیان ثبت کردند (Zhang et al., 2023). در مقایسه ضریب تبدیل غذایی (FCR) بچه‌ماهیان *Megalobrama amblycephala* بین تیمار-ها و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و میانگین ضریب تبدیل غذایی (FCR) در گروه شاهد عملکرد بهتری را نشان داد (Zhang et al., 2020). به نظر می‌رسد که وجود میکروپلاستیک در غذا باعث کاهش هضم و جذب غذا شد و به همین خاطر در گروه شاهد بیشترین میزان افزایش وزن نسبت به غذای مصرفی مشاهده شد. اما وجود میکروپلاستیک پلی‌اتیلن با چگالی بالا بر روی میانگین ضریب چاقی بچه‌ماهیان در بین تیمارها و شاهد تاثیری نداشت و اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در پژوهشی یک هفته‌ای میکروپلاستیک در دستگاه گوارش بچه‌ماهیان پلانکتون‌خوار (*Acanthochromis polyacanthus*) بررسی و بیان شد که میکروپلاستیک‌ها رشد ماهی را کم و سلامت ماهیان را در کوتاه‌مدت و بلندمدت به خطر انداختند (Ansari et al., 2021). در پژوهش Mbugani و همکاران (۲۰۲۲) لارو تیلاپیای وامی (*Oreochromis urolepis*) در معرض ذرات میکروپلاستیک پلی‌اتیلن در غلظت‌های میکروپلاستیکی که در مطالعات از اقیانوس‌ها ثبت شده بود، قرار گرفتند و اعلام شد که لاروها رشد بسیار کندتری نسبت به گروه شاهد داشتند.

در مجموع، با افزایش میکروپلاستیک پلی‌اتیلن با چگالی بالا (HDPE) در غذا طی مدت ۳۰ روز و با غذادهی تا حد سیری، هیچ تلفاتی در بچه ماهیان ازون‌برون مشاهده نشد. با این حال، وجود این ذرات با افزایش غلظت در جیره، انواع شاخص‌های رشد را در بچه-ماهیان ازون‌برون با وزن اولیه ۱۸ تا ۲۰ گرم، تحت تاثیر قرار داد و روی میزان مصرف و میل به غذا اثر سوء داشت. بنابراین پیشنهاد می‌شود با توجه به تاثیرات سوء میکروپلاستیک بر شاخص‌های رشد، برای کاهش هزینه‌های اضافی غذا و افزایش رشد ماهیان در تاسیسات پرورشی، با پالایش مناسب جلوی ورود این ذرات به داخل کارگاه‌های پرورشی گرفته شود. برای رسیدن به این هدف، در کارخانه‌های

تولیدی، تولید پلاستیک‌ها با اجرای اقداماتی باید کاهش یابد. همچنین برای مطالعات آینده، اثرات دیگر میکروپلاستیک‌ها بر ماهیان دیگر، اثر میکروپلاستیک‌ها بر محیط‌زیست و تاثیر آنها بر روند زیستی ماهیان، بزرگنمایی در زنجیره غذایی و همچنین پیامدهای سلامتی و مالی قرار گرفتن در معرض آنها باید به صورت علمی بررسی شود. برای کاهش تقاضا، باید اقدامات لازم از جمله ممنوعیت استفاده از کیسه‌های پلاستیکی و اجبار زیست‌محیطی استفاده از محصولات جایگزین ساخته شده از مواد طبیعی صورت گیرد.

منابع

Alimohammadi S., Mehrdoost Shahrestani K. and Yousefi Jourdehi A. 2024. Identification and ranking of the harmful factors to the Iranian caviar brand. Iranian Scientific Fisheries Journal, 33(1): 99–107. doi: 10.22092/ISFJ.2024.131 382

Ansari I., Maiti D., Sundararajan M. and Ashar M. 2021. Anthropogenic exposure and its impact on reproductive system of fishes. P: 323–334. In: Sundaray J.K., Rather M.A., Kumar S. and Agarwal D. (Eds.). Recent Updates in Molecular Endocrinology and Reproductive Physiology of Fish- An Imperative Step in Aquaculture. Springer, Singapore. doi: 10.1007/978-981-15-8369-8_20

Ashouri S., Keyvanshokooh S., Salati A.P., Johari S.A. and Pasha-Zanoosi H. 2015. Effects of different levels of dietary selenium nanoparticles on growth performance, muscle composition, blood biochemical profiles and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). Aquaculture, 446: 25–29. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.04.021

Bai C., Wang Z., Yu J., Wang J., Qiu L., Chai Y. and Liao T. 2024. Effects of transport densities on the physiological and biochemical characteristics of sturgeon (*Acipenser baerii*♀ × *A. schrenckii*♂). Aquaculture, 586: 740832. doi: 10.1016/j.aquaculture.2024.740832

Baldwin A.K., Corsi S.R. and Mason S.A. 2016. Plastic debris in 29 Great Lakes tributaries: Relations to watershed attributes and hydrology. Environmental Science and Technology, 50(19): 10377–10385. doi: 10.1021/acs.est.6b02917

Barnes D.K., Galgani F., Thompson R.C. and Barlaz M. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philosophical Transactions of the Royal Society (B), 364(1526): 1985–1998. doi: 10.1098/rstb.2008.0205

Dai Z., Zhang H., Zhou Q., Tian Y., Chen T., Tu C., Fu C. and Luo Y. 2018. Occurrence of microplastics in the water column and sediment in an inland sea affected by intensive anthropogenic activities. Environmental Pollution, 242: 1557–1565. doi: 10.1016/j.envpol.2018.07.131

Hamed M., Soliman H.A., Badrey A.E. and Osman A.G. 2021. Microplastics induced histopathological lesions in some tissues of tilapia (*Oreochromis niloticus*) early juveniles. Tissue and Cell,

71: 1–9 (101512). doi: 10.1016/j. tice.2021.101512

Jabeen K., Su L., Li J., Yang D., Tong C., Mu J. and Shi H. 2017. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. Environmental Pollution, 221: 141–149. doi: 10.1016/j.envpol. 2016.11.055

Kelly M. 2022. Testing the olfactory attraction and physiological impact of microplastics on juvenile *Seriola lalandi* (yellowtail kingfish). Ph.D. Thesis, University of Otago, New Zealand. 91P.

Lei L., Wu S., Lu S., Liu M., Song Y., Fu Z., Shi H., Raley-Susman K.M. and He D. 2018. Micro-plastic particles cause intestinal damage and other adverse effects in zebrafish *Danio rerio* and nematode *Caenorhabditis elegans*. Science of the Total Environment, 619: 1–8. doi: 10.1016/j.scitotenv. 2017.11.103

Lonnstedt O.M. and Eklov P. 2016. Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology. Science, 352(6290): 1213–1216. doi: 10.1126/science.aad 8828

Lu X., Deng D.F., Huang F., Casu F., Kraco E., Newton R.J.,

Zohn M., Teh S.J., Watson A.M., Shepherd B., Ma Y., Dawood M.A.O. and Mendoza L.M.R. 2022. Chronic exposure to high-density polyethylene microplastic through feeding alters the nutrient metabolism of juvenile yellow perch (*Perca flavescens*). Animal Nutrition, 9: 143–158. doi: 10.1016/ j.aninu.2022.01.007

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 (*Danio rerio*) and toxic effects in liver. Environmental Science and Technology, 50(7): 4054–4060. doi: 10.1021/acs.est.6b00183

Lusher A.L., Mchugh M. and Thompson R.C. 2013. Occurrence of microplastics in the gastro-intestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. Marine Pollution Bulletin, 67(1-2): 94–99. doi: 10.10 16/j.marpolbul.2012.11.028

Lusher A.L., O'Donnell C., Officer R. and O'Connor I. 2016. Microplastic interactions with North Atlantic mesopelagic fish. ICES Journal of Marine Science, 73(4): 1214–1225. doi: 10.1093/ices jms/fsv241

Mbugani J., Machiwa J., Shilla D. and Joseph F. 2022. Impaired growth performance of Wami tilapia juveniles (*Oreochromis urolepis* Norman, 1922) due to microplastic induced degeneration of the small intestine.

Microplastics, 1(3): 334–345. doi: 10.3390/microplastics1030025

Plastics Europe. 2018. Plastics- The Facts 2018: An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. Plastics Europe, Belgium. 60P.

Plastics Europe. 2019. Plastics- The Facts 2019: An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. Plastics Europe, Belgium. 42P.

Rasta M., Khodadoust A., Rahimibashar M., Taleshi M. and Sattari M. 2023. Microplastic pollution in the gastrointestinal tract and gills of some teleost and sturgeon fish from the Caspian Sea, Northern Iran. Environmental Toxicology and Chemistry, 42(11): 2453–2465. doi: 10.1002/etc.5725

Shapawi R., Ng W.K. and Mustafa S. 2007. Replacement of fish meal with poultry by-product meal in diets formulated for the humpback grouper, *Cromileptes altivelis*. Aquaculture, 273(1): 118–126. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.09.014

Wright S.L. and Kelly F.J. 2017. Plastic and human health: A micro issue? Environmental Science and Technology, 51(12): 6634–6647. doi: 10.1021/acs.est.7b00423

Yukioka S., Tanaka S., Nabetani Y., Suzuki Y., Ushijima T., Fujii S. Takada H., Van Tran Q. and Singh S. 2020. Occurrence and characteristics of microplastics in surface road dust in Kusatsu (Japan), Da Nang (Vietnam), and Kathmandu (Nepal). Environmental Pollution, 256: 1–35 (113447). doi: 10.1016/j.envpol. 2019.113447

Zhang W., Xia S., Zhu J., Miao L., Ren M., Lin Y. and Sun S. 2020. Growth performance, physiological response and histology changes of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* exposed to chronic ammonia. Aquaculture, 506: 424–436. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019. 03.072

Zhang Y., Chen C. and Chen K. 2023. Combined exposure to microplastics and amitriptyline induced abnormal behavioral responses and oxidative stress in the eyes of zebrafish (*Danio rerio*). Comparative Biochemistry and Physiology (C), 273: 109717. doi: 10.1016/j.cbpc.2023.109717

Aquatic Physiology and Biotechnology
Vol. 13, No. 1, Spring 2025

Research Paper

Effects of high-density polyethylene (HDPE) microplastic on growth indices in stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) fry

Masoud Sattari[1]*, Arash Jamshidi[2], Majid Rasta[3], Zabihollah Pazhand[4]

DOI: 10.22124/japb.2024.27770.1547
Received: July 2024 Accepted: August 2024

Abstract

Polyethylene is one of the most abundant microparticles that can be found everywhere. This research aims to investigate the effects of high-density polyethylene (HDPE) microplastics on the growth indices and food conversion ratio of fry stellate sturgeon, *Acipenser stellatus*. Twelve tanks, in each tank 10 stellate sturgeon fry were stocked with an average weight of 18-20g. For 30 days, to evaluate the effects of adding microplastics to the diet (encapsulated), fry were divided into three treatments and a control group. The biometric characteristics of the fish were performed at the end of the course and growth indices including final weight and length, specific growth rate (SGR), percent body weight gain (BWI), condition factor (CF), average daily growth (ADG), feed conversion ratio (FCR) and survival rate (SR) were assayed. According to the results of present research, high-density polyethylene microplastics caused a decrease in appetite and desire for diet. In addition, some adverse effects were observed on growth parameters including the average final weight, the percentage of weight gain, daily growth, specific growth rate and food conversion ratio with a significant difference compared to the control ($P<0.05$). The presence of microplastics in diet caused false satiety in the fish, leading to not eating with an increase in the doses of microplastics in the diet. The presence of microplastics in diet with doses of 1, 10 and 100 mg/kg of diet reduced the growth of fish and reduced diet digestion and absorption of food and had adverse effects on juvenile fish such as weight loss and lack of proper growth.

Key words: *Growth, Microplastic, Polyethylene, HDPE,* Acipenser stellatus.

1- Professor in Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, Iran.
2- Ph.D. in Fisheries Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, Iran.
3- Postdoc. Student, College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang, China.
4- Associate Professor in International Sturgeon Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran.
*Corresponding Author: msattari647@gmail.com