

# آلودگی ریزپلاستیک در ماهی کاراس *Carassius gibelio* ساکن تالاب انزلی

نادیا نصری<sup>۱</sup>، بهروز ابطحی<sup>۲\*</sup>، زهرا تقی‌زاده رحمت‌آبادی<sup>۱</sup>

۱- دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. تلفن: ۰۹۱۲۲۰۵۸۲۳۰ - Email: abtahi.b@gmail.com

## چکیده

ریزپلاستیک‌ها، ذرات پلاستیک به ابعاد ۱ میکرومتر تا ۵ میلی‌متر، آلاینده‌های محیطی نوظهوری هستند که منابع طبیعی و بدن موجودات زنده را آلوده کرده‌اند. نظر به ضرورت بررسی و مدیریت ریزپلاستیک‌ها برای حفظ سلامت عمومی و بوم‌سازگان‌ها، وجود ریزپلاستیک در دستگاه گوارش و آبشش ماهی کاراس *Carassius gibelio* تالاب انزلی بررسی گردید. تعداد ۱۵ نمونه ماهی کاراس از قسمت میانی تالاب انزلی در تاریخ ۷ مهرماه سال ۱۴۰۲ جمع‌آوری شد و در آزمایشگاه پس از طی مراحل استخراج، ریزپلاستیک‌ها با استفاده از استرئومیکروسکوپ مشاهده و ویژگی‌های کیفی و کمی آن‌ها ثبت و داده‌ها تجزیه و تحلیل آماری شد. نتایج نشان داد در آبشش و لوله گوارش ماهیان (متوسط وزن:  $14/02 \pm 181/85$  گرم  $\pm$  انحراف معیار) ریزپلاستیک‌هایی با حداکثر طول ۳۷۲۴ میکرومتر و غالباً به شکل قطعات نامنظم، سپس رشته‌ها و تعداد کمی هم ریزمهره‌ها و بیشتر به رنگ‌های سیاه و شفاف وجود دارند. در هر ماهی به‌طور متوسط ۹۲ ریزپلاستیک (تعداد ۰/۵۸ ریزپلاستیک در هر یک گرم وزن تر ماهی) مشاهده شد. یافته‌های این پژوهش با سایر تحقیقات انجام‌شده در دریای کاسپی و سواحل آن همسو بود. با توجه به اهمیت تغذیه‌ای این گونه برای ماهیان تجاری و نظر به مقادیر نسبتاً زیاد ریزپلاستیک مشاهده‌شده، انتقال تغذیه‌ای ریزپلاستیک‌ها به انسان و سطوح بالاتر تغذیه‌ای دریا محتمل است.

**کلیدواژه:** آبشش، آلاینده‌های نوظهور، دریای کاسپی، لوله گوارش

## مقدمه

پلاستیک یک اصطلاح کلی در معرفی خانواده‌ای از بسپارهای (پلیمرهای) آلی مشتق از منابع نفتی است که به یکی از مواد اجتناب‌ناپذیر در تمام جوانب زندگی انسان تبدیل شده است. در کلیه فرایندهای اکتشاف، بهره‌برداری، تولید، ساخت، فراوری، ذخیره‌سازی، انتقال و فروش تقریباً همه نیازمندی‌های بشر به ویژه محصولات غذایی، کالاهای پزشکی و سلامت‌محور، کالاهای الکترونیک، ابزارهای مکانیکی و غیره، پلاستیک جایگزین بسیاری از مواد دیگر شده است. این کاربری گسترده به دلیل تنوع بی‌نظیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پلاستیک است اما در نهایت، پس از پایان عمر مفید که می‌تواند چند دقیقه تا چند دهه باشد، پلاستیک‌ها دور انداخته می‌شوند. امروز شاهد آن هستیم که بخش بزرگی از پسماندهای شهری و صنعتی آلاینده محیط‌زیست خشکی و منابع آبی، انواع پلاستیک‌ها هستند. شواهد نشان داده حداقل ۱۰٪ تولید سالانه پلاستیک، در نهایت به اقیانوس‌ها ریخته می‌شوند (Avio et al., 2015).

در مورد برخی اقلام پلاستیکی، دوام و در مورد برخی دیگر، تخریب زود هنگام منجر به آلوده شدن بوم‌سازگان‌ها می‌شود. هنگامی که این آلاینده‌های پلاستیکی به محیط‌های آبی راه پیدا کنند، می‌توانند عمدتاً در اثر تجزیه نوری و مکانیکی به ذرات بسیار کوچک در ابعاد ریزپلاستیک، یعنی ۱ میکرومتر تا ۰/۵ میلی‌متر و حتی کوچک‌تر، در ابعاد نانوپلاستیک تبدیل شوند. ریزپلاستیک‌ها به‌طور کلی برای دوره‌های طولانی در محیط‌زیست ماندگارند و به راحتی تخریب نمی‌شوند. به‌واسطه سبکی و ابعاد کوچک و فراوانی فوق تصور، در تقریباً تمام مناطق و منابع حیاتی زیست انسان، در هوای آزاد و بارش‌های جو (Dong et al., 2024; 2021)؛ Bhat, 2024a and b; Nematollahi et al., 2022)؛ در آب‌های شیرین آشامیدنی انسان و دام، آب آبیاری مزارع و فاضلاب‌های شهری-صنعتی، استخرهای پرورش ماهی، ورودی و خروجی پساب تصفیه‌خانه‌های شهری (Ali-Esfahani et al., 2025; Danopoulos et al., 2020; Koelmans et al., 2019) و در هر زیستگاه دریایی نزدیک به مناطق سکونت

آلودگی ریزپلاستیک در ماهی کاراس *Carassius gibelio* ساکن تالاب انزلی

انسان یا حتی دورافتاده از جمله خط ساحلی، ستون آب، رسوبات اعماق، یخ‌های قطبی، دریاچه‌ها و رودهای آب‌های شیرین و بدن ساکنان محیط‌های دریایی یافت شده‌اند (Wang *et al.*, 2025; Abbasi *et al.*, 2023; Taghizadeh *et al.*, 2021; Kane and Clare, 2019; Gasperi *et al.*, 2018; Obbard *et al.*, 2014).

وجود تعداد بی‌شمار ریزپلاستیک در محیط‌های آبی سبب بروز مشکلاتی برای موجودات زنده گردیده است. خطر نخست، بلعیدن اتفاقی یا عمدی ذرات ریزپلاستیک و خطر دیگر رسوب و چسبیدن ریزپلاستیک‌ها روی سطوح تنفسی و پوست بدن موجودات است (Abbasi *et al.*, 2023; Oh *et al.*, 2023; Mastad, 2022). این فراوانی ریزپلاستیک در ابعاد میکرو در محیط‌های آبی و در بین سطوح تنفسی و داخل لوله گوارش، احتمال عبور این ذرات از سد بافتی غشایی و گردش آن در بافت‌های حیاتی بدن همچون مغز و کبد و ... را نیز تقویت می‌کند (Mastad, 2022). انتقال تروفیک و زنجیره‌وار ذرات ریزپلاستیک در زنجیره غذایی و رسیدن آن به سطوح بالاتر زیستی تا انسان نیز مورد بحث است (Böyükalan and Yerli, 2023; Goswami *et al.*, 2020).

بسیاری از بسپارهای پلاستیکی غلظت بالایی از افزودنی‌های تکپار فعال زیستی و مواد معدنی و ترکیبات آلی و نیز رنگ دارند که در محیط آب آزاد می‌شوند (Nobre *et al.*, 2015; Moore, 2008). این مواد که پلاستیک‌ساز یا پرکننده هستند در هنگام ساخت به پلاستیک اضافه می‌شوند. برخی از این مواد شبه هورمون زنانه و یا دارای اثرات خطرناک و سمی هستند (Rochman *et al.*, 2013). نشت مواد خطرناک از تمام مراحل تخریب پلاستیک گزارش شده است (Gałązka and Jankiewicz, 2022). ریزپلاستیک‌ها همچنین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مواد جاذب آلاینده‌های محیطی شناخته شده‌اند (Wang *et al.*, 2015; Rochman *et al.*, 2013) و ظرفیت بالایی برای جذب هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، بعضی آلاینده‌های آلی پایدار (POPs) و سایر ترکیبات آلاینده نشان داده‌اند (Avio *et al.*, 2015; Nobre *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2015; Besseling *et al.*, 2012). روند سوخت‌وساز ماهی و اختلال در سیستم ایمنی بدن، بروز استرس اکسیداتیو، آسیب به مجموعه غدد درون‌ریز و استرس کبدی شوند (Mallik *et al.*, 2021; Jovanović, 2017; Rochman *et al.*, 2013). همچنین ذرات پلاستیک در محیط آب، بستری برای رشد میکروب‌ها و تشکیل بیوفیلم و در ادامه، رسوب زیستی و بیوفولینگ موجودات آبی هستند. اگر این میکروب‌ها بیماری‌زا باشند بلع آن‌ها برای ماهی بیماری‌زا خواهد بود (Jia *et al.*, 2024).

ماهیان یکی از بزرگ‌ترین و متنوع‌ترین گروه‌های حیوانات را تشکیل می‌دهند و به لحاظ بوم‌شناختی و تأمین بخش بزرگی از غذای جامعه انسانی اهمیت دارند. آن‌ها به‌عنوان شاخص‌های حساس زیستی اثرات ناشی از مواجهه با عوامل استرس‌زا در محیط آب را نشان می‌دهند و در ارزیابی وضعیت آلودگی محیط‌زیست به ریزپلاستیک‌ها، هم به‌عنوان شاخص آلودگی محیط و هم به دلیل بحث امنیت غذایی و

امکان انتقال آلاینده ریزپلاستیک به سبد غذایی انسان مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند. وجود پلاستیک در لوله گوارش چندین گونه ماهی در آب‌های نواحی مختلف جهان و به‌ویژه ماهیان دریای کاسپی گزارش شده است (Pedram Jarf *et al.*, 2024; Saemi-Komsari *et al.*, 2023; Amini-Birami *et al.*, 2023;

Taghizadeh *et al.*, 2021; Rasta *et al.*, 2020 and 2021; Zakeri *et al.*, 2020).

از جمله ماهیانی که به دلیل همه‌چیزخواری، تغذیه از بستر، زندگی در نزدیک بستر و آلودگی زیستگاه‌های آبی، احتمالاً بیشتر در معرض آلودگی ریزپلاستیکی قرار می‌گیرند، اعضای خانواده کپور ماهیان هستند (Yazici *et al.*, 2022). گونه *Carassius gibelio*, Bloch, 1782 یا ماهی کاراس، در برخی مناطق جهان و از جمله ایران تا حدی مصرف خوراکی دارد و از تالاب انزلی صید می‌شود. همچنین سایر ماهیان تجاری همچون اردک‌ماهی از آن تغذیه می‌کنند. این گونه در تالاب انزلی به دلیل مهاجم بودن و نیز به لحاظ بوم‌شناختی مورد توجه قرار گرفته (Coad, 2021) و یکی از گونه‌های غالب در بین ماهیان صیدشده تالاب انزلی است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹). تالاب انزلی یکی از مهم‌ترین تالاب‌های آب شیرین ایران است که زیستگاه، محل تخم‌ریزی و پرورش ۷۲ گونه ماهی و محل زمستان‌گذرانی حدود ۱۵۰ گونه پرنده مهاجر از شمال اروپا است. پهنه تالاب انزلی به دلیل فعالیت‌های ماهیگیری، تفریحی و گردشگری از نظر اقتصادی برای ساکنان محلی مهم است (Rasta *et al.*, 2020; 2021). در کنار حفظ چرخه زیستی موجودات، این تالاب نقشی مؤثر در پالایش آب، کنترل سیلاب، جلوگیری از فرسایش سواحل دریای کاسپی و تعدیل اقلیم مجاور خود ایفا می‌کند. شوربختانه، سالانه بیشتر از ۳۰ میلیون مترمکعب فاضلاب شهری، روستایی و صنعتی و بیمارستانی و بیشتر از ۲۰۰ هزار تن زباله بدون تفکیک در سطح حوزه آبخیز تالاب انزلی بدون تصفیه اصولی وارد رودخانه‌های حوزه و سرانجام تالاب انزلی می‌شود (محمدی گلنکش و همکاران، ۱۴۰۰) که بر کاهش تنوع و افزایش تعداد ماهیان غیربومی ساکن تالاب همچون کاراس اثرگذار بوده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹). علاوه بر وجود آشکار درشت‌پلاستیک‌ها، در سال‌های اخیر، گزارش‌هایی مبنی بر وجود آلودگی ریزپلاستیک و مواد شیمیایی افزودنی به پلاستیک در بدن ماهیان، آب و رسوبات تالاب انزلی منتشر شده است (Pedram Jarf *et al.*, 2024; Saemi-Komsari *et al.*, 2023; Amini-Birami *et al.*, 2023; Rasta *et al.*, 2020 and 2021; Hassanzadeh *et al.*, 2014).

در این مطالعه، جهت بررسی آلودگی ریزپلاستیکی در لوله گوارش و آبشش ماهی کاراس، تعداد ۱۵ ماهی از بندر ماهیگیری شهرستان انزلی تهیه شد. وجود ریزپلاستیک در آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و ویژگی‌های قابل‌اندازه‌گیری ریزپلاستیک‌ها یعنی تعداد، اندازه و فراوانی بر مبنای طول و وزن ماهی و ویژگی‌های کیفی آن‌ها شامل بر شکل کلی و رنگ، برای تحلیل وضعیت آلودگی ماهیان به ریزپلاستیک ثبت و دسته‌بندی شد.

## مواد و روش‌ها

### جمع‌آوری و هضم نمونه

صید ماهیان کاراس *Carassius gibelio* در تاریخ ۷ مهرماه سال ۱۴۰۲ از بخش مرکزی تالاب انزلی و در بامدادی با شرایط جوی صاف تا کمی ابری انجام شد. مجموعاً ۱۵ قطعه ماهی کاراس بلافاصله پس از صید به کمک تور دستی در تانک حاوی یخ به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در آزمایشگاه، طول چنگالی با خط‌کش فلزی ۵۰ سانتی‌متری و وزن ماهی‌ها با ترازویی به‌دقت ۰/۰۱ گرم (ترازوی Metler Toledo Switzerland) اندازه گرفته شد. هر ماهی، به‌طور جداگانه، در کیسه زیپ لاک شفاف به ابعاد ۱۸ در ۲۲ سانتی‌متر، برند Toozip با گرید مواد غذایی، جدا از سایرین قرار داده شد. نمونه‌ها تا شروع انجام آزمایش در یخ‌زن ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

استفاده از بازها، به‌خصوص KOH با رقت کم (۱۰٪)، ایمن‌ترین و مقرون‌به‌صرفه‌ترین روش برای هضم مواد آلی به‌ویژه در مورد نمونه‌های دریایی است (Rochman *et al.*, 2015; Taghizadeh *et al.*, 2021; Abbasi *et al.*, 2023). برای درست کردن محلول هاضم ۱۰٪، دانه‌های حلال KOH به نسبت وزنی در آب مقطر حل (10% w/v; Fluka-Garantie, Switzerland) و به مدت ده دقیقه بر روی همزن مغناطیسی قرار داده شد (Rochman *et al.*, 2015; Ding *et al.*, 2019). محلول آماده‌شده، پس از فیلتر کردن در ظرف شیشه‌ای تمیز برای مراحل بعد نگهداری گردید.

پس از انجام زیست‌سنجی، لوله گوارش ماهی از ناحیه مری تا مخرج و آبشش سمت چپ ماهی تشریح شد. سپس لوله گوارش با احتیاط از کبد و سایر بافت‌های متصل به آن جدا شد. برای انجام فرایند هضم، لوله گوارش و آبشش، جدا و تکه‌تکه شدند. سپس هر کدام جداگانه در بطری شیشه‌ای قرار داده شده و به هر بطری حدود ۴ برابر هر نمونه، ماده هاضم افزوده شد. سپس بطری‌های شیشه‌ای در بسته، برای ۴۸ ساعت، در آون با دمای ۵۰ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (similar to Rochman *et al.*, 2015). پس از خروج نمونه‌ها از آون، محتوای شیشه‌ها به کمک مگنت کاملاً تمیز، به مدت ۳۰ دقیقه با دور بالا هم زده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق بدون حرکت گذاشته شدند. در ادامه، ۱۵ میلی‌لیتر مایع سطحی هر نمونه به مدت ۴ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. مواد سانتریفیوژ شده، با استفاده از دستگاه فیلتراسیون خلأ شیشه‌ای (Medilab Membrane Microfiltration Glassware, India)، بر روی ورقه‌های فیلتر نیترات سلولز ۴۷ میلی‌متری با اندازه منافذ ۰/۲۲ میکرومتر فیلتر شدند. بلافاصله پس از پایان هر بار فیلتراسیون، برگه‌های فیلتر، داخل پتری دیش استریل به قطر ۶ سانتی‌متر قرار داده‌شده و با درپوش پوشانده می‌شد (Abbasi *et al.*, 2023).

در کلیه مراحل انجام کار، از روپوش نخی سفید و دستکش‌هایی که قبل از شروع به کار، با آب مقطر کاملاً شستشو داده می‌شدند، استفاده شد. تمام ابزار و وسایل مورد استفاده مرتباً شستشو داده‌شده و در زیر

ورق آلومینیومی جهت جلوگیری از بارش ذرات ریزپلاستیک خشک می‌شدند. همچنین برای سنجش و بررسی آلودگی محیطی، در هر بخش از آزمایش‌ها، مقداری آب مقطر به‌عنوان کنترل قرار گرفت (Taghizadeh *et al.*, 2021)، مجموع ریزپلاستیک‌های نمونه کنترل کمتر از ۴ ذره در هر ۲۰۰ میلی‌لیتر آب و از نوع رشته‌ای (۳ عدد) و یک عدد قطعه بود. همچنین به جهت اطمینان از آلوده نبودن کیسه‌های پلاستیک زیپ لاک مورد استفاده، مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر آب در سه کیسه گردانده و سپس فیلتر شد. هیچ ذره پلاستیکی روی ورق فیلتر مشاهده نشد.

### مشاهده ریزپلاستیک‌ها

ذرات مشکوک به ریزپلاستیک به‌وسیله دوربین (Dino-lite.com, Taiwan) متصل به استرئومیکروسکوپ Olympus SZ40 stereomicroscope (Olympus, Japan) و نیز با دوربین متصل به میکروسکوپ GT12 (Tucsen, China) با بزرگنمایی‌های ۴۰ و ۸۰ برابر مشاهده و عکس‌برداری شدند. سپس در هر یک از عکس‌ها، ذرات مشکوک به ریزپلاستیک به کمک نرم‌افزار ImageJ software package (<http://imagej.net>) مشاهده و طول و عرض ذرات ریزپلاستیک برحسب میکرومتر محاسبه و ثبت گردید (Taghizadeh *et al.*, 2024 and 2021). سپس ذرات مشکوک به ریزپلاستیک توسط آزمون سوزن داغ (Hot-needle test) و پنس ظریف بررسی شدند. با ضربه زدن به ذرات، قطعات زیستی خرد می‌شدند درحالی‌که مواد پلاستیکی، سالم و بدون تغییر باقی می‌ماندند (Taghizadeh *et al.*, 2021). مجموع ذرات شمارش شده، فراوانی هر یک از اشکال، رنگ و اندازه‌های ریزپلاستیک در هر بخش تعیین گردید.

### محاسبات آماری

با توجه به دسته‌بندی‌های داده‌های تحقیق، به‌عنوان مثال، ویژگی‌های ماهی (همچون طول، وزن، پر و خالی بودن لوله گوارش) و ویژگی‌های ریزپلاستیک‌ها (تعداد، شکل، رنگ و اندازه) تجزیه و تحلیل آماری به روش‌های همبستگی Pearson correlation و آزمون ANOVA با نرم‌افزار IBM SPSS Statistics نسخه ۲۰ و Excel 2013 انجام شد. داده‌های میانگین همراه با انحراف معیار (SD) ذکر شدند و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ لحاظ شد.

### نتایج

#### ماهی کاراس *C. gibelio*

آلودگی ریزپلاستیک در ماهی کاراس *Carassius gibelio* ساکن تالاب انزلی

نتایج زیست‌سنجی نمونه‌ها نشان داد این ماهی‌ها به‌طور میانگین  $3/33 \pm 19/31$  سانتی‌متر  $\pm$  انحراف معیار طول چنگالی، با بیشینه و کمینه طول ۲۴ - ۱۳/۵ سانتی‌متر داشتند. متوسط وزن ماهی‌های بررسی شده  $84/02 \pm 181/85$  گرم  $\pm$  انحراف معیار (وزن میانه:  $123/73$  گرم؛ بیشینه وزن:  $312/82$  و کمینه آن:  $89/14$  گرم) تعیین گردید. جنسیت ماهی‌ها تعیین نگردید. کلیه ماهیان مورد بررسی قرار گرفته، سالم و تازه صید شده بودند. آزمون آماری نشان داد داده‌های طول از توزیع طبیعی برخوردارند ولی داده‌های وزنی با استفاده از لگاریتم ده، نرمال شدند. ضریب همبستگی مثبت و معنی‌داری بین طول چنگالی و وزن ماهی‌ها مشاهده شد (Pearson correlation coefficient = +0.969; Sig (2-tailed) = 0.000) که نشان می‌دهد ماهی‌ها متناسب با رشد طولی، وزن اضافه کرده و در شرایط تغذیه‌ای مطلوبی به سر می‌برند. محتوی ریزپلاستیک لوله گوارش و آبشش در مورد هر یک از ماهیان مورد بررسی قرار گرفت و این دو اندام در تمام ماهیان ریزپلاستیک داشتند (۱۰۰٪).

### ریزپلاستیک‌های لوله گوارش

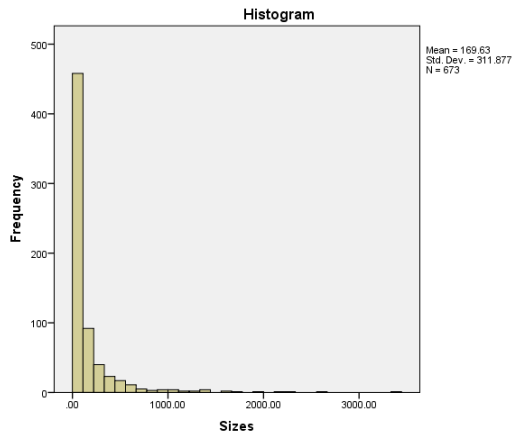
از بین لوله‌های گوارش، شش لوله گوارش بررسی شده فاقد بقایای غذا و تقریباً خالی و یا تنها محتوی مقدار کمی شیرابه گوارشی بودند. در مقابل، شش لوله گوارش بررسی شده نیمه‌پر و سه لوله گوارش از غذا پر بودند (جمعاً نه عدد). بین تعداد ریزپلاستیک‌های درون لوله‌های گوارش خالی و تقریباً خالی با ریزپلاستیک‌های درون دستگاه‌های گوارش نسبتاً پر و کاملاً پر از غذا اختلاف معنی‌دار وجود داشت (ANOVA; f-ratio value = 46.39; p-value = .00001; df = 1). به‌طور متوسط در لوله‌های گوارش نسبتاً پر و کاملاً پر از غذا، تعداد ۵۶ ریزپلاستیک و در لوله‌های گوارشی خالی از غذا و تنها محتوی شیرابه گوارشی، تعداد ۲۸ ریزپلاستیک مشاهده شد. دو برابر تعداد ریزپلاستیک‌های لوله‌های گوارش خالی، در لوله‌های گوارشی پر از غذا دیده شد که نشان می‌دهد منشأ ریزپلاستیک‌های درون لوله گوارش می‌تواند از طریق دریافت غذاهای آلوده به ریزپلاستیک باشد و هم نشان می‌دهد ریزپلاستیک‌ها حتی با وجود دفع بقایای غذا و احتمالاً به دلیل گیر افتادن در بین چین‌های روده قدرت ماندگاری در لوله گوارش را دارند. بین طول ریزپلاستیک‌های یافت شده در لوله‌های گوارشی پر (متوسط طول: ۱۷۰ میکرومتر) و خالی (متوسط طول: ۱۶۸ میکرومتر) اختلاف معنی‌داری دیده نشد (T-test; t-value = 0.0987; p-value = 0.921407). و به نظر می‌رسد اندازه طول ریزپلاستیک‌ها اثری بر ماندگاری آن‌ها در لوله گوارش نداشته باشد.

**تعداد:** در مجموع ۶۷۳ ذره مشکوک به ریزپلاستیک از تمام لوله‌های گوارش استخراج شد. کمترین تعداد آن، ۱۰ و بیشترین آن ۱۰۸ عدد بود. تقریباً به ازای هر ماهی، به‌طور متوسط  $24/59 \pm 45$  عدد ریزپلاستیک  $\pm$  انحراف معیار. تعداد ریزپلاستیک‌های مشاهده‌شده در این ۱۵ ماهی، با هم اختلاف معنی‌دار

داشت (ANOVA;  $F = 26.13$ ;  $df = 1$ ;  $Sig. = 0.000$ ). با توجه به متوسط وزن و طول ماهی‌ها، به‌طور میانگین به ازای هر یک گرم وزن ماهی، تعداد  $0/21 \pm 0/266$  ریزپلاستیک  $\pm$  انحراف معیار و به عبارتی به ازای هر  $100$  گرم ماهی،  $27$  ریزپلاستیک در لوله گوارش ماهیان کاراس بررسی شده مشاهده شد. به ازای هر  $1$  سانتی‌متر طول چنگالی ماهی نیز،  $1/29 \pm 2/19$  عدد ریزپلاستیک  $\pm$  انحراف معیار وجود داشت.

**شکل:** شکل ریزپلاستیک‌های مشاهده‌شده قطعات نامنظم ( $0/74$ ؛ تعداد:  $496$ ) و رشته‌ای ( $0/26$ ؛ تعداد:  $177$ ) بودند و در نمونه‌های بررسی‌شده هیچ ریزمهره یا ورقه‌ای (فیلم) دیده نشد.

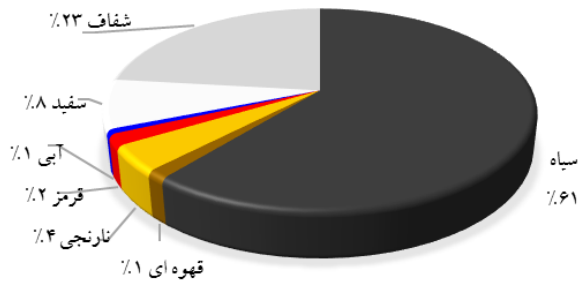
**اندازه:** بین اندازه ریزپلاستیک‌های درون لوله گوارش، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (ANOVA;  $Sig. = 0.003$ ;  $F = 2.92$ ;  $df = 14$ ) معادل  $3372$  و  $12$  میکرومتر داشتند. متوسط اندازه ذرات در لوله گوارش ماهی‌ها  $311/87 \pm 169/63$  میکرومتر  $\pm$  انحراف معیار بود اما اندازه میانه،  $65$  میکرومتر برآورد گردید که نشان از اندازه بسیار کوچک بخش زیادی از ذرات ریزپلاستیک مشاهده شده دارد. به‌طوری‌که  $93/5$ ٪ قطعات نامنظم و تقریباً  $55$ ٪ رشته‌ها کوتاه‌تر از  $250$  میکرومتر بودند. اندازه دو شکل ریزپلاستیک هم با هم اختلاف معنی‌دار داشتند (ANOVA;  $Sig. = 0.000$ ;  $F = 78.72$ ;  $df = 1$ )؛ رشته‌های درون لوله گوارش (متوسط طول:  $391/4$  میکرومتر) نسبت به قطعات (متوسط طول:  $90/5$  میکرومتر) بلندتر بودند. شکل  $1$  تواتر طول ذرات ریزپلاستیک یافت شده در لوله گوارش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بخش عمده ذرات کمتر از  $250$  میکرومتر طول داشتند. اندازه بسیار کوچک قطعات نشان از قرار گرفتن آن‌ها در معرض فرایند سایش و خورد شدن مکرر دارد.



آلودگی ریزپلاستیک در ماهی کاراس *Carassius gibelio* ساکن تالاب انزلی

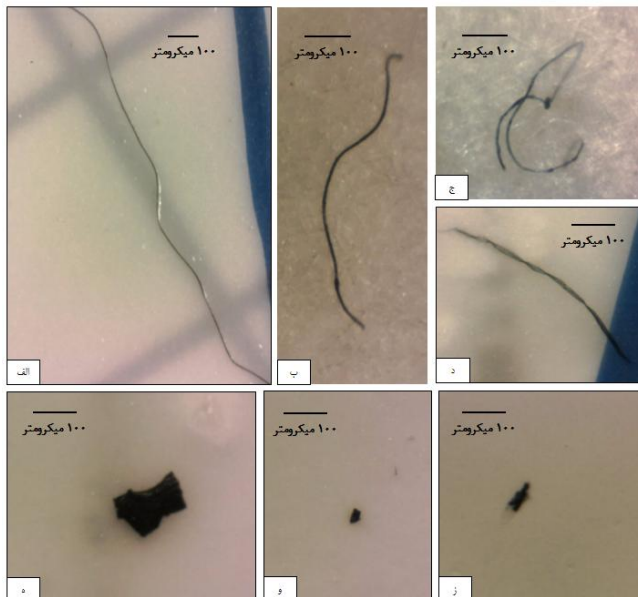
شکل ۱. اندازه ریزپلاستیک‌های درون لوله گوارش نشان می‌دهد بخش زیادی از ذرات ریزپلاستیک بسیار کوچک بودند.

**رنگ:** ریزپلاستیک‌های مشاهده شده رنگ‌های متنوعی نداشتند. ۶۱٪ کل ریزپلاستیک‌ها سیاه‌رنگ بودند. در مرتبه بعدی، ذرات شفاف با ۲۳٪ و سفید با ۸٪ قرار دارد. ریزپلاستیک‌های رنگی، بخش کوچکی را به خود اختصاص می‌دادند که شامل ۴٪ نارنجی، ۲٪ قرمز، ۱٪ آبی و ۱٪ قهوه‌ای بود. شکل ۲ درصد فراوانی هر یک از رنگ‌های مشاهده شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲. درصد فراوانی رنگ‌های مشاهده شده در ریزپلاستیک‌های درون لوله گوارش

از بین ذرات، رشته‌های سیاه، دامنه طولی از ۳۶ تا ۲۲۷۲ میکرومتر داشتند که نشان می‌دهد رشته‌ها با طول‌های متنوعی در نمونه پراکنده بوده‌اند اما قطعات سیاه‌رنگ، با طول میانه ۳۷ میکرومتر، اندازه بسیار کوچکی داشتند. منتخب تصاویر ریزپلاستیک‌های درون لوله گوارش در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. نمونه‌هایی از ریزپلاستیک‌های مشاهده‌شده در لوله گوارش. الف تا د. ریزپلاستیک‌های رشته‌ای. ه تا ز. قطعات نامنظم که اغلب به رنگ سیاه و بسیار کوچک بودند.

### ریزپلاستیک‌های آبشش‌ها

جهت بررسی ریزپلاستیک‌هایی که با جریان آب به صورت تصادفی وارد محفظه آبششی شده بودند، هر چهار کمان آبششی از آبشش سمت چپ ماهی برداشته شد. هیچ ذره درشت یا مزوپلاستیک قابل مشاهده‌ای تا پیش از هضم در آبشش مشاهده نشد جز یک رشته به طول ۵۱۰۹ میکرومتر که به دلیل مزوپلاستیک بودن، در شمارش و سایر محاسبات مورد استفاده قرار نگرفت.

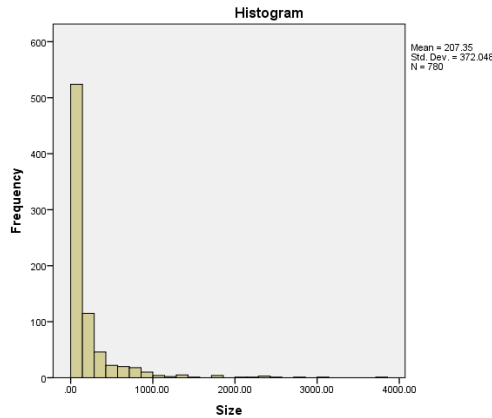
**تعداد:** در تمامی آبشش‌های بررسی‌شده، در مجموع، ۷۸۰ ذره مشکوک به ریزپلاستیک دیده شد که از مقدار مشاهده‌شده در لوله گوارش، تقریباً ۱۰۰ ذره بیشتر بود. کمترین تعداد ریزپلاستیک مشاهده‌شده در آبشش، ۱۱ و بیشترین آن ۱۲۳ عدد بود. تقریباً به ازای هر ماهی، به‌طور متوسط  $36/88 \pm 49$  عدد ریزپلاستیک  $\pm$  انحراف معیار در آبشش ماهی کاراس، ریزپلاستیک وجود داشت که تقریباً با مقدار متوسط مشاهده‌شده در لوله گوارش برابری داشت (۴۵ ذره در لوله گوارش). با توجه به متوسط وزن و طول ماهی‌ها، به‌طور میانگین به ازای هر یک گرم وزن ماهی، تعداد  $0/26 \pm 0/305$  ریزپلاستیک  $\pm$  انحراف معیار (تقریباً ۳۰ ریزپلاستیک به ازای هر ۱۰۰ گرم ماهی) و به ازای هر ۱ سانتی‌متر طول ماهی،  $1/82 \pm 2/41$  ریزپلاستیک  $\pm$  انحراف معیار در تنها یک محفظه آبشش ماهی مشاهده شد که مقدار قابل توجهی به شمار می‌رود.

**شکل:** ریزپلاستیک‌های مشاهده‌شده قطعات نامنظم (۵۴٪؛ تعداد: ۴۱۸)، رشته‌ای (۳۱٪؛ تعداد: ۲۴۳) و ریزمهره (۱۵٪؛ تعداد: ۱۱۹) بودند و در نمونه سطحی بررسی‌شده هیچ ورقه‌ای (فیلم) دیده نشد. توزیع ریزمهره‌ها در ماهیان همگن نبود و در نمونه متعلق به بسیاری از ماهیان بررسی‌شده دیده نشد (تنها ۵ ماهی). تعداد ریزپلاستیک‌های آبشش نیز با وزن ماهی (Pearson correlation coefficient (r) = - 0.07) و Sig. = 0.799) و طول ماهی‌ها (r = - 0.05; Sig. = 0.855) ارتباطی نداشت. ماهیان با وزن‌ها و اندازه‌های مختلف به صورت تصادفی، در معرض تنفس آب آلوده به ریزپلاستیک بوده‌اند.

**اندازه:** بلندترین و کوتاه‌ترین ذرات ریزپلاستیک آبشش به ترتیب طولی معادل ۳۷۲۴ میکرومتر و ۱/۵ میکرومتر داشتند. متوسط اندازه ذرات در آبشش ماهی‌ها  $372/05 \pm 207/35$  میکرومتر  $\pm$  انحراف معیار بود اما اندازه میانه ۸۱ میکرومتر برآورد گردید (شکل ۴). اندازه میانگین ریزپلاستیک‌های به دام افتاده در

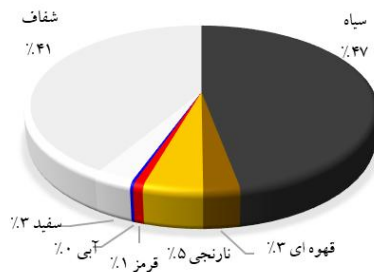
### آلودگی ریزپلاستیک در ماهی کاراس *Carassius gibelio* ساکن تالاب انزلی

بین رشته‌ها و تیغه‌های آبشش نزدیک به ۴۰ میکرومتر از ریزپلاستیک‌های درون لوله گوارش و از نظر اندازه میانه، ۱۶ میکرومتر بیشتر بود. اختلاف بین اندازه شکل‌های ریزپلاستیک آبشش، معنی‌دار بود (Univariate Analysis of Variance; Sig. = 0.000; F = 73.21; df = 2). در مجموع رشته‌های ریزپلاستیک مشاهده شده در بافت آبشش (متوسط طول میانه: ۳۱۰ میکرومتر)، نسبت به قطعات (متوسط طول میانه: ۶۴ میکرومتر) و ریزمه‌ها (متوسط طول میانه: ۳۲ میکرومتر) بلندتر بودند. شکل ۴ تواتر طول ذرات ریزپلاستیک یافت شده در لوله گوارش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بخش عمده ذرات کمتر از ۲۵۰ میکرومتر طول داشتند. اندازه بسیار کوچک قطعات نشان از قرار گرفتن آن‌ها در معرض فرایند ساییش و خرد شدن مکرر و احتمالاً منشأ مشترک میان ریزقطعات لوله گوارش و آبشش دارد. همچنین اندازه ریزپلاستیک آبشش بین ماهیان بررسی شده نیز اختلاف معنی‌دار داشت (Univariate Analysis of Variance; Sig. = 0.034; F = 1.876; df = 15; *p*-value < 0.05).



شکل ۴. اندازه ریزپلاستیک‌های مستخرج از آبشش ماهیان کاراس

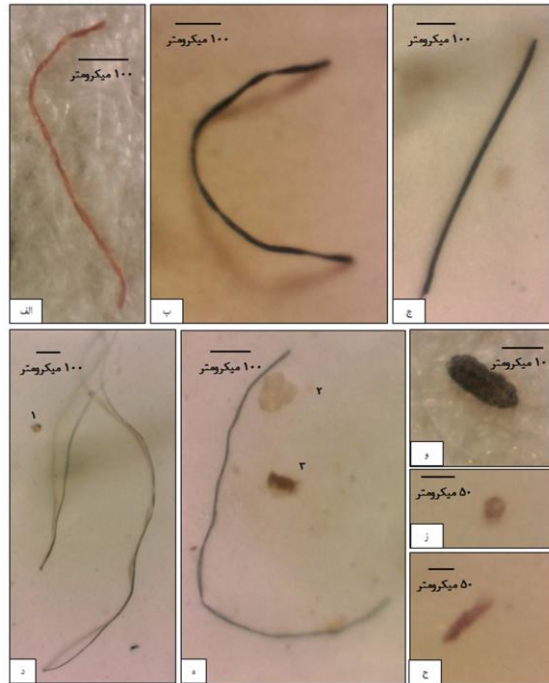
رنگ: ۴۷٪ کل ریزپلاستیک‌ها سیاه‌رنگ بودند. در مرتبه بعدی ذرات شفاف با ۴۱٪ و سفید با ۳٪ قرار داشت. ریزپلاستیک‌های رنگی شامل نارنجی، قهوه‌ای، قرمز و آبی (تنها دو رشته) بسیار کم بودند. تقریباً ۷۰٪ ریزمه‌ها، ۴۴٪ رشته‌ها و ۴۲٪ قطعات سیاه بودند. ۴۹٪ رشته‌ها و ۴۵٪ قطعات و ۱۳٪ ریزمه‌ها شفاف بودند. مقادیر ریزپلاستیک‌های سفید و رنگی بسیار کم بود. شکل شماره ۵ درصد فراوانی هر یک از رنگ‌های مشاهده شده را نشان می‌دهد.



شکل ۵. درصد فراوانی رنگ‌های ریزپلاستیک‌های مشاهده‌شده در آبشش

در این بافت هم رشته‌های سیاه، دامنه طولی از ۲۷ تا ۳۱۲۰ میکرومتر و طول میانه ۲۳۷ میکرومتر داشتند که نشان می‌دهد رشته‌ها با طول‌های متنوعی در نمونه پراکنده بوده‌اند اما طول قطعات از ۶ تا ۴۰۹ میکرومتر با طول میانه ۳۱ میکرومتر نشان از اندازه بسیار کوچک غالب ذرات سیاه‌رنگ می‌دهد. قطر میانه مهره‌های سیاه‌رنگ ۲۵/۵ میکرومتر بود.

بر اساس اندازه ریزپلاستیک، رنگ‌های ریزپلاستیک‌ها توزیع یکنواختی بین ماهیان داشت و بین ماهی‌ها از این نظر تفاوتی دیده نشد ( $Fish*Color$ ; Sig. = 0.491;  $F = 1.005$ ;  $df = 43$ ). منتخب تصاویر ریزپلاستیک‌های آبشش در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶. نمونه‌هایی از ریزپلاستیک‌های مشاهده‌شده در آبشش ماهیان کاراس. الف تا ه. ریزپلاستیک‌های رشته‌ای با رنگ و میزان پیچ‌خوردگی‌های متنوع. و ح. قطعه نامنظم. ز. ریزمهره. همچنین در شکل‌های د و ه، قطعات بسیار کوچک مشاهده‌شده با اعداد ۱ تا ۳ نشان داده شده‌اند.

### ریزپلاستیک کل

در مجموع تعداد ۱۴۵۳ ذره مشکوک به ریزپلاستیک (۷۸۰ ذره ریزپلاستیک در آبشش‌ها و ۶۷۳ ذره ریزپلاستیک در لوله‌های گوارش) شمارش شدند. ارتباط معنی‌داری بین مجموع تعداد کل ریزپلاستیک هر ماهی (جمع تعداد ریزپلاستیک‌های لوله گوارش و آبشش) و طول (Pearson correlation  $r = -0.09$ ; Sig. = 0.725) و وزن ماهی‌ها (Pearson correlation  $r = -0.10$ ; Sig. = 0.718) دیده نشد. به نظر نمی‌رسد در کل، اندازه ماهیان مورد بررسی در میزان دریافت ریزپلاستیک اثر داشته باشد و دریافت ریزپلاستیک بیش از آنکه با تجربه ماهی و پرهیز یا کنجکاوای آن همراه باشد امری تصادفی و تابع طعمه بلعیده شده است. در مجموع در هر ماهی با در نظر گرفتن جمع ریزپلاستیک‌های لوله گوارش و آبشش، به‌طور متوسط تقریباً ۹۲ ذره ریزپلاستیک (میانگین: ۸۵ ریزپلاستیک) یافت شد. اندازه ریزپلاستیک‌های مستخرج از لوله

گوارش و آبشش با هم اختلاف معنی‌دار نداشت ( $F = 0.074$ ;  $\text{Sig.} = 0.074$ ;  $\text{Univariate Analysis of Variance}$ ;  $\text{df} = 1$ ;  $3.192$ ).

اگرچه ریزپلاستیک‌های رنگ‌های مختلف بر اساس اندازه با هم اختلاف معنی‌دار داشتند (Univariate Analysis of Variance;  $\text{Sig.} = 0.000$ ;  $F = 17.858$ ;  $\text{df} = 5$ ) اما بر اساس اندازه، رنگ‌های متنوع ریزپلاستیک در ماهیان توزیع یکنواختی داشتند و بین ماهی‌ها تفاوتی دیده نشد ( $\text{Fish*Color}$ ;  $\text{Sig.} = 0.176$ ;  $F = 1.187$ ;  $\text{df} = 51$ ) با توجه به متوسط وزن و طول ماهی‌ها، به‌طور میانگین به ازای هر یک گرم وزن ماهی، تعداد  $0.37 \pm 0.58$  ریزپلاستیک  $\pm$  انحراف معیار (تقریباً ۵۸ ریزپلاستیک به ازای هر ۱۰۰ گرم وزن تر ماهی) و به ازای هر ۱ سانتی‌متر طول ماهی،  $2.12 \pm 4.51$  ریزپلاستیک  $\pm$  انحراف معیار مشاهده شد.

## بحث

مسئله آلودگی تمام پهنه‌های آبی، خشکی، هوا و بدن موجودات به ذرات ریزپلاستیک به یکی از دو دغدغه مهم جهانی تبدیل و دستمایه انجام تحقیقات متنوعی برای روشن ساختن ابعاد مخرب این آلاینده شده است. در خشکی و دریا، ریزپلاستیک‌ها می‌توانند به کمک پدیده‌های آب‌وهوایی طبیعی و فعالیت‌های انسانی پراکنده شوند (Wang et al., 2025; Dong et al., 2021; Gasperi et al., 2018). به‌عنوان مثال، جاده‌های پرفت‌وآمد در امتداد و روی رودخانه‌های حوزه آبریز تالاب انزلی و در اطراف تالاب، سبب ورود ریزپلاستیک‌های ناشی از سایش لاستیک ماشین‌ها به هوا و نهایتاً آب تالاب خواهد شد. علاوه بر مسیر ورود ریزپلاستیک از خشکی، در سال ۲۰۲۱، مطالعه‌ای تخمین زد تقریباً سالانه ۶/۴ میلیون تن زباله پلاستیکی در نتیجه کشتیرانی با کشتی‌های مسافربری، ماهیگیری تجاری (خدمه و تجهیزات)، کشتی‌های تجاری (خدمه و بار)، قایق‌رانی تفریحی، نظامی، حفاری نفت و سکوها و رویدادهای فاجعه‌بار وارد اقیانوس‌های جهان می‌شود (GESAMP, 2021).

تالاب انزلی یکی از مهم‌ترین تالاب‌های ایران در سواحل ایرانی دریای کاسپی، از نظر شیلاتی دارای گونه‌های خاص نظیر سوف حاجی‌طرخان و منبع بسیار مهمی برای بازسازی ذخایر ماهیان مهاجر دریای کاسپی و یکی از مناطق مهم رهاسازی بچه ماهیان با هدف بازسازی ذخایر است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹). تحقیقات نشان داده ریزپلاستیک در منابع آب شیرین مجاور نقاط گردشگری، مناطق مسکونی و صنعتی بیشتر است. عمده‌ترین منبع آلودگی تالاب انزلی ورود آلاینده از طریق رودخانه پیربازار است که سرشاخه‌های آن، دو رودخانه کوچک‌تر گوهررود و زرجوب، از شهر رشت عبور می‌کند. فاضلاب و زباله‌های رهاشده شهرستان‌های بندر انزلی، فومن، صومعه‌سرا، رشت و ماسال نیز به تالاب می‌ریزد (محمدی گلنکش و همکاران، ۱۴۰۰). علی‌رغم توان خودپالایی تالاب، انباشت و تهنشست آلاینده‌ها در آن، زندگی و بقای

آلودگی ریزپلاستیک در ماهی کاراس *Carassius gibelio* ساکن تالاب انزلی موجودات ساکن تالاب را تهدید می‌کند. اهمیت ماهی‌ها در مطالعات مربوط به هرگونه آلاینده و به‌ویژه ریزپلاستیک‌ها به استفاده از آن‌ها به‌عنوان شاخص‌های زیستی مهم آلودگی در بوم‌سازگان‌های آبی بازمی‌گردد. همچنین ماهی، غذایی سالم و منبعی غنی از پروتئین‌های دارای آمینواسیدهای ضروری برای انسان است (Taghizadeh *et al.*, 2021)؛ بنابراین، اطمینان از کیفیت و سلامت ماهی برای حفظ سلامت جامعه انسانی بسیار مهم است. بافت‌های مختلف ماهی، مانند لوله گوارش، عضله، کبد، کلیه و آبشش، آلاینده‌ها را در مقادیر مختلف جمع می‌کنند که از بین آن‌ها، لوله گوارش، آبشش و عضلات بیشتر از سایر بافت‌ها برای جستجوی ریزپلاستیک‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

میزان ریزپلاستیک یافت شده در بدن ماهی، تابعی از تراکم ذرات ریزپلاستیک در محیط آبی است (Zazouli *et al.*, 2022). فراوانی ریزپلاستیک بر دسترسی زیستی آن می‌افزاید. این‌که سایر خصوصیات ریزپلاستیک تا چه حد بر میزان بلع انتخابی آن توسط موجودات اثر داشته باشد، مورد بحث است. اندازه به‌عنوان مثال یک عامل کلیدی است. ذرات کوچک‌تر ریزپلاستیک در دسترس‌تر هستند، خواه در ورود به بدن موجودات، خواه عبور از سد بافتی غشایی سلول‌ها، خاصه در مورد نانوپلاستیک‌ها (Cho *et al.*, 2024; Mastad, 2022). در مطالعه حاضر، یکنواختی اندازه کوچک ریزپلاستیک یافت شده، نشانگر وجود منبع آلاینده ورود این ذرات عمدتاً سیاه‌رنگ در نزدیکی محل چراگاهی این ماهیان است و خطر ورود این ذرات به بافت‌های داخلی ماهی را تقویت می‌کند. رنگ می‌تواند جذابیت بصری یا تشابه با مواد غذایی واقعی ایجاد کند اما لاقل در ماهی‌ها به نظر می‌رسد نقش کم‌رنگی در ورود انتخابی به دهان ماهی داشته باشد (Taghizadeh *et al.*, 2021). در این مطالعه، تنوع رنگ‌های ریزپلاستیک نسبتاً کم بود و رنگ‌های متنوع ریزپلاستیک در ماهیان توزیع یکنواختی داشتند. این امر می‌تواند نشان‌دهنده آلودگی بستر تغذیه‌ای این ماهیان به ریزپلاستیک‌هایی باشد که احتمالاً منبع مشترک دارند. همچنین در مطالعه حاضر، رنگ سیاه برای ریز قطعات نامنظم غالب بود. این احتمال وجود دارد که این ذرات از سایش لاستیک خودروها شکل گرفته باشند درعین حال حقیقت تلخ درباره قطعات ریزپلاستیک این است که با توجه به ابعاد بسیار کوچک قطعات، همه این قطعات سیاه‌رنگ مشاهده شده می‌توانند تنها از یک قطعه چند سانتی‌متری پلاستیک افتاده در آب جدا شده باشند.

شکل عامل دیگری است که مورد توجه است. به نظر می‌رسد شکل ریزپلاستیک‌های بلعیده شده نیز تابعی از فراوانی محیطی آن نوع شکل باشد. در اغلب مطالعات، شکل‌های ریزپلاستیک رشته‌ای و قطعات غالب بوده‌اند (Pedram Jarf *et al.*, 2024; Abbasi *et al.*, 2023; Taghizadeh *et al.*, 2021; Rasta *et al.*, 2020). دلایل فراوانی آن‌ها در نمونه‌های دستگاه گوارش نسبت به سایر شکل‌های ریزپلاستیک یعنی ریزمهره‌ها و ورقه‌ها، علاوه بر آنکه منعکس‌کننده وضعیت محیط بیرونی و فراوانی بیشتر آن‌ها است می‌تواند به دلیل بیشتر گیر افتادن رشته‌ها و قطعات و دفع زود هنگام ذرات دیگر باشد. پس از لوله گوارش که با

اطمینان می‌توان در آن ریزپلاستیک یافت، آبخش‌ها چون در تماس مستقیم با محیط هستند، مقادیر واقعی تری از آلودگی آب را منعکس می‌کنند و ظرفیت تجمع ریزپلاستیک در آن‌ها در مقایسه با کبد و سایر بافت‌های داخلی بیشتر است. عضلات در بحث تغذیه انسان بسیار مهم هستند و ریزپلاستیک درون آن‌ها می‌تواند مستقیماً به انسان منتقل شود اما بازیابی ریزپلاستیک از آن‌ها دشوار و نتایج حاصل از برخی مطالعات با انتظارات مطابقت ندارد.

در مطالعه ما با توجه به متوسط وزن تر ماهی‌ها، در مجموع، به‌طور میانگین در آبخش‌ها تعداد  $0/3$  و در لوله گوارش تعداد  $0/27$  ریزپلاستیک دیده شد. در مطالعه Oh و همکاران (2023)، در آبخش مقدار  $1/6$  ذره در گرم وزن تر ماهی و در لوله گوارش  $1/34$  ذره در هر گرم و در عضله  $0/12$  ذره در هر گرم گزارش شده است که نسبت به مقدار سنجش شده در مطالعه ما بیشتر است. در بررسی انجام‌شده روی سوف ماهیان انزلی توسط Pedram Jarf و همکاران (2024)، ریزپلاستیک در آبخش کلیه ماهیان بررسی شده مشاهده شد اما هیچ ریزپلاستیکی در عضله و کبد یافت نشد. در نمونه‌های این تحقیق، ریزپلاستیک‌های شکل رشته‌ای، رنگ سیاه و ذرات با اندازه 300 تا 1000 میکرومتر و جنس بسیار نایلون غالب بودند.

مقایسه نتایج این مطالعه با سایر گونه‌های بررسی شده در این ناحیه، نشان داد میزان ریزپلاستیک ماهی کاراس به‌طور قابل توجهی بیشتر از ریزپلاستیک‌های مشاهده شده در همان منطقه است (Pedram Jarf *et al.*, 2024; Amini-Birami *et al.*, 2023; Rasta *et al.*, 2020 and 2021) کاراس و همه‌چیزخواری آن ریزپلاستیک بیشتری نسبت به ماهیان با عادت تغذیه‌ای گوشت‌خواری به بدن ماهی و به زنجیره غذایی تالاب وارد می‌کند. ماهیان کاراس، اغلب در کف رودخانه‌ها و تالاب در نزدیکی بستر زندگی می‌کنند و برای تغذیه، رسوبات بستر را فیلتر می‌کنند (Yazici *et al.*, 2022). رسوبات احتمالاً میزان آلودگی بیشتری نسبت به آب یا موجودات زنده دارند زیرا حجم زیادی از ریزپلاستیک و قطعات پلاستیک وارد شده به محیط‌های آبی، به‌ویژه در شرایط کم تنش، به سطوح زیرین و بستر فرومی‌افتد و مطالعات متعدد نشانگر میزان بسیار زیاد ریزپلاستیک در رسوبات فلات قاره‌ای دریاهاست. پساب شهری و صنعتی کانون‌های تغلیظ و انتشار ریزپلاستیک هستند و برخی مطالعات، بیانگر همبستگی مثبت بین میزان ریزپلاستیک‌های پساب و ریزپلاستیک‌های یافت شده در آب و بدن ماهی‌های ساکن مناطق ورود پساب به رودخانه بوده‌اند (Oh *et al.*, 2024).

در مجموع، تحقیق حاضر در هم سوئی با تحقیقات منتشرشده در ده‌ساله اخیر نشان داد که آلودگی ریزپلاستیک‌ها در تالاب انزلی به یک معضل جدی تبدیل شده است که بی‌توجهی به آن، به تأثیرات مخرب آن بر سلامت بوم‌سازگان و گونه‌های وابسته و ساکن آن دامن خواهد زد. با توجه به رسوب ریزپلاستیک‌ها به لایه‌های زیرین آب و روی بستر تالاب، خطر در مورد گونه‌هایی همچون ماهی کاراس *C. gibelio* که تا حدی برای تغذیه به کف وابسته هستند شدیدتر خواهد بود. ماهی کاراس یکی از گونه‌های ماهیان ساکن

آلودگی ریزپلاستیک در ماهی کاراس *Carassius gibelio* ساکن تالاب انزلی  
تالاب است که در بازار ماهیان محلی عرضه می‌گردد، هرگونه آلودگی در این ماهی می‌تواند در نهایت به  
مصرف‌کنندگان آن یعنی انسان منتقل شود.

این تحقیق با فراهم آوردن داده‌های جدید درباره آلودگی لوله گوارش و آبشش ماهی و ارائه تفسیرهای  
علمی برای فهم دلایل و مقادیر آلودگی، در جهت شناخت بهتر اثرات زیان‌بار ریزپلاستیک‌ها گامی مهم  
برداشته و نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای اقدامات مدیریتی و حفاظتی آینده  
استفاده شود. نتایج این تحقیق همچنین می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای تدوین سیاست‌های مدیریت  
معضلات زیست‌محیطی تالاب انزلی و به‌عنوان حقایق علمی در جهت استحکام‌بخشی به تلاش‌های  
اجتماعی در حوزه کاهش آلودگی‌های پلاستیکی، مورد استفاده قرار گیرد. امید است افزایش آگاهی عمومی  
درباره اثرات مضر پلاستیک و ریزپلاستیک‌ها بر بوم‌سازگان‌های آبی و در نهایت زیست انسان، به ایجاد تغییر  
در خرید محصولات و کاهش مصرف بی‌رویه پلاستیک بیانجامد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، تحقیقات آینده می‌تواند ضمن مقایسه میزان آلودگی جمعیت‌های کاراس  
ماهیان ساکن تالاب با کاراس ماهیان ساکن رودهای بالادست، داده‌های جالبی در رابطه با تنوع و ترکیب  
ریزپلاستیک‌های غالب در این نواحی و سیر شکل‌گیری ریزپلاستیک در اختیار محققان قرار دهد.

تحقیق حاضر در یک دوره زمانی مشخص انجام شده و همانند یک تصویر مقطعی از شرایط ماهی  
کاراس تالاب است؛ به جهت درک بهتر تغییرات فصلی در میزان و نوع ریزپلاستیک‌ها، پیشنهاد می‌شود که  
پایش‌های فصلی و دوسالانه نیز انجام شود تا میزان تأثیر تغییرات در شرایط آب و هوایی یا فعالیت‌های  
انسانی مختلف (مانند گردشگری و صیادی) بر سطح آلودگی مشخص شود.

## مراجع

عباسی، ک.، مرادی، م.، سرپناه، ع.، موسوی‌ثابت، س. ح.، نیکپور، م.، زحمتکش، ی.، میرزاجانی، ع.،  
۱۳۹۹. فراوانی ماهیان بومی تالاب انزلی و لزوم حفاظت از آن‌ها. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی،  
۱ (۵)، ۸۲-۹۲.

محمدی گلنکش، م.، هدایتی، س. ع.، فروهر واجارگاه، م.، پیرعلی، ا.، فلاح، م.، ۱۴۰۰. پهنه‌بندی  
پراکنش فلزات سنگین رسوبات سطحی در تالاب انزلی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS).  
مجله پژوهش در بهداشت محیط، ۷ (۴)، ۳۳۱-۳۲۳.

Abbasi, A., Sadeghi, P. and Taghizadeh R.A., Z., 2023. Characterization of microplastics in  
digestive tract of commercial fish species from the Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin*,  
197, p.115769.

Ali-Esfahani, T., Rezaeian, M., SalarAmoli, J., Taghizadeh R.A., Z., Daneshmand, M., 2025.  
Quantitative and Qualitative Assessment of Microplastics in Drinking Water, Raw  
Materials, and Animal Feed Additives, 10.22059/ijvm.2024.381192.1005628.

- Amini-Birami, F., Keshavarzi, B., Esmaeili, H.R., Moore, F., Busquets, R., Saemi-Komsari, M., Zarei, M. and Zarandian, A., 2023. Microplastics in aquatic species of anzali wetland: An important freshwater biodiversity hotspot in Iran. *Environmental Pollution*, 330, p.121762.
- Avio, C.G., Gorbi, S., Milan, M., Benedetti, M., Fattorini, D., d'Errico, G., Pauletto, M., Bargelloni, L. and Regoli, F., 2015. Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environmental pollution*, 198, pp.211-222.
- Besseling, E., Wegner, A., Foekema, E.M., van den Heuvel-Greve, M.J., Koelmans, A.A., 2012. Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm *Arenicola marina* (L.), *Environmental Science & Technology*, 47(1), 593-600.
- Bhat, M.A., 2024. Microplastics in indoor deposition samples in university classrooms. *Discover Environment*, 2(1), p.23.
- Bhat, M.A., 2024. Unravelling the microplastic contamination: A comprehensive analysis of microplastics in indoor house dust. *Indoor and Built Environment*, p.1420326X241248054.
- Böyükalan, S. and Yerli, S.V., 2023. Microplastic pollution at different trophic levels of freshwater fish in a variety of Türkiye lakes and dams. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(11), TRJFAS23747.
- Cho, Y., Seo, E.U., Hwang, K.S., Kim, H., Choi, J. and Kim, H.N., 2024. Evaluation of size-dependent uptake, transport and cytotoxicity of polystyrene microplastic in a blood-brain barrier (BBB) model. *Nano Convergence*, 11(1), p.40.
- Coad, B.W., 2021. Carps and Minnows of Iran (Families Cyprinidae and Leuciscidae). *Vol. I: General Introduction and Carps (Family Cyprinidae)*. Available online: <http://briancoad.com/Species%20Accounts/Carps%20of%20Iran%2010Sept2opt1.pdf> (accessed on 20 December 2021).
- Danopoulos, E., Jenner, L.C., Twiddy, M. and Rotchell, J.M., 2020. Microplastic contamination of seafood intended for human consumption: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 128(12), p.126002.
- Ding, J, Li J, Sun C, Jiang F, Ju P, Qu L, Zheng Y, He C. 2019. Detection of microplastics in local marine organisms using a multi-technology system. *Analytical Methods* 11(1), 78-87.
- Dong, J., Zhao, T., Wang, Y., Zhao, S., Zhu, L., Li, H., Wang, M. and An, L., 2024. Microplastic characteristics in rain/snow sampled from two northern Chinese cities. *Science of The Total Environment*, 956, p.177352.
- Dong, H., Wang, L., Wang, X., Xu, L., Chen, M., Gong, P. and Wang, C., 2021. Microplastics in a remote lake basin of the Tibetan Plateau: Impacts of atmospheric transport and glacial melting. *Environmental science & technology*, 55(19), pp.12951-12960.
- Gałazka, A. and Jankiewicz, U., 2022. Endocrine disrupting compounds (nonylphenol and bisphenol A)—sources, harmfulness and laccase-assisted degradation in the aquatic environment. *Microorganisms*, 10(11), p.2236.
- Gasperi, J., Wright, S.L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F.J. and Tassin, B., 2018. Microplastics in air: are we breathing it in?. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, pp.1-5.
- GESAMP, 2021. Sea based sources of marine litter. (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA joint group of experts on the scientific aspects of marine environmental protection).

- Goswami, P., Vinithkumar, N.V., and Dharani, G., 2020. First evidence of microplastics bioaccumulation by marine organisms in the Port Blair Bay, Andaman Islands. *Marine pollution bulletin*, 155, p.111163.
- Hassanzadeh, N., Esmaili Sari A., Khodabandeh S., Bahramifar N. 2014. Occurrence and distribution of two phthalate esters in the sediments of the Anzali wetlands on the coast of the Caspian Sea (Iran). *Marine Pollution Bulletin*, 89, 128–135.
- Jia, J., Liu, Q., Zhao, E., Li, X., Xiong, X. and Wu, C., 2024. Biofilm formation on microplastics and interactions with antibiotics, antibiotic resistance genes and pathogens in aquatic environment. *Eco-Environment & Health*, 3(4), 516 - 528.
- Jovanović, B., 2017. Ingestion of microplastics by fish and its potential consequences from a physical perspective. *Integrated environmental assessment and management*, 13(3), pp.510-515.
- Kane, I.A. and Clare, M.A., 2019. Dispersion, accumulation, and the ultimate fate of microplastics in deep-marine environments: a review and future directions. *Frontiers in earth science*, 7, p.80.
- Koelmans, A.A., Nor, N.H.M., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S.M. and De France, J., 2019. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water research*, 155, pp.410-422.
- Mallik, A., Xavier, K.M., Naidu, B.C. and Nayak, B.B., 2021. Ecotoxicological and physiological risks of microplastics on fish and their possible mitigation measures. *Science of the Total Environment*, 779, p.146433.
- Mastad, O.C.L., 2022. Microplastic studies in humans: evidence from feces and effects in blood (Master's thesis, The University of Bergen).
- Moore, C.J., 2008. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental research*, 108(2), pp.131-139.
- Nematollahi, M.J., Zarei, F., Keshavarzi, B., Zarei, M., Moore, F., Busquets, R. and Kelly, F.J., 2022. Microplastic occurrence in settled indoor dust in schools. *Science of the Total Environment*, 807, p.150984.
- Nobre, C.R., Santana, M.F.M., Maluf, A., Cortez, F.S., Cesar, A., Pereira, C.D.S. and Turra, A., 2015. Assessment of microplastic toxicity to embryonic development of the sea urchin *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea). *Marine pollution bulletin*, 92(1-2), pp.99-104.
- Obbard, R.W., Sadri, S., Wong, Y.Q., Khitun, A.A., Baker, I. and Thompson, R.C., 2014. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Future*, 2(6), pp.315-320.
- Oh, J.K., Lee, J., Lee, S.Y., Kim, T.K., Chung, D. and Seo, J., 2023. Microplastic Distribution and Characteristics in Common Carp (*Cyprinus carpio*) from Han River, South Korea. *Water*, 15(23), p.4113.
- Pedram Jarf, M., Kamali, A., Khara, H., Pourang, N. and Shekarabi, S.P.H., 2024. Microplastic pollution and heavy metal risk assessment in *Perca fluviatilis* from Anzali wetland: Implications for environmental health and human consumption. *Science of the Total Environment*, 907, p.167978.
- Rasta, M., Sattari, M., Taleshi, M.S., and Namin, J.I., 2020. Identification and distribution of microplastics in the sediments and surface waters of Anzali Wetland in the Southwest Caspian Sea, Northern Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 160, p.111541.

- Rasta, M., Sattari, M., Taleshi, M.S., and Namin, J.I., 2021. Microplastics in different tissues of some commercially important fish species from Anzali Wetland in the Southwest Caspian Sea, Northern Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 169, p.112479.
- Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T, Teh S.J. 2013. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific reports*, 3, p.3263.
- Rochman, C.M., Tahir, A., Williams, S.L., Baxa, D.V., Lam, R., Miller, J.T., Teh, F.C., Werorilangi, S., and Teh, S.J., 2015. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific reports*, 5(1), pp.1-10.
- Saemi-Komsari, M., Esmaceli, H.R., Keshavarzi, B., Abbasi, K., Birami, F.A., Nematollahi, M.J., Tayefeh, F.H. and Busquets, R., 2023. Characterization of ingested MPs and their relation with growth parameters of endemic and invasive fish from a coastal wetland. *Science of The Total Environment*, 860, p.160495.
- Taghizadeh, R.A., Z., Abtahi, B., Fathi, M.B., Mashhadi, N. and Grossart, H.P., 2024. Size, shape, and elemental composition as predictors of microplastic surface erosion. *Journal of Hazardous Materials*, 476, p.134961.
- Taghizadeh, R.A., Z., Abtahi, B., Grossart, H.P. and Khodabandeh, S., 2021. Microplastic content of Kutum fish, *Rutilus frisii kutum* in the southern Caspian Sea. *Science of the Total Environment*, 752, p.141542.
- Wang, F., Shih, K.M., and Li, X.Y., 2015. The partition behavior of perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanesulfonamide (FOSA) on microplastics. *Chemosphere*, 119, pp.841-847.
- Wang, H., Wu, Y., Deng, Y., Wu, X., Li, X., Xu, H., Zeng, Y. and Yan, Y., 2025. Impacts of wind forcing on microplastics kinematic in a sensitive water area. *Science of The Total Environment*, 958, p.177983.
- Yazici, R., Yazicioğlu, O., Yilmaz, S. and Polat, N., 2022. Food composition and feeding strategies of an invasive species, *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) inhabiting a eutrophic lake in Middle Black Sea region. *Indian Journal of Fisheries*, 69(2), pp.48-55.
- Zakeri, M., Naji, A., Akbarzadeh, A. and Uddin, S., 2020. Microplastic ingestion in important commercial fish in the southern Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 160, p.111598.
- Zazouli, M., Nejati, H., Hashempour, Y., Dehbandi, R., Nam, V.T. and Fakhri, Y., 2022. Occurrence of microplastics (MPs) in the gastrointestinal tract of fishes: A global systematic review and meta-analysis and meta-regression. *Science of the Total Environment*, 815, p.152743.

## Microplastic contamination in prussian carp, *Carassius gibelio* of Anzali Lagoon

Nadia Naseri<sup>1</sup>, Behrooz Abtahi<sup>2\*</sup>, Zahra Taghizadeh Rahmat Abadi<sup>1</sup>

1. Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Corresponding

Author's E-mail: abtahi.b@gmail.com

### Abstract

Microplastics, plastic particles with dimensions of 1 micrometer to 5 millimeters, are emerging environmental pollutants that have contaminated natural resources and the bodies of living organisms. Given the necessity of investigating and managing microplastics to protect public health and ecosystems, the presence of microplastics in the digestive tracts and gills of crucian carp *Carassius gibelio* in Anzali Wetland was investigated. Fifteen crucian carps were collected from the middle part of Anzali Wetland during November 2023. In the laboratory, after going through the extraction process, the microplastics were observed using a stereomicroscope, their qualitative and quantitative characteristics were recorded, and the data were statistically analyzed. The results showed that in the gills and digestive tracts of fish (average weight: 181.85 g  $\pm$  84.02 SD), there were microplastics with a maximum length of 3724 micrometers and mostly in the form of irregularly shaped fragments, then fibers, and a small number of microbeads, and frequently in black and transparent colors. An average of 92 microplastics (0.58 microplastics per gram of fish wet weight) were observed in each fish. The findings of this study were consistent with other studies conducted in the Caspian Sea and its coasts. Considering the nutritional importance of this species for commercial fish and the relatively high amounts of microplastics observed, dietary transmission of microplastics to humans and higher trophic levels of the sea is possible.

**Keywords:** Caspian Sea, Digestive tract, Emerging pollutants, Gills