

بررسی تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر صنعت آبزی‌پروری

زینب سلحشور^۱، فرزاد مهرجو^۲، احسان شکری^{۱*}

۱. کرج، آموزش و ترویج کشاورزی، بخش تحقیقات نانوتکنولوژی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی

کشاورزی، سازمان تحقیقات

۲. کاشمر، مرکز آموزش عالی کاشمر، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب

چکیده ...

آلودگی میکروپلاستیک در محیط آبزی‌پروری و محصولات آبزی‌پروری به‌طور جهانی گسترش یافته و به روش‌های مختلف به محیط‌های آبزی‌پروری وارد شده است. میکروپلاستیک‌ها می‌توانند در محصولات آبزی‌پروری انباشته شوند. از این‌رو، می‌توانند بین سطوح تغذیه‌ای از گیاهخواران به گوشتخواران منتقل شوند. همچنین مشکل تجمع آن‌ها در بسیاری از استخرها و اماکن پرورش آبزیان وجود دارد. هدف از این مقاله بررسی تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر صنعت آبزی‌پروری و سلامت محیط‌زیست و انسان بوده است. منابع میکروپلاستیک در آبزی‌پروری را می‌توان به میکروپلاستیک‌های وارد شده از محیط خارجی (شامل رودخانه، دریا، خشکی و جو) و طی فرایند آبزی‌پروری (شامل کهنگی و سایش وسایل ماهیگیری پلاستیکی، تغذیه و بسته‌بندی محصولات آبزی‌پروری) تقسیم‌بندی کرد. از جمله منابع میکروپلاستیک رودخانه می‌توان به پساب‌های صنعتی، فعالیت‌های انسانی، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، فعالیت‌های کشاورزی و غیره اشاره کرد. همچنین در میان فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب نساجی منبع اصلی میکروپلاستیک‌های لیفی در رودخانه‌هاست. به‌دلیل غوطه‌وری طولانی‌مدت، فرسایش، سایش و برخورد، تورها، طناب‌های ماهیگیری، توپ‌های شناور و سایر محصولات پلاستیکی مورد استفاده برای کشت در قفس و کشت قایق می‌توانند میکروپلاستیک تولید کنند و به محیط آبزی‌پروری وارد شوند. این آلاینده‌های پلیمری، اثرات سمی بر روی ریزجلبک‌های موجود در آب گذاشته که می‌تواند بر تعادل بوم‌شناختی محیط آبزی‌پروری تأثیر بگذارد. برخی مطالعات نشان داده‌اند که میکروپلاستیک‌هایی با قطر حداکثر ۱۳۰ میکرومتر می‌توانند به رگ‌های خونی و غدد لنفاوی پستانداران نفوذ و با گردش خون و لنف به قسمت‌های مختلف بدن منتقل شوند. بنابراین توجه به تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر صنعت آبزی‌پروری و سلامت انسان و محیط‌زیست، نیازمند عنایت جدی به این موضوع است.

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:

e.shokri@abrii.ac.ir

واژه‌های کلیدی:

میکروپلاستیک،
آبزی‌پروری،
محیط‌زیست،
صنعت،
ماهیگیری

۱ مقدمه

میکروپلاستیک‌ها به روش‌های مختلف به محیط‌های آبی‌پروری وارد می‌شوند [۱]. مطالعات نشان می‌دهد که مشکل تجمع میکروپلاستیک در بسیاری از استخرها و اماکن پرورش آبزیان وجود دارد [۲-۴]. میکروپلاستیک‌ها می‌توانند در محصولات آبی‌پروری انباشته شوند. به‌عنوان مثال، میکروپلاستیک‌ها در دوکفه‌ای‌های تجاری از بازار شیلات از ۴/۳ تا ۵۷/۲ مورد/فرد یافت شدند [۵]. تولید سالانه آبی‌پروری جهانی به‌عنوان منبع مهم پروتئین انسانی، از کمتر از ۱ میلیون تن در سال ۱۹۵۰ به ۱۱۲ میلیون تن در سال ۲۰۱۷ افزایش یافته است [۶]. با توجه به مقیاس وسیع آبی‌پروری، آلودگی میکروپلاستیک در محصولات آبی‌پروری تأثیر گسترده‌ای خواهد داشت. آسیب میکروپلاستیک‌ها در آبی‌پروری ابتدا در محیط آبی‌پروری نمایان می‌شود. میکروپلاستیک‌های حاوی کلر (به‌عنوان مثال PVC (Polyvinyl Chloride)) ممکن است در فرایند تجزیه، HCl (Hydrochloric Acid) را به آب آزاد کنند و در نتیجه باعث اسیدی شدن محیط آبی‌پروری شود [۷]. افزودنی‌های آلی مختلف در میکروپلاستیک‌ها، مانند بیسفنول ای یا BPA (Bisphenol A) و فتالات‌ها، هنگامی که در آب لیچنینگ (فرایند استخراج یک جزء محلول در جامد با استفاده از یک حلال) می‌کنند، تهدیدی برای اندام‌واره‌ها به‌عنوان مختل‌کننده‌های غدد درون‌ریز هستند [۸]. علاوه بر این، میکروپلاستیک‌های تجمع‌یافته در محیط آبی‌پروری می‌توانند پس از رهاسازی به منابع آبی طبیعی باعث انتشار آلودگی به این محیط‌ها نیز شوند [۹]. میکروپلاستیک‌ها می‌توانند باعث آسیب DNA (Deoxyribonucleic Acid) و کاهش سرعت رشد برخی از گونه‌های ماهی شوند [۱۰]. همچنین میکروپلاستیک‌ها و افزودنی‌های مرتبط با میکروپلاستیک نیز می‌توانند بر سامانه ایمنی محصولات آبی‌پروری تأثیر بگذارند، سمیت عصبی ایجاد کنند و کیفیت محصولات آبی‌پروری را کاهش دهند [۱۱، ۱۲].

این موضوع نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها رشد و تکثیر آبزیان پرورشی، میزان بقای محصولات آبی‌پروری را کاهش می‌دهند و باعث زیان اقتصادی برای آبی‌پروری می‌شوند. در نهایت، به‌عنوان مصرف‌کنندگان محصولات آبی‌پروری، این میکروپلاستیک‌ها اثرات مختلفی بر سلامت انسان از جمله کاهش فعالیت آنزیم‌های گوارشی، تأثیر بر عملکرد جذب گوارشی انسان دارند. از سوی دیگر میکروپلاستیک‌ها می‌توانند باعث تجمع سایر آلاینده‌های آلی و معدنی در محصولات آب‌پروری، مانند آلاینده‌های دارویی و فلزات سنگین شوند و خطرات سلامتی را که برای انسان ایجاد می‌کنند، افزایش دهند.

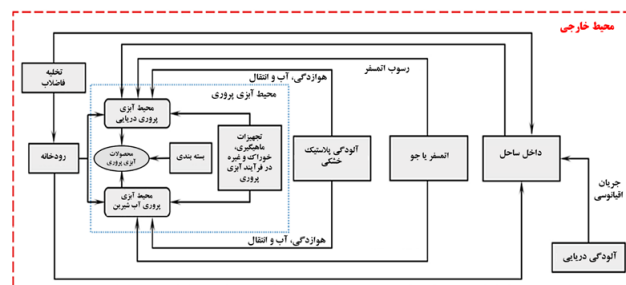
این آلاینده‌ها دارای سمیت تولیدمثلی، تراتوژن و جهش‌زایی برای بدن انسان هستند، مصرف داروها مقاومت میکروفلور روده انسان را افزایش می‌دهد و سلامت انسان را تهدید می‌کند. بنابراین آلودگی میکروپلاستیک در آبی‌پروری باید مورد توجه قرار گیرد [۱۳-۱۷].

با توجه به اثرات نامطلوب میکروپلاستیک‌ها در آبی‌پروری، کشورهای جهان اقدامات کنترلی را علیه این آلاینده نوظهور انجام داده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به کنترل استفاده از ادوات پلاستیکی ماهیگیری در آبی‌پروری و افزایش نرخ بازیافت این ابزارهای ماهیگیری، کاهش یا جایگزینی استفاده از این آلاینده اشاره کرد. با این حال، می‌توان مشاهده کرد که آلودگی میکروپلاستیک در بین آبی‌پروری کشورها به اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته است، به طوری که این اقدامات در صنعت استاندارد نشده است، بلکه تنها در سامانه آبی‌پروری اجرا می‌شود. بنابراین، توسعه روش‌های جدید پایش و کنترل آلودگی میکروپلاستیک در آبی‌پروری به‌منظور تضمین ایمنی غذایی ضروری است.

علاوه بر مشکلات فوق، تحقیقات کنونی در مورد اثرات زیستی آلودگی میکروپلاستیک در آبی‌پروری عمدتاً با هدف مطالعات آسیب‌شناسی افراد انجام شده و مطالعات کمی در مورد تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر جمعیت محصولات آبی‌پروری و ارزیابی زیان‌های اقتصادی ناشی از آن‌ها در آبی‌پروری انجام شده است. علاوه بر این، مطالعات کنونی در مورد اثرات میکروپلاستیک‌ها بر بدن انسان عمدتاً بر روی مطالعات آزمایشگاهی و مطالعات جایگزینی پستانداران متمرکز است، بنابراین اثرات میکروپلاستیک‌ها بر بدن انسان هنوز نیاز به بررسی‌های دقیق‌تر دارد [۱۸]. بنابراین هدف از این مقاله بررسی تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر صنعت آبی‌پروری و سلامت محیط‌زیست و انسان است.

۲ منابع میکروپلاستیک در آبی‌پروری

آلودگی میکروپلاستیک در محیط آبی‌پروری و محصولات آبی‌پروری به‌طور جهانی گسترده است. منابع میکروپلاستیک در آبی‌پروری را می‌توان به میکروپلاستیک‌های وارد شده از محیط خارجی (شامل رودخانه، دریایی، خشکی و جو) و میکروپلاستیک‌های وارد شده در طی فرایند آبی‌پروری (شامل کهنگی و سایش وسایل ماهیگیری پلاستیکی، تغذیه و بسته‌بندی محصولات آبی‌پروری) تقسیم کرد. در شکل ۱ روش‌های ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط‌های آبی‌پروری آورده شده است.



شکل ۱ مسیرهای ورود میکروپلاستیک‌ها به منابع و محصولات آبی‌پروری.

۲-۱ میکروپلاستیک از محیط خارجی (رودخانه، دریا، خشکی و جو)

منابع میکروپلاستیک رودخانه شامل پساب‌های صنعتی، فعالیت‌های انسانی، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، فعالیت‌های کشاورزی و غیره است [۱۹]. در میان فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب نساجی منبع اصلی میکروپلاستیک‌های لیفی در رودخانه‌ها است. به‌عنوان مثال میزان میکروپلاستیک‌های موجود در نمونه آب و رسوب در رودخانه شهر شائوکسینگ چین حاصل از تخلیه فاضلاب نساجی به ترتیب آب مجاور ۲/۱-۷۱ مورد در لیتر ۱۶/۷-۱۳۲۳/۳ مورد بر کیلوگرم گزارش شده است [۲۰]. منابع دیگر انتشار میکروپلاستیک‌ها شامل فاضلاب صنایع خودرو، بسته‌بندی و مواد، فعالیت‌های انسانی (از جمله شستشوی البسه با الیاف مصنوعی، لوازم آرایشی، خمیر دندان و شامپو) هستند. طبق آمار، از پارچه‌های پشمی پلی‌استر به‌طور متوسط ۷۳۶۰ الیاف در مترمربع در لیتر در یک بار شستشو رهاسازی می‌شود، لباس‌های الیاف مصنوعی از اکریلیک، نایلون و سایر مواد نیز در هنگام شستشو مقادیر متفاوتی از میکروپلاستیک‌ها را منتشر می‌کنند [۲۱]. این میکروپلاستیک‌ها از طریق فاضلاب خانگی وارد رودخانه خواهند شد. تخلیه غیرنقطه‌ای و نقطه‌ای میکروپلاستیک‌ها از دو نوع فاضلاب فوق مناطق صنعتی و مناطق مسکونی در امتداد رودخانه، منجر به آلودگی منابع آبی می‌شود. اگرچه فرایند تصفیه فاضلاب بر تصفیه و حذف میکروپلاستیک‌ها اثر دارد، اما میزان میکروپلاستیک‌های ورودی به رودخانه‌ها به دلیل تخلیه عظیم فاضلاب همچنان زیاد است [۲۲].

مطالعات پساب سه تصفیه‌خانه فاضلاب در استرالیا نشان می‌دهد که روزانه حدود $10^6 \times 22/1$ تا $10^6 \times 133$ میکروپلاستیک از طریق فاضلاب تصفیه‌شده تخلیه می‌شود [۲۳]. تعداد زیادی از محصولات پلاستیکی مورد استفاده در تولیدات کشاورزی از جمله فیلم‌های پلاستیکی، خطوط لوله و غیره وجود دارد. هوازگی این پلاستیک‌ها باعث تولید میکروپلاستیک می‌شود و

این میکروپلاستیک‌ها از طریق باد و باران به رودخانه‌ها منتقل می‌شوند. استفاده از لوله‌های پلاستیکی آبیاری و رها شدن متعاقب آن در محیط به‌عنوان منبع میکروپلاستیک رودخانه Ombrone شناسایی شد [۲۴]. معرفی این مسیرها منجر به فراوانی میکروپلاستیک در رودخانه‌ها می‌شود. تخمین زده می‌شود که سالانه حدود $10^5 \times 3/3$ تن پلاستیک در حوضه رودخانه یانگ تسه، $10^5 \times 1/2$ تن پلاستیک در حوضه رودخانه گنگ تولید می‌شود [۲۵]. بار میکروپلاستیک در رودخانه دافنگ، جایی که در امتداد ساحل، پرورش صدف توسعه یافته است، تقریباً $10^8 \times 8/3$ ذره در سال بود از آنجایی که رودخانه‌ها ارتباط نزدیکی با محیط‌های آب شیرین و آبی‌پروری دریایی دارند، طیف وسیعی از تأثیرات را بر محیط‌های آبی‌پروری می‌گذارند [۲۶]. مطالعات متعدد نشان داده است که آلودگی میکروپلاستیک مناطق آبی‌پروری در مصب‌ها و نواحی ساحلی نزدیک مصب با فراوانی میکروپلاستیک در رودخانه‌های محلی مرتبط است [۲۷]. رودخانه‌ها به‌عنوان منبع مهم آلودگی میکروپلاستیک در آبی‌پروری باید جدی گرفته شود.

تخمین زده می‌شود که ۹۲ درصد از $5/25$ تریلیون ذره موجود در دریاهای جهان میکروپلاستیک هستند. آلودگی میکروپلاستیک دریایی تهدیدی جدی برای آبی‌پروری دریایی است. طبق آمار، ۴/۸ تا ۱۲/۷ میلیون تن زباله پلاستیکی تنها در سال ۲۰۱۰ از خشکی وارد دریا شده است [۲۸]. میکروپلاستیک‌های حمل‌شده توسط رودخانه‌ها منابع مهم میکروپلاستیک در دریا هستند. تخمین زده می‌شود که بین $1/15$ تا $2/41$ میلیون تن زباله پلاستیکی در سال از رودخانه‌ها وارد دریا می‌شود [۲۵]. ورود این زباله‌های پلاستیکی به دریا منجر به تولید مقادیر زیادی میکروپلاستیک شده است. در مناطق ساحلی، گردشگری، تفریح و ماهیگیری تجاری، کشتیرانی و صنایع دریایی نیز مقادیر زیادی میکروپلاستیک تولید و به دریا تخلیه می‌شود. این میکروپلاستیک‌ها تهدیدی برای آبی‌پروری ساحلی هستند. علاوه بر این، توسعه صنعت کشتیرانی نیز باعث افزایش آلودگی

میکروپلاستیک‌ها در دریا شده است. قطعات پلاستیکی در بدنه، سایش رنگ و سایر ضایعات پلاستیکی دورریخته شده در کشتی باعث تولید میکروپلاستیک می‌شود. طبق آمار، تخلیه میکروپلاستیک از کشتی‌های کروز ۱۰۰ هزارتن میکروپلاستیک در سال است [۲۹]. آلودگی میکروپلاستیک تولیدشده توسط صنعت کشتیرانی دریایی از طریق جریان دریایی منتقل می‌شود و بر آبی‌پروری ساحلی تأثیر می‌گذارد. طبق آمار، حدود ۱۵ درصد از میکروپلاستیک‌های موجود در دریا در مناطق ساحلی شناور هستند که منبع مهمی از میکروپلاستیک‌ها در آبی‌پروری ساحلی است [۳۰]. این امر توسط آلودگی میکروپلاستیک حاصل از مزارع آب دریا در دریای زرد، دریای بوهایی و دریای مائووی نشان داده شده است [۳۱].

میکروپلاستیک‌ها به‌طور مستقیم عمدتاً از زباله‌های زمین/خشکی نزدیک محیط آبی‌پروری نیز به محیط وارد می‌شوند. از طریق هوازگی و تجزیه کاتالیزگر نوری (Photocatalyst) زباله‌های پلاستیکی، به قطعات کوچک‌تر در اندازه میکرو شکسته می‌شوند [۳۲]. سپس این میکروپلاستیک‌ها از طرق مختلف مانند باد و باران به محیط آبی‌پروری حمل می‌شوند [۳۳]. به‌عنوان مثال، به دلیل انباشت زباله در اطراف حوضچه‌های آبی‌پروری ماروندا و موازاکمال، فراوانی میکروپلاستیک در آب به ترتیب در حدود $20/7 \pm 103/8$ ذرات در لیتر و $17/4 \pm 90/7$ ذره در لیتر بود [۳۴]. همچنین میکروپلاستیک در محیط جوی نیز وجود دارند. آن‌ها از جو به محیط آبی‌پروری از طریق رسوب‌گذاری منتقل می‌شوند. تحقیقات نشان می‌دهد که ریزش میکروپلاستیک‌ها از اتمسفر به داخل محیط شهر از ۱۷۵ تا ۳۱۳ ذره در مترمربع در روز متغیر است [۳۵]. اگرچه تعداد میکروپلاستیک‌هایی که از این طریق وارد محیط آبی‌پروری می‌شوند محدود است، اما تجمع آن‌ها بر آبی‌پروری تأثیر می‌گذارد. علاوه بر رسوب معمول جوی، آب‌وهوای شدید نیز بر فراوانی میکروپلاستیک‌ها در محیط آبی‌پروری تأثیر می‌گذارد و می‌تواند فراوانی میکروپلاستیک‌ها را در محیط آبی‌پروری با مهاجرت میکروپلاستیک‌های زمینی و رهاسازی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات آب افزایش دهد [۳۶].

۲-۲ میکروپلاستیک‌های تولید شده در طول آبی‌پروری (فرسودگی و سایش تجهیزات ماهیگیری پلاستیکی، تغذیه آبیان و بسته‌بندی محصولات آبی‌پروری)

ابزارهای ماهیگیری مورد استفاده در آبی‌پروری به ناچار میکروپلاستیک‌ها را به محیط آبی‌پروری وارد می‌کنند. به دلیل غوطه‌وری طولانی‌مدت، فرسایش، سایش و برخورد، تورها،

طناب‌های ماهیگیری، توپ‌های شناور و سایر محصولات پلاستیکی مورد استفاده برای کشت در قفس و کشت قایق می‌توانند میکروپلاستیک تولید کنند. تجزیه کاتالیزوری فرابنفش این فرایند را تسریع می‌کند [۳۷]. طناب‌های مختلف که به‌طور گسترده در آبی‌پروری استفاده می‌شوند ممکن است، بین $0/78$ و $6/39 \pm 2/33$ سانتی‌متر مکعب از حجم پلاستیک تخمینی در هر متر ساحل را تشکیل دهند و به‌طور بالقوه بین 300 تا 431 ± 1277 قطعه میکروپلاستیک در هر متر ساحل منتشر کنند [۳۸]. مطالعه آبی‌پروری دریایی ساحلی در ویهای چین نشان می‌دهد که غلظت میکروپلاستیک‌ها در مناطق کشت دریایی $11/49$ ذره در متر بیشتر از سایر مناطق بدون پرورش دریایی ($1/57$ ذره در متر) بود. مقدار بیشتر میکروپلاستیک‌ها در این مناطق از تورهای ماهیگیری، طناب‌ها و توپ‌های شناور فوم در مناطق پرورش دریایی منشأ می‌گیرند. قرارگرفتن حصارهای پلاستیکی در معرض نور خورشید باعث افزایش تولید میکروپلاستیک‌ها می‌شود. سخت‌پوستان آبی و صدف‌ها به شناورهای پلی‌استایرن منبسط‌شده در زیر اسکله‌های آبی‌پروری آسیب می‌رسانند و انتشار ذرات میکروپلاستیک افزایش می‌یابد. کیسه‌های مربوط به غذای آبیان نیز یکی دیگر از زباله‌های پلاستیکی است که منجر به افزایش غلظت میکروپلاستیک‌ها در سامانه آبی‌پروری می‌شود [۳۹].

پودر ماهی و کنجاله میگو مواد غذایی با پروتئین بالا هستند که عمدتاً از ماهی و میگو آزاد صید می‌شوند. با توجه به وجود گسترده آلودگی میکروپلاستیک، ماهی‌ها و میگو به‌عنوان خوراک آلوده، میکروپلاستیک‌ها را در طی فرایند تغذیه وارد محیط آبی‌پروری می‌کنند [۲۱]. به‌عنوان مثال تقریباً $50-100$ میلی‌گرم بر کیلوگرم پلی‌استایرن، $50-100$ میلی‌گرم بر کیلوگرم پلی‌استر در پودر ماهی ایتالیایی یافت شده است [۴۰]. بسته‌بندی آخرین مرحله خروج محصولات آبی‌پروری از محیط آبی‌پروری است. جعبه‌های پلی‌استایرن منبسط‌شده، جعبه‌های پلاستیکی راه‌راه و سینی‌های پلاستیکی معمولاً برای بسته‌بندی محصولات آبی‌پروری استفاده می‌شوند. مطالعات نشان داده‌اند که الیاف میکروپلاستیک ممکن است از بسته‌بندی‌های پلاستیکی مختلف آزاد شوند و فراوانی رهاسازی در پلاستیک‌های پلی‌استایرن بالاترین میزان است [۴۱]. بسته‌بندی پلی‌استایرن باعث آلودگی قزل‌آلای رنگین‌کمان به میکروپلاستیک می‌شود. علاوه بر این، فرسودگی و مدیریت ضعیف مواد مصرفی پلاستیکی مانند دستکش‌ها، کفش‌ها و پیش‌بند‌های لاستیکی که به‌طور گسترده توسط متخصصان آبی‌پروری مورد استفاده قرار می‌گیرد، آلودگی

باشند [۳۵] و این مواد جذب میکروپلاستیک ها شوند. اگر در سطوح این میکروپلاستیک ها زیست فیلم شکل گیرد، می تواند باعث آزاد شدن هیدروکربن ها در محیط آب شوند [۴۴]. بنابراین افزودنی های مضر در میکروپلاستیک ها و آلاینده های حمل شده با میکروپلاستیک ها می توانند به راحتی در محیط منتشر شوند که ممکن است خطر مصرف سموم را در محصولات آبی پروری افزایش دهد و تهدیدی برای انسان باشد. میکروپلاستیک ها همچنین اثرات نامطلوبی بر جامعه میکروبی محیط آبی دارند. به عنوان مثال، عوامل ضدباکتری به برخی از پلیمرها در طول ساخت آن ها اضافه می شود. این عوامل ضدباکتری می توانند از میکروپلاستیک ها آزاد و در میکروارگانیسم موجود در محیط آبی ممکن است مقاومت دارویی ایجاد کند. خطر گسترش بیماری های عفونی را افزایش می دهد. میکروپلاستیک ها ممکن است فراوانی ژن های مقاومت دارویی را در محیط های آبی پروری افزایش دهند و خطرات بالقوه از دست دادن اثربخشی داروها را افزایش دهند [۲۷]. همچنین میکروپلاستیک ها تعداد زیادی ویروس را می توانند با خود حمل کنند. مطالعات نشان داده اند که بیش از ۱۷۰۰ ویروس در میکروپلاستیک ها در محیط های آبی حمل می شود. این امر منجر به انتشار آلودگی در محیط آبی پروری، کاهش کیفیت آب، تولید محصولات آبی پروری و کاهش منافع اقتصادی آبی پروری می شود. میکروپلاستیک های انباشته شده در محیط آبی پروری از طریق تخلیه فاضلاب آبی پروری وارد منابع آب طبیعی می شوند و آلودگی به محیط های پذیرنده منتقل می شود [۳۹]. به طور کلی، میکروپلاستیک های موجود در منابع آبی خطرات آلودگی مختلفی را برای آبی پروری و محیط اطراف آن به همراه خواهند داشت.

۳-۲ اثرات میکروپلاستیک بر محصولات آبی پروری

میکروپلاستیک ها در بسیاری از محصولات آبی پروری، مانند ماهی، صدف، میگو و خرچنگ وجود دارد. میکروپلاستیک ها باعث ایجاد اثرات سمی متعدد از جمله تنش اکسایشی در محصولات آبی پروری و همچنین اثرات نامطلوب بر رفتار، رشد و تولید مثل آن ها دارند که در نهایت منجر به زیان اقتصادی برای تولیدکننده می شود. میکروپلاستیک ها اثرات گسترده و قابل توجهی بر عملکرد ماهی مانند متابولیسم لیپید، تنش اکسایشی، متابولیسم کربوهیدرات و دفع سموم دارند و وضعیت زیستی ماهی را تغییر می دهند، تولید گونه های اکسیژن فعال یا ROS (Reactive Oxygen S) را افزایش و پاسخ تنش اکسایشی را القا کنند [۴۵]. تولید زیاد ROS بر سطح کلسترول و فعالیت

میکروپلاستیک ها را در مناطق آبی پروری تشدید می کند [۴۲]. میکروپلاستیک ها در تمامی بخش های محیط آبی (ستون آب و رسوبات) آبی پروری وجود دارند و منابع اصلی آن ها ارتباط نزدیکی با محیط های طبیعی و اجتماعی دارد. به عنوان مثال، فراوانی میکروپلاستیک در مزارع خیار دریایی در نزدیکی خلیج لایژو در دریای بوهای به ۲۳ رودخانه مرتبط است که به خلیج لایژو می ریزند. این رودخانه ها فاضلاب صنایع ساحلی، کشاورزی و فعالیت های شهری را جمع آوری می کنند و در نتیجه ریزپلاستیک ها در خلیج لایژو تجمع می یابد. فراوانی بالای میکروپلاستیک ها در مزارع خیار دریایی خلیج جیاوژو به دلیل تخلیه آلودگی شهر پر جمعیت چینگدائو است. مناطق کوچک صنعتی و مسکونی در نزدیکی منطقه آبی پروری دهانه رودخانه چائو فرایا، تایلند، منجر به افزایش فراوانی میکروپلاستیک ها می شود [۴۳].

مطالعات نشان می دهد میکروپلاستیک های لیفی تقریباً در همه جای محیط های آبی پروری وجود دارند و تخمین زده می شود که فرسودگی ادوات ماهیگیری پلاستیکی مانند تورهای ماهیگیری دلیل مهمی برای وجود این الیاف است. فراوانی میکروپلاستیک ها در ماهیان پرورشی نسبت به ماهیان آزاد و در محیط بسته بیشتر است [۲۷].

۳ اثرات میکروپلاستیک بر آبی پروری

میکروپلاستیک ها و آلاینده های متصل به آن ها، اثرات نامطلوب بر محیط زیست آبی پروری، محصولات آبی پروری و سلامت انسان دارد.

۳-۱ اثرات میکروپلاستیک ها بر محیط آبی پروری

پلاستیک ها در طبیعت به سختی تخریب و تجزیه می شوند. میکروپلاستیک برای مدت طولانی به طور پایدار در محیط وجود دارند. محیط های آبی بر انتقال و سرنوشت آن ها اثر دارد. همچنین میکروپلاستیک ها می توانند شیمی محیط را تحت تأثیر قرار دهند. میکروپلاستیک ها و افزودنی های دارای اثرات سمی بر روی ریزجلبک های موجود در آب هستند که می تواند بر تعادل بوم شناختی محیط آبی پروری تأثیر بگذارد [۱۵]. در مقایسه با آلاینده های پلاستیکی بزرگ، میکروپلاستیک ها دارای مساحت سطح ویژه بالا هستند. به دلیل آب گریز بودن سطح، میکروپلاستیک ها می توانند با برخی هیدروکربن ها مانند هیدروکربن های آروماتیک حلقوی یا PAHs (Polycyclic Aro-matic Hydrocarbon)، آفت کش های ارگانوکلرین و پلی کلرو بی فنیل ها یا PCB (Polychlorinated Biphenyl) تعامل داشته

جنسی گونه‌های میگو داشته باشند [۵۵]. میکروپلاستیک‌ها همچنین دارای اثرات سم‌شناسی (Toxicology) بالقوه بر روی جنین محصولات آبی هستند. تحقیقات نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند تخم‌ریزی را در ماهی به تأخیر بیندازند، که ممکن است بر رفتار فرار شکارچی و مراحل بعدی رشد لاروی تأثیر بگذارد [۵۶].

اثرات نامطلوب متعدد میکروپلاستیک‌ها بر محصولات آبی‌پروری به معنای کاهش تولید آبی‌پروری است. به‌عنوان مثال، حدود ۵۰ درصد از بچه ماهیان تن طی ۳۰ روز پس از کشت در قفس مردند، میکروپلاستیک‌های پلی‌استایرن و سایر مواد معدنی در حدود یک سوم از ماهی‌های مرده یافت شدند. میزان مرگ‌ومیر میگوهای بالغ در معرض قطعات میکروپلاستیک به ۵ تا ۴۰ درصد رسید. گربه‌ماهی آفریقایی در معرض ۲ گرم در لیتر میکروپلاستیک پلی‌اتیلن نیز ۱۰ درصد تلفات را نشان داد [۵۷]. افزایش تلفات محصولات آبی‌پروری و کاهش بازده تولیدمثلی به معنای کاهش منافع اقتصادی آبی‌پروری است. طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸، به‌دلیل نرخ بالای تلفات آبی‌پروری صدف، تعداد شرکت‌های پرورش صدف دریایی Charente-Maritime در فرانسه ۲۸ درصد (از ۱۲۶۰ به ۹۱۰) کاهش یافت و تعداد مشاغل مرتبط ۱۶ درصد (از ۳۵۲۰ به ۲۸۱۰) کاهش یافت. اقتصاد به‌طور جدی تحت تأثیر قرار گرفت. لارو محصولات آبی‌پروری نیز منابع مهم اقتصادی هستند. کمیت و کیفیت تخم ماهی تحت تأثیر عوامل بسیاری قرار می‌گیرد و تأثیر عمیقی بر فرایند آبی‌پروری بعدی خواهد داشت. اثرات تولیدمثلی میکروپلاستیک‌ها بر روی محصولات آبی‌پروری ممکن است کمیت و کیفیت منابع آبی‌پروری مانند لارو ماهی را کاهش داده، در نتیجه مزایای اقتصادی آبی‌پروری را کم می‌کند.

۴ اثرات میکروپلاستیک بر سلامت محیط‌زیست و انسان

با توجه به اینکه میکروپلاستیک‌ها در زنجیره غذایی تجمع می‌یابند، می‌توانند بین سطوح تغذیه‌ای از گیاهخواران به گوشتخواران منتقل شوند [۱۲]. استفاده از محصولات آبی‌پروری مهم‌ترین منبع ورود میکروپلاستیک‌ها به بدن انسان است. میکروپلاستیک‌ها تقریباً در ۸۰ درصد از گونه‌های اصلی ماهیان که مصرف غذایی دارند، وجود دارند [۵۸]. تخمین زده می‌شود که هر فرد حدود $۱۰^۲ \times ۳/۳$ تا $۱۰^۳ \times ۳$ میکروپلاستیک در سال از ماهی و حدود $۱۰^۳ \times ۲/۶$ تا $۱۰^۴ \times ۱/۶$ میکروپلاستیک در سال از صدف‌ها مصرف می‌کند [۵۹]. مصرف محصولات آبی‌پروری آلوده به میکروپلاستیک‌ها می‌تواند اثرات نامطلوبی

آزیم مربوط به متابولیسم لیپید در ماهی تأثیر منفی می‌گذارد. میکروپلاستیک‌ها اثرات سمی بر سامانه ایمنی ماهی نیز دارند. مطالعات نشان داده‌اند که میکروپلاستیک‌های PVC و پلی‌اتیلن ترفتالات یا PET (Polyethylene Terephthalate) با اندازه‌های ۴۰ تا ۱۵۰ میکرومتر می‌توانند باعث آسیب اکسایشی به سلول‌های ماهی شوند [۴۶]. ذرات میکروپلاستیک با اندازه ذرات ۲۴ تا ۲۷ نانومتر می‌توانند بر رشد مغز ماهی اثر بگذارند. به‌عنوان مثال اثراتی مانند کند شدن رشد مغز، آسیب ساختاری و کاهش فعالیت استیل کولین استراز. ذرات کوچک‌تر ممکن است در رگ‌های خونی و بافت‌های اطراف مغز قرار گیرند و باعث آسیب مغزی شوند [۴۹-۴۷].

میکروپلاستیک‌ها می‌توانند بر عملکرد قلب و آبشش نیز اثر منفی بگذارند. به‌عنوان مثال، میکروپلاستیک‌های پلی‌استایرن یا PS (Polystyrene) ۵۱ نانومتری می‌توانند باعث تنش اکسایشی و کاهش ضربان قلب در گورخرماهی شوند [۵۰]. میکروپلاستیک‌هایی با اندازه ۶۰ میکرومتر می‌توانند باعث آسیب بافتی در آبشش گربه‌ماهی آفریقایی و Clarias gariepinus شوند. میکروپلاستیک‌ها اثرات سمی بر دیگر محصولات آبی‌پروری غیرماهی دارند. به‌عنوان مثال، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند منجر به پاسخ التهابی دستگاه گوارش صدف و باعث بی‌ثباتی در غشای لیزوزوم فاگوسیت خارپشت‌های دریایی و آپوپتوز شوند [۵۲، ۵۱].

میکروپلاستیک‌ها ممکن است بر رفتار رشد و تولیدمثل محصولات آبی‌پروری تأثیر بگذارند. میکروپلاستیک‌ها پس از بلعیده شدن توسط موجودات آبی به‌دلیل عدم هضم، به صورت پایدار در سامانه گوارش باقی‌مانده، باعث سیری کاذب شده و بر جذب مواد غذایی موجودات آبی تأثیر بگذارد یا حتی باعث انسداد دستگاه گوارش شود. بلع میکروپلاستیک‌های PET توسط صدف‌های خوراکی به‌طور قابل توجهی مصرف انرژی را افزایش و سرعت رشد را کاهش می‌دهند. ذرات پلی‌استایرن میزان افزایش وزن و سرعت رشد بچه ماهیان را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد [۵۳]. میکروپلاستیک‌ها و افزودنی‌های آن‌ها نیز اثرات نامطلوبی بر تولیدمثل محصولات آبی‌پروری دارند. به‌عنوان مثال، قرار گرفتن در معرض میکروپلاستیک‌های پلی‌استایرن اثرات منفی قوی در جذب انرژی و تخصیص و سلامت باروری صدف‌ها ایجاد کرد [۵۴]. بیسفنول ای آزاد شده از میکروپلاستیک‌ها می‌تواند بر اندام‌های تولیدمثل و غدد جنسی کپور تأثیر بگذارد. میکروپلاستیک‌ها و بیسفنول ای همچنین ممکن است با تداخل در متابولیسم و اختلال در تنظیم غدد درون‌ریز، اثرات نامطلوب بر رشد غدد

انسان وارد می‌کنند. از جمله سمیت تولیدمثلی (به‌عنوان مثال، بیس (۲-اتیل‌هگزایل) فتالات یا DEHP (Bis(۲-ethylhexyl)phthalate) و بیسفنول‌ای)، سرطان‌زایی (به‌عنوان مثال، کلرید وینیل و بوتادین) و جهش‌زایی (به‌عنوان مثال، بنزن و فنل) [۶۳].

۵ نتیجه‌گیری

در این مقاله بررسی تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر صنعت آبی‌پروری و سلامت محیط‌زیست و انسان مورد بررسی قرار گرفته شد. آلودگی میکروپلاستیک در محیط آبی‌پروری و محصولات آبی‌پروری به‌طور جهانی گسترش یافته، به روش‌های مختلفی به محیط‌های آبی‌پروری نفوذ کرده‌است. از جمله منابع میکروپلاستیک در آبی‌پروری از طریق محیط خارجی (شامل رودخانه، دریا، خشکی و جو) و طی فرایند آبی‌پروری (شامل کهنگی و سایش وسایل ماهیگیری پلاستیکی، تغذیه و بسته‌بندی محصولات آبی‌پروری) شناسایی شدند. همچنین منابع میکروپلاستیک رودخانه شامل پساب‌های صنعتی، فعالیت‌های انسانی، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، فعالیت‌های کشاورزی و غیره بودند. میکروپلاستیک به‌عنوان آلاینده‌های پلیمری، اثرات سمی بر روی ریزجلبک‌های موجود در آب گذاشته که می‌تواند بر تعادل بوم‌شناختی محیط آبی‌پروری اثرگذار باشد. میکروپلاستیک‌هایی با قطر حداکثر ۱۳۰ میکرومتر می‌توانند به رگ‌های خونی و غدد لنفاوی پستانداران نفوذ و با گردش خون و لنف به قسمت‌های مختلف بدن از جمله انسان منتقل و برخی از مواد افزودنی موجود در میکروپلاستیک‌ها آسیب جدی به بدن انسان وارد می‌کنند. از این‌رو با توجه به تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر صنعت آبی‌پروری و سلامت انسان و محیط‌زیست، نیازمند توجه جدی به این موضوع است تا اینکه بتوان این آلاینده را مدیریت و کنترل کرد.

بر انسان داشته باشد. میکروپلاستیک‌ها در برابر تخریب شیمیایی مقاوم هستند. اگر بلعیده شوند، در برابر حذف مکانیکی مقاومت می‌کنند. ماندگاری و دوز زیستی آن‌ها عوامل مهمی است که منجر به خطر آن‌ها می‌شود. در مورد سامانه گوارشی، مطالعات نشان می‌دهد میکروپلاستیک‌ها به دو طریق بر هضم و جذب تأثیر می‌گذارند: (۱) میکروپلاستیک‌ها فراهمی زیستی قطرات چربی را از طریق تشکیل هتروآگرگیت‌های میکروپلاستیک-لیپید به‌دلیل آب‌گریزی بالای میکروپلاستیک کاهش می‌دهند و (۲) میکروپلاستیک‌ها لیپاز را جذب کرده و فعالیت آن را با تغییر ساختار ثانویه کاهش می‌دهند [۶۰].

برخی مطالعات نشان داده‌اند که میکروپلاستیک‌هایی با قطر حداکثر ۱۳۰ میکرومتر می‌توانند به رگ‌های خونی و غدد لنفاوی پستانداران نفوذ کنند و با گردش خون و لنف به قسمت‌های مختلف بدن منتقل شوند و در نتیجه بر اندام‌های مختلف بدن انسان تأثیر می‌گذارند. سپس التهاب و پاسخ ایمنی را القا می‌کنند. میکروپلاستیک‌ها پس از ورود به خون باعث خون‌کافت می‌شوند. به‌طوری که نشان داده شد که میکروپلاستیک‌هایی با اندازه‌های ۲/۱۵ تا ۱۰۳/۲۷ میکرومتر در ۱۱ مایع بدن، از جمله خون کامل و مایع مغزی نخاعی و غیره یافت شده است [۶۱]. مطالعه آزمایشگاهی اثر میکروپلاستیک بر پستانداران که به‌عنوان مرجع استفاده می‌شود نشان داد ذرات نانو پلی‌استایرن (۲۰۲-۵۳۵ نانومتر) پس از بلعیده شدن توسط موش‌ها، وارد ریه‌ها شدند که باعث التهاب ریه و بلع، ۵ تا ۱۱۰ میکرومتر PVC باعث نرم شدن مغز، میکرونکروز و زخم در مغز سگ‌ها شد. میکروپلاستیک‌ها می‌توانند از طریق ماکروفاژها وارد غدد لنفاوی قفسه سینه شوند و از طریق گردش خون سیستمیک به اندام‌های هدف ثانویه از جمله کبد، کلیه، طحال، قلب و مغز برسند و درجات مختلفی از اثرات نامطلوب بر این اندام‌ها ایجاد کنند [۶۲]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که برخی از مواد افزودنی موجود در میکروپلاستیک‌ها آسیب جدی به بدن

مراجع

- Chen, G. Li, Y. Wang, J. Occurrence and Ecological Impact of Microplastics in Aquaculture Ecosystems. *Chemosphere*, 274, 129989, **2021**.
- Ma, J. Niu, X. Zhang, D. Lu, L. Ye, X. Deng, W. ... Lin, Z. High Levels of Microplastic Pollution In Aquaculture Water of fish Ponds in the Pearl River Estuary of Guangzhou, China. *Science of the Total Environment*, 744, 140679, **2020**.
- Bordos, G. Urbanyi, B. Micsinai, A. Kriszt, B. Palotai, Z. Szabo, I... Szoboszlai, S. Identification of Microplastics in Fish Ponds and Natural Freshwater Environments of the Carpathian Basin, Europe. *Chemosphere*, 216, 110-116, **2019**.
- Wang, C. Jiang, C. Gao, T. Peng, X. Ma, S. Sun, Q... Zhuang, X. Improvement of Fish Production and Water Quality in a Recirculating Aquaculture Pond Enhanced with Bacteria-Microalgae Association. *Aquaculture*, 547, 737420, **2022**.
- Li, J. Yang, D. Li, L. Jabeen, K. Shi, H. Microplastics in Commercial Bivalves from China. *Environmental Pollution*, 207, 190-195, **2015**.
- Barange, M. Fishery and Aquaculture Statistics. FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics= FAO Annuaire. Statistiques des Peches et de l'Aquaculture= FAO Anuario. *Estadisticas de Pesca y Acuicultura*, 1-82, **2018**.
- Gewert, B. Plassmann, M.M. MacLeod, M. Pathways for Degradation of Plastic Polymers Floating in the Marine Environment. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17(9), 1513-1521, **2015**.
- Do, A.T.N. Ha, Y. Kwon, J.H. Leaching of Microplastic-associated Additives in Aquatic Environments: A Critical Review. *Environmental Pollution*, 305, 119258, **2022**.
- Cao, L. Wang, W. Yang, Y. Yang, C. Yuan, Z. Xiong, S. Diana, J. Environmental Impact of Aquaculture and Countermeasures to Aquaculture Pollution in China. *Environmental Science and Pollution Research-international*, 14, 452-462, **2007**.
- Pannetier, P. Morin, B. Le Bihanic, F. Dubreil, L. Clerandau, C. Chouvellon, F...Cachot, J. Environmental Samples of Microplastics Induce Significant Toxic Effects in Fish Larvae. *Environment International*, 134, 105047, **2020**.
- Tang, Y. Han, Y. Zhang, W. Yu, Y. Huang, L. Zhou, W... Liu, G. Bisphenol A and Microplastics Weaken the Antimicrobial Ability of Blood Clams by Disrupting Humoral Immune Responses and Suppressing Hemocyte Chemotactic Activity. *Environmental Pollution*, 307, 119497, **2022**.
- Tang, Y. Liu, Y. Chen, Y. Zhang, W. Zhao, J. He, S...Yang, Z. A review: Research progress on Microplastic Pollutants in Aquatic Environments. *Science of the Total Environment*, 766, 142572, **2021**.
- Kuebler, W.M. Jordt, SE. Liedtke, W.B. Urgent Reconsideration of Lung Edema as a Preventable Outcome in COVID-19: Inhibition of TRPV4 Represents a Promising and Feasible Approach. *American Journal of Physiology-lung Cellular and Molecular Physiology*, 318(6), L1239-L1243, **2020**.
- Lim, D. Jeong, J. Song, K.S. Sung, J.H. Oh, S.M. Choi, J. Inhalation Toxicity of Polystyrene Micro (Nano) Plastics Using Modified OECD TG 412. *Chemosphere*, 262, 128330, **2021**.
- Zhang, D. Fraser, M. A. Huang, W. Ge, C. Wang, Y. Zhang, C. Guo, P. Microplastic Pollution in Water, Sediment, and Specific Tissues of Crayfish (*Procambarus clarkii*) Within Two Different Breeding Modes in Jianli, Hubei Province, China. *Environmental Pollution*, 272, 115939, **2021**.
- Zhou, A. Zhang, Y. Xie, S. Chen, Y. Li, X. Wang, J.nZou, J. Microplastics and Their Potential Effects on the Aquaculture Systems: a Critical Review. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 719-733, **2021**.
- Zhou, W. Han, Y. Tang, Y. Shi, W. Du, X. Sun, S. Liu, G. Microplastics Aggravate the Bioaccumulation of two Waterborne Veterinary Antibiotics in an Edible Bivalve Species: Potential Mechanisms and Implications for Human Health. *Environmental Science & Technology*, 54(13), 8115-8122, **2020**.
- Kusnierz, P.C. Jager, H.I. Todd, A.S. A Call for Collaboration Among Water Quality and Fisheries Professionals. *Fisheries*, 45(3), 157-162, **2020**.
- Kumar, R. Sharma, P. Manna, C. Jain, M. Abundance, Interaction, Ingestion, Ecological Concerns, and Mitigation Policies of Microplastic Pollution in Riverine Ecosystem: A Review. *Science of the Total Environment*, 782, 146695, **2021**.
- Deng, H. Wei, R. Luo, W. Hu, L. Li, B. Shi, H. Microplastic Pollution in Water and Sediment in a Textile Industrial area. *Environmental Pollution*, 258, 113658, **2020**.
- Carney Almroth, B.M. Astrom, L. Roslund, S. Petersson, H. Johansson, M. Persson, N.K. Quantifying Shedding of Synthetic Fibers from Textiles; a Source of Microplastics Released into the Environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 1191-1199, **2018**.
- Sun, J. Dai, X. Wang, Q. Van Loosdrecht, M.C. Ni, B.J. Microplastics in Wastewater Treatment Plants: Detection, Occurrence and Removal. *Water Research*, 152, 21-37, **2019**.

23. Ziajahromi, S. Neale, P.A. Silveira, I.T. Chua, A. Leusch, F.D. An Audit of Microplastic Abundance Throughout three Australian Wastewater Treatment Plants. *Chemosphere*, 263, 128294, **2021**.
24. Guerranti, C. Cannas, S. Scopetani, C. Fastelli, P. Cincinelli, A. Renzi, M. Plastic Litter in Aquatic Environments of Maremma Regional Park (Tyrrhenian Sea, Italy): Contribution by the Ombrone River and Levels in Marine Sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 117(1-2), 366-370, **2017**.
25. Lebreton, L.C. Van Der Zwet, J. Damsteeg, J.W. Slat, B. Andrad, A. Reisser, J. River Plastic Emissions to the World's Oceans. *Nature Communications*, 8(1), 15611, **2017**.
26. Liu, Q. Chen, Z. Chen, Y. Yang, F. Yao, W. Xie, Y. Microplastics and Nanoplastics: Eemerging Contaminants in Food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(36), 10450-10468, **2021**.
27. Ta, A.T. Babel, S. Microplastics pollution with heavy metals in the aquaculture zone of the Chao Phraya River Estuary, Thailand. *Marine pollution bulletin*, 161, 111747, **2020**.
28. Worm, B. Lotze, H.K. Jubinville, I. Wilcox, C. Jambeck, J. Plastic as a Persistent Marine Pollutant. *Annual Review of Environment and Resources*, 42(1), 1-26, **2017**.
29. Van Sebille, E. Wilcox, C. Lebreton, L. Maximenko, N. Hardesty, B.D. Van Franeker, J. A... Law, K.L. A Global Inventory of Small Floating Plastic Debris. *Environmental Research Letters*, 10(12), 124006, **2015**.
30. Yang, H. Chen, G. Wang, J. Microplastics in the Marine Environment: Sources, Fates, Impacts and Microbial Degradation. *Toxics*, 9(2), 41, **2021**.
31. Zhu, J. Zhang, Q. Huang, Y. Jiang, Y. Li, J. Michal, J.J... Lan, W. Long-term Trends of Microplastics in Seawater and Farmed Oysters in the Maowei Sea, China. *Environmental Pollution*, 273, 116450, **2021**.
32. Hartmann, N.B. Huffer, T. Thompson, R.C. Hasselov, M. Verschoor, A. Daugaard, A.E.... Wagner, M. Are we Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris, **2019**.
33. Dong, H. Wang, L. Wang, X. Xu, L. Chen, M. Gong, P. Wang, C. Microplastics in a Remote lake Basin of the Tibetan Plateau: Impacts of Atmospheric Transport and Glacial Melting. *Environmental Science & Technology*, 55(19), 12951-12960, **2021**.
34. Priscilla, V. Patria, M.P. Comparison of Microplastic Abundance in Aquaculture Ponds of Milkfish *Chanos Chanos* (Forsskål, 1775) at Muara Kamal and Marunda, Jakarta Bay. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 404, 1, 012027). IOP Publishing, **2020**.
35. Cai, L. Wang, J. Peng, J. Tan, Z. Zhan, Z. Tan, X. Chen, Q. Characteristic of Microplastics in the Atmospheric Fallout from Dongguan City, China: Preliminary Research and First Evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 24928-24935, **2017**.
36. Wang, J. Lu, L. Wang, M. Jiang, T. Liu, X. Ru, S. Typhoons Increase the Abundance of Microplastics in the Marine Environment and Cultured Organisms: a Case Study in Sanggou Bay, China. *Science of the Total Environment*, 667, 1-8, **2019**.
37. Song, Y.K. Hong, S.H. Jang, M. Han, G.M. Jung, S.W. Shim, W.J. Combined Effects of UV Exposure Duration and Mechanical Abrasion on Microplastic Fragmentation by Polymer Type. *Environmental Science & Technology*, 51(8), 4368-4376, **2017**.
38. Wright, L.S. Napper, I.E. & Thompson, R.C. Potential Microplastic Release from Beached Fishing gear in Great Britain's Region of Highest Fishing Litter Density. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113115, **2021**.
39. Xiong, X. Liu, Q. Chen, X. Wang, R. Duan, M. Wu, C. Occurrence of Microplastic in the Water of Different Types of Aquaculture Ponds in an Important Lakeside Freshwater Aquaculture area of China. *Chemosphere*, 282, 131126, **2021**.
40. Castelvetro, V. Corti, A. Bianchi, S. Giacomelli, G. Manariti, A. Vinciguerra, V. Microplastics in Fish Meal: Contamination Level Analyzed by Polymer Type, Including Polyester (PET), Polyolefins, and Polystyrene. *Environmental Pollution*, 273, 115792, **2021**.
41. Du, F. Cai, H. Zhang, Q. Chen, Q. Shi, H. Microplastics in Take-out Food Containers. *Journal of Hazardous Materials*, 399, 122969, **2020**.
42. Alak, G. Kokturk, M. Atamanalp, M. Evaluation of Different Packaging Methods and Storage Temperature on MPs Abundance and Fillet Quality of Rainbow Trout. *Journal of Hazardous materials*, 420, 126573, **2021**.
43. Mohsen, M. Wang, Q. Zhang, L. Sun, L. Lin, C. Yang, H. Microplastic Ingestion by the Farmed sea Cucumber *Apostichopus Japonicus* in China. *Environmental Pollution*, 245, 1071-1078, **2019**.
44. Rummel, C.D. Jahnke, A. Gorokhova, E. Kuhnel, D. Schmitt-Jansen, M. Impacts of Biofilm Formation on the Fate and Potential Effects of Microplastic in the Aquatic Environment. *Environmental Science & Technology Letters*, 4(7), 258-267, **2017**.
45. Jacob, H. Besson, M. Swarzenski, P.W. Lecchini, D. Metian, M. Effects of Virgin Micro-and Nanoplastics on Fish:

- Trends, Meta-analysis, and Perspectives. *Environmental Science & Technology*, 54(8), 4733-4745, **2020**.
46. Espinosa, C. Esteban, M.A. Cuesta, A. Dietary Administration of PVC and PE Microplastics Produces Histological Damage, Oxidative Stress and Immunoregulation in European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Fish & Shellfish Immunology*, 95, 574-583, **2019**.
47. Barboza, L.G.A. Vieira, L.R. Guilhermino, L. Single and Combined Effects of Microplastics and Mercury on Juveniles of the European Seabass (*Dicentrarchus Labrax*): Changes in Behavioural Responses and Reduction of Swimming Velocity and Resistance Time. *Environmental Pollution*, 236, 1014-1019, **2018**.
48. LeMoine, C.M. Kelleher, B.M. Lagarde, R. Northam, C. Elebute, O.O. Cassone, B.J. Transcriptional Effects of Polyethylene Microplastics Ingestion in Developing Zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Pollution*, 243, 591-600, **2018**.
49. Schur, C. Rist, S. Baun, A. Mayer, P. Hartmann, N.B. Wagner, M. When Fluorescence is not a Particle: the Tissue Translocation of Microplastics in *Daphnia Magna* Seems an Artifact. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(7), 1495-1503, **2019**.
50. Pitt, J.A. Kozal, J.S. Jayasundara, N. Massarsky, A. Trevisan, R. Geitner, N.... Di Giulio, R. (2018). Uptake, Tissue Distribution, and Toxicity of Polystyrene Nanoparticles in Developing Zebrafish (*Danio Rerio*). *Aquatic Toxicology*, 194, 185-194, **2018**.
51. Phonphan, W. Diep, N.T.H. Korsem, T. Determination Aquaculture Area in Thanh Phu District, Ben Tre Province, Vietnam Using Remote Sensing Technology. *Advanced Science Letters*, 24(7), 5355-5358, **2018**.
52. Romano, N. Ashikin, M. Teh, J.C. Syukri, F. Karami, A. Effects of Pristine Polyvinyl Chloride Fragments on Whole Body Histology and Protease Activity in Silver Barb *Goniistius* fry. *Environmental Pollution*, 237, 1106-1111, **2018**.
53. Colferai, A.S. Silva-Filho, R.P. Martins, A.M. Bugoni, L. Distribution Pattern of Anthropogenic Marine Debris Along the Gastrointestinal Tract of Green Turtles (*Chelonia mydas*) as Implications for Rehabilitation. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 231-237, **2017**.
54. Sussarellu, R. Suquet, M. Thomas, Y. Lambert, C. Fabioux, C. Pernet, M.E.J... Huvet, A. (2016). Oyster Reproduction is Affected by Exposure to Polystyrene Microplastics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(9), 2430-2435, **2016**.
55. Han, Y. Shi, W. Tang, Y. Zhou, W. Sun, H. Zhang, J.... Liu, G. Microplastics and Bisphenol A Hamper Gonadal Development of Whiteleg Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) by Interfering with Metabolism and Disrupting Hormone Regulation. *Science of the Total Environment*, 810, 152354, **2022**.
56. Bonfanti, P. Colombo, A. Saibene, M. Motta, G. Saliu, F. Catelani, T... & Mantecca, P. Microplastics from Miscellaneous Plastic Wastes: Physico-chemical Characterization and Impact on Fish and Amphibian Development. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225, 112775, **2021**.
57. Tongo, I. Erhunmwunse, N.O. Effects of Ingestion of Polyethylene Microplastics on Survival Rate, Opercular Respiration Rate and Swimming Performance of African Catfish (*Clarias Gariepinus*). *Journal of Hazardous Materials*, 423, 127237, **2022**.
58. Walkinshaw, C. Lindeque, P.K. Thompson, R. Tolhurst, T. Cole, M. Microplastics and Seafood: Lower Trophic Organisms at Highest Risk of Contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, 110066, **2020**.
59. Senathirajah, K. Attwood, S. Bhagwat, G. Carbery, M. Wilson, S. Palanisami, T. Estimation of the Mass of Microplastics Ingested—A Pivotal First Step Towards Human Health Risk Assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124004, **2021**.
60. Tan, H. Yue, T. Xu, Y. Zhao, J. Xing, B. Microplastics Reduce Lipid Digestion in Simulated Human Gastrointestinal System. *Environmental Science & Technology*, 54(19), 12285-12294, **2020**.
61. Guan, Q. Jiang, J. Huang, Y. Wang, Q. Liu, Z. Ma, X... Xia, Y. The Landscape of Micron-scale Particles Including Microplastics in Human Enclosed Body Fluids. *Journal of Hazardous materials*, 442, 130138, **2023**.
62. Kreyling, W.G. Semmler-Behnke, M. Seitz, J. Scymczak, W. Wenk, A. Mayer, P... Oberdörster, G. Size Dependence of the Translocation of Inhaled Iridium and Carbon Nanoparticle Aggregates from the Lung of Rats to the Blood and Secondary Target Organs. *Inhalation Toxicology*, 21(sup1), 55-60, **2009**.
63. Powell, J.J. Faria, N. Thomas-McKay, E. Pele, L.C. Origin and Fate of Dietary Nanoparticles and Microparticles in the Gastrointestinal Tract. *Journal of Autoimmunity*, 34(3), J226-J233, **2010**.

