نشریه آموزشی- پژوهشی موسسه تحقیقات علوم دامی کشور
فصلنامه تحقیقات کاربردی در علوم دامی
شماره ٤٤، پاییـز ١٤٠١
ص‌ص: ٤٩~٦٢

نقش ریزپلاستیک ها به عنوان آلاینده های نوظهور در سلامت انسان و دام

- **مهدی امیرصادقی** (نویسنده مسئول)

مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت : اردیبهشت ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش : شهریور ۱۴۰۱

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۲۶۳۴۲۵۶۰۰۱

Email: m.amirsadeghi@areeo.ac.ir

شناسه دیجیتال (DOI):10.22092/ aasrj.2022.359265.1258

چکیده:

استفاده از مواد پلاستیکی در زندگی توسعه‌یافته بشری به امری بدیهی تبدیل شده است و استفاده از انواع پلاستیک ها چه در مصارف روزانه چه در مصارف صنعتی روز به روز در حال گسترش است. با توجه به اینکه مواد پلاستیکی دیر تجزیه می‌شوند، اثرات ذرات و قطعات حاصل از تجزیه مواد پلاستیکی که در سال‌های قبل در طبیعت رها شده‌اند، کم کم در حال بروز است. تشکیل مقادیر بسیار زیاد میکروپلاستیک‌ها حاصل از تجزیه پلاستیک‌ها اکنون به معظلی جهانی تبدیل شده است. این مواد هم خود می‌توانند منشاء بسیاری از بیماری‌ها باشند و هم می‌توانند بر روی سطح خود مواد بیماری‌زای مختلفی را حمل و در کل زیست کره پخش کنند. با توجه به قرار گرفتن دام و انسان در بالای هرم زنجیره غذایی، هر گونه آلودگی در سطح آب، خاک و یا هوا در نهایت به دام و از دام به انسان منتقل خواهد شد. وجود میکروپلاستیک‌ها در روده دام و طیور سبب تغییر در جمعیت میکروبی روده و در نتیجه بروز بیماری در دام می‌شود. در اعضاء دیگر مانند روده، کبد، کلیه، ریه، طحال، قلب، تخمدان و بیضه دام نیز این ذرات مشاهده شده‌اند که سبب تغییرات بیوشیمیایی، تخریب ساختاری و نقص درعملکرد می‌شوند. برای شکم مرغ، فضولات مرغ و مدفوع گوسفند به ترتیب مقادیر ۵، ۱۰۵ و ۱۰۰۰ (ذره میکروپلاستیک در کیلوگرم) و برای شیر ٦٥٠٠ (ذره در مترمکعب) گزارش شده است. لازم است با آگاهی از مضرات میکروپلاستیک‌ها، در تحقیات پیش رو، مقدار این مواد در جیره دام و محصولات تولیدی اندازه‌گیری شده و نیز ارتباط آن با بیماری‌های دام بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: پلاستیک، میکروپلاستیک، بیماری، دام، محیط زیست.

Applied Animal Science Research Journal No 44 pp: 49-62

The Role of Microplastics as an Emerging Pollutant in animals and Humans wellbeing

By: Mehdi Amirsadeghi
Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: May 2022 **Accepted: September 2022**

The use of plastic materials in developed human lives is inevitable and application of broad band of plastics both in daily use and in industrial and technical use has developed every day. By considering of slow rate of degradation of plastics materials, fragmentation and cracking of these materials that released in nature in previous years become started. Degradation of plastics and converting to microplastics in huge amounts, became a global problem and pollution of soil, water, air, and consequently for plant, animals and human is alarmed. These materials can be a source of diseases by themselves and as a hostage for other pathogenic materials that can spread them throughout biosphere. Due to position of animals and human in top of the food chain, any pollution in soil, water or air transferred to them in final. Presence of micro plastics in animals gut make change in microflora population and subsequently affect animal's health. Particles were detected in other organs such as intestines, livers, kidneys, lungs, spleens, hearts, ovaries, and testes of the animals, causing biochemical changes, structural damage and dysfunction. The amounts of 5, 105 and 1000 (particle/kg) have been reported for chicken stomach, chicken feces and sheep feces respectively and 6500 (particle/m^3) for milk. By considering the harmfulness of microplastics, it is necessary to investigate amounts of them and their effects on animal diseases in upcoming research.

Key words: Plastic, Microplastic, Disease, Animal, Environment.

مقدمه

ساخت مواد پلاستیکی یک اکتشاف بزرگ در حوزه مواد بود که با پیشرفت فناوری، تولید آن گسترش وسیعی یافته است و مزیت‌های زیادی از نظر اقتصادی، کارکرد و قابلیت جایگزینی مواد دیگر را به همراه داشته است. طبق آمار رسمی در سال ۲۰۱۹ میزان تولید پلاستیک در جهان به مقدار ۸/۳ میلیارد تن رسید که تنها حدود ۲۰ درصد آن بازیافت می‌شود و ۸۰ درصد باقیمانده در خاک، رودخانه‌ها، و اقیانوس‌ها انباشته می‌شود (Yu et al., 2022).

پسماندهای پلاستیکی با سرعت بسیار کم تجزیه می‌شوند و تجزیه یک قطعه پلاستیکی با ضخامت یک میلیمتر به چند دهه تا چند قرن برای تجزیه نیاز دارد که به نوع مواد شیمیایی و شرایط محیطی وابسته است. در طی فرایند تجزیه، مواد پلاستیکی به اجزاء کوچکتر تبدیل می‌شوند. ذرات پلاستیکی که اندازه کمتر از ۵ میلیمتر داشته باشند را با عنوان میکروپلاستیک‌ها نام‌گزاری کرده‌اند (Zolotova et al., 2022). میکروپلاستیک‌ها[1] آلاینده‌های هستند که به واسطه خطراتی که برای زیست بوم ایجاد کرده اند، به تازگی مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند. برخلاف ضایعات معمولی پلاستیکی، میکروپلاستیک‌ها را نمی‌توان به راحتی جمع آوری و بازیافت کرد.

مواد ریزساختار پلاستیکی را بر اساس اندازه ذرات پلاستیکی، شکل ذرات، منشاء تولید و ترکیب مواد پلیمری آنها در دسته‌بندی‌های مختلفی قرار می‌دهند. بر اساس اندازه ذرات آنها را به ماکروپلاستیک‌ها (ذرات بزرگتر به از ۲۵ میلیمتر)، مزوپلاستیک‌ها (بین ۵ تا ۲۵ میلیمتر)، میکروپلاستیک‌ها (کمتر از

[1] Micro Plastics (MP)

۵ میلیمتر) تقسیم بندی می‌کنند. خود میکروپلاستیک‌ها به گروه‌های میکروپلاستیک‌های بزرگ (بین ۱ تا ۵ میلیمتر)، میکروپلاستیک‌های کوچک (بین ۲۰ میکرومتر تا ۱میلیمتر) و نانوپلاستیک‌ها (بین ۱ تا ۱۰۰۰ نانومتر) تقسیم‌بندی می‌شوند (Gigault et al., 2018; Toussaint et al., 2019).

بر اساس شکل میکروپلاستیک‌ها به گروه‌های: دانه‌ای، تکه‌ای، ورقه‌ای، حبه‌ای، رشته‌ای و اسفنجی تقسیم‌بندی می‌شوند (Lusher et al., 2017).

بر اساس منشاء میکروپلاستیک‌ها به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند: میکروپلاستیک‌های اولیه و میکروپلاستیک‌های ثانویه. میکروپلاستیکهای اولیه موادی هستند که در واقع برای کاربرد خاص، از مواد پلاستیکی در ابعاد میکرو ساخته شده اند، مانند ساینده ها در سندبلاست، رنگ و پوشش، محصولات مراقبت شخصی مانند مواد لایه بردار، کِرِم ها، ماسک صورت و خمیردندان. بیشتر این مواد به عنوان اجزاء تشکیل دهنده در محصولاتی که اغلب به صورت روزانه استفاده می‌شوند وجود دارند و همین عامل آنها را به مهمترین منبع تولید میکروپلاستیک‌ها تبدیل کرده است. میکروپلاستیک‌های ثانویه از تکه تکه شدن مواد پلاستیکی بزرگتر، زباله‌های پلاستیکی یا شکسته شدن مرحله‌ای مواد پلاستیکی بزرگ در اثر عوامل فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی تشکیل می‌شوند. از مهمترین مثال‌های تشکیل میکروپلاستیک‌های ثانویه می‌توان به تخریب مالچ‌های پلاستیکی[۲] باقی مانده در خاک، ساییدگی و پارگی لاستیک خودروها، تجزیه مواد پلاستیکی در استفاده روزانه (کیسه های نایلونی) و نیز مواد آزاد شده در اثر شستشوی الیاف مصنوعی موجود در البسه اشاره کرد (Kaur et al., 2022).

بر اساس نوع مواد تشکیل دهنده میکروپلاستیک‌ها انواع بسیار متنوعی از مواد پلیمری و ترکیبات آنها را شامل می‌شود که از جمله پرکاربردترین آنها که در حجم و مقدار زیاد نیز تولید می‌شوند میتوان به پلی اتیلن با دانسیته پایین[۳](LDPE)، پلی ایتلن با دانسیته بالا[۴](HDPE)، پلی اتیلن تر فتالات (PET)، پلی پروپیلن (PP)، پلی استایرن (PS)، پلی وینیل کلرید (PVC) و انواع نایلون‌ها اشاره کرد (J. Huang et al., 2021). ساختار بعضی از مهمترین مواد پلیمری در جدول- ۱ آورده شده است.

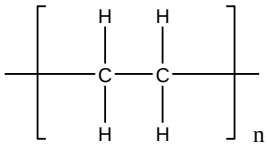
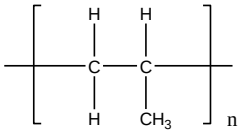
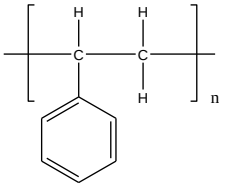
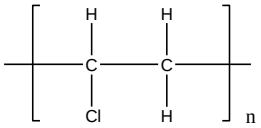
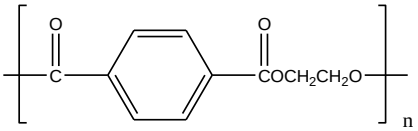
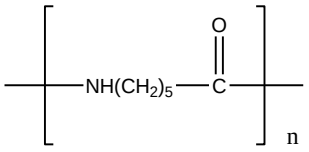
[2] Plastic mulch (پوشش پلاستیکی که به منظور حفظ رطوبت، خواص آلی خاک و مبارزه با علف هرز بر روی سطح زمین کشاورزی گسترده می‌شود)

[3] Low density polyethylene (LDPE)

[4] High density polyethylene (HDPE)

فصلنامه تحقیقات کاربردی در علوم دامی

جدول ۱ – نام و ساختار برخی از پلیمرهای پرمصرف

نوع پلیمر	ساختار	نوع پلیمر	ساختار
پلی اتیلن		پلی پروپیلن	
پلی استایرن		پلی وینیل کلرید	
پلی اتیلن تر فتالات		نایلون	

میکروپلاستیک‌ها به واسطه آبگریزی، اندازه کوچک، سطح ویژه بالا و پایداری شیمیایی ممکن است در محیط زیست تجمع یابند، مهاجرت کنند یا نفوذ کنند و می‌توانند آلودگی‌های دیگر مانند آنتی‌بیوتیک ها و فلزات سنگین را نیز با خود حمل کنند. خطرات ناشی از آلودگی میکروپلاستیک‌ها به حدی زیاد و جدی است که سازمان بهداشت جهانی از آنها به عنوان آلاینده های نوظهور[5] که جهان با خطرات آن روبرو است یاد کرده است (Yu et al., 2022).

خطرات و بیماری های ناشی از میکروپلاستیک‌ها:

اثر ذرات میکروپلاستیک بر موجودات زنده بیشتر به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این ذرات بستگی دارد. خواص شیمیایی میکروپلاستیک‌ها را نوع پلیمر مصرفی و گونه افزودنی‌ها مشخص می‌کند. انواع پلیمرهای پرمصرف در جدول ۱ مشخص شده‌اند و انواع افزودنی‌ها که برای بهبود خواص مواد پلیمری به آنها اضافه می‌شوند شامل انواع نرم‌سازها[6]، آنتی‌اکسیدان‌ها، پایدارکننده ها در مقابل اشعه فرابنفش، روان‌سازها[7]، رنگ‌ها و مواد ضدحریق هستند. خواص فیزیکی میکروپلاستیک‌ها توسط شکل و اندازه ذرات، کشسانی[8]، مقاومت برشی[9] و بار سطحی آنها تعیین می‌شوند (Zolotova et al., 2022).

مشخص شده است که میکروپلاستیک‌ها دارای اثرات جانبی مضر برای گیاهان، حیوانات، جمعیت میکروبی، ساختار و کارکرد خاک و در نهایت سلامتی دام و انسان دارند. برای مثال وجود میکروپلاستیک‌ها در خاک، ممانعت از رشد[10]، تخریب دستگاه گوارش، کاهش وزن، افزایش مرگ و میر، کاهش پاسخ ایمنی، کاهش تولید مثل و تغییر فعالیت باکتریایی را بر روی کرم خاکی نشان داده است (J. Huang et al., 2021).

میکروپلاستیک‌ها می‌توانند به عنوان حامل (ناقل) انواع آلاینده‌های دیگر مانند فلزات سنگین، داروها و محصولات مراقبت شخصی[11]، آلاینده های آلی آبگریز، روان‌سازهای پلیمری و عوامل بیماری زا[12] عمل کنند. آزاد شدن فلزات روی و مس را از میکروپلاستیک‌های نظیر پلی استایرن و پلی وینیل کلرید در آب دریا گزارش شده است (Brennecke et al., 2016).

[5] Emerging Pollutants
[6] Plasticizers
[7] Lubricants
[8] Elasticity
[9] Shear strength
[10] Growth Inhibitions
[11] Pharmaceutical And Personal Care Products (PPCPs)
[12] Pathogens

مواد شیمیایی خطرناکی مانند هگزاکلروسیکلوهگزان[13]، هیدروکربنهای آروماتیک چند حلقه‌ای[14]، بی‌فنیل‌های چند کلره[15] و بی‌فنیل اترهای چند برومه[16] از جمله آلاینده های آلی آبگریزی (HOCs) هستند که همراه با میکروپلاستیک (اغلب به صورت اتصال با میکروپلاستیک‌های با پایه پلی اتیلن) در محیط زیست مشاهده می‌شوند.

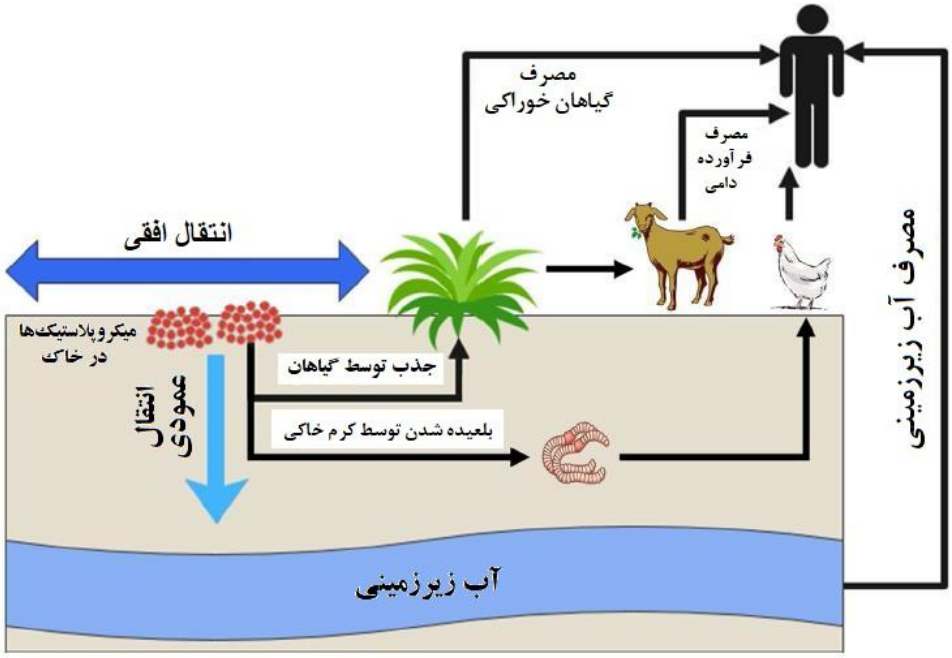
داروها و محصولات مراقبت شخصی مانند کاربازپین، ۴- متیل بنزیلیدن کامفور، تری کلوزان، ۱۷- آلفا اتینیل اِسترا دی اُل[17] (نوعی هورمون سنتزی) تمایل زیادی به پیوند با پلی اتیلن های موجود در میکروپلاستیک دارند.

عوامل بیماری‌زا می‌توانند با تشکیل کلونی بر روی سطح میکروپلاستیک‌ها متصل شوند و در بین آنها موارد ژنتیکی مقاوم به آنتی‌بیوتیک[18] نیز وجود داشته باشد که منجر به تکثیر زیاد اَبَرمیکروب‌ها[19] شود.

مسئله بسیار مهم در مورد میکروپلاستیک این است که این مواد می‌توانند آلودگی را به مناطق دوردست مانند مناطق کوهستانی مرتفع، اقیانوس‌ها، بیابان ها، دشت و کویر و مناطق قطبی منتقل کنند، مناطقی که پیش از این سالم در نظر گرفته می‌شدند (Blackburn and Green, 2022).

انسان‌ها میتوانند به دو صورت در معرض میکروپلاستیک‌ها قرار گیرند: به صورت مستقیم مانند بلع مستقیم، تنفس یا تماس پوستی با میکروپلاستیک‌های موجود در خاک، آب و هوا و به صورت غیرمستقیم با انتقال از زنجیره غذایی[20]. در شکل(۱) روشهای انتقال میکروپلاستیک‌ها به بدن انسان نشان داده شده است.

[13] Hexachlorocyclohexane (HCH)
[14] Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs),
[15] Polychlorinated Biphenyls (PCBs)
[16] Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs)
[17] 17α-ethinyl estradiol (EE2)
[18] Antibiotic Resistance Genes (ARGs)
[19] Superbug (باکتری، ویروس، انگل و یا قارچ های که نسبت به آنتی بیوتیک ها و یا درمان های دارویی دیگر مقاوم هستند) ،
[20] Trophic Transfer



شکل ۱ – راه های انتقال میکروپلاستیک به دام و انسان. برگرفته از (Kurniawan et al., 2021).

تعداد زیادی از محصولات آرایشی – بهداشتی مانند خمیردندان، لایه بردارها و .. دارای مقدار زیادی میکروپلاستیک هستند که به صورت مستقیم در تماس با پوست قرار می‌گیرند اما برای اینکه از لایه اپیدرم پوست عبور کنند باید اندازه‌های کمتر از ۱۰۰ نانومتر داشته باشند و پوست به عنوان یک سد از عبور بسیاری از میکروپلاستیک‌ها جلوگیری می‌کند. میکروپلاستیک‌ها همچنین در هوا و اتمسفر نیز وجود دارند و می‌توانند توسط سیستم تنفسی انسان یا دام جذب شوند. مطالعات نشان داده است که ذرات کوچک میکروپلاستیک می‌توانند حتی از بافت اپیتلیوم ریه عبور کنند. مطالعات نشان داده است که برای شخصی با فعالیت کم، روزانه ۲۷۲ ذره میکروپلاستیک در روز تنفس میکند. گوارش اصلی‌ترین راه ورود میکروپلاستیک‌ها به بدن است. میکروپلاستیک‌ها هم در آب آشامیدنی و هم در انواع غذاها وجود دارند. لوله گوارشی در تماس مستقیم با میکروپلاستیک‌ها قرار می‌گیرد و از این طریق میکروپلاستیک‌ها می‌توانند وارد سیستم گردش خون شده و به بافت‌های مختلف وارد شده و آنها را نیز تحت اثر قرار دهند یا اینکه در روده‌ها تجمع یابند و در آنجا با میکروارگانیسم‌های موجود در روده برهمکنش ایجاد کنند (Z. Huang et al., 2021).

به تازگی موارد وجود میکروپلاستیک‌ها در مواد غذایی انسانی مانند عسل، شیر، نوشیدنی‌ها، غذاهای دریایی، نمک طعام و آب آشامیدنی گزارش شده است (Zhang et al., 2020).

مقدار شیر تولید شده در ایران در سال ۱۳۹۸ حدود ۱۱ میلیون تن اعلام شده است (آمار مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات دامی) و میزان تولید شیر در جهان در سال ۲۰۱۸ نیز بالغ بر ۸۴۳ میلیون تن برآورد شده است. تولید صنعتی شیر دستخوش توسعه فناوری های جدید در بهبود موارد بهداشتی جهت افزایش سلامتی انسان شده است که بر ترکیبات شیر اثرگذار بوده است. احتمال آلودگی شیر با میکروپلاستیک‌ها می‌تواند به سبب استفاده از تجهیزات ضعیف در قسمت عملیات شستشو[21] ، محیط اطراف، منابع آب و نگه‌داری غیر اصولی شیر باشد. مطالعه‌ای بر روی ۲۳ نمونه شیر در مکزیک انجام شده است که در تمامی آنها وجود میکروپلاستیک‌ها مشاهده شده است. ۱۵۰ نمونه مختلف میکروپلاستیک در شیر مشاهده شده است که میانگین ۶۵۰۰ ذره میکروپلاستیک در متر مکعب را نشان می‌دهد. نکته جالب توجه این است که بیشترین آلودگی شیر با

[21] Cleanliness Procedure

میکروپلاستیک‌ها توسط پلیمرهای ترموپلاست از خانواده سولفون مشاهده شده‌اند که به صورت ویژه در تهیه غشاهای مورد استفاده در فناوری‌های الترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون شیر کاربرد دارند. فشار بالا و فشارهای پیوسته فیزیکی و شیمیایی سبب تخریب غشاء، جداشدن ذرات از فیلترها و وارد شدن آنها به شیر می‌شود. این موارد بخصوص در مواقعی که شیر برای تهیه محصولات تغذیه نوزاد به کار میرود می‌تواند، نگرانی‌های جدی ایجاد کند (Pironti et al., 2021). خطرات احتمالی میکروپلاستیک‌ها برای انسان شامل تنش اکسداتیو[۲۲]، التهاب ناشی از سمیت ذرات باشد که منجر به سرطان، تخریب سیستم ایمنی، اختلال در سیستم سوخت و ساز[۲۳]، کاهش هضم چربی و ایجاد مواد سم-عصبی[۲۴] می‌شود. مدل‌های ریاضی پیش‌بینی می‌کنند که اندام‌های داخلی انسان به میزان $۱۰^{۷} - ۱۰^{۵}$ ذره در سال در معرض میکروپلاستیک قرار می‌گیرند که این مقدار یک حد متوسط است و درگروه های از افراد، مانند افرادی که روزانه چایی کیسه‌ای می‌نوشند یا در نوزادانی که از شیرخشک تغذیه می‌شوند (که عده کمی نیز نیستند)، میزان بیشتری میکروپلاستیک گوارش می‌شود. یک چایی کیسه‌ای در زمان دم کشیدن و در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد بیش از ۱۱ میلیون ذره میکروپلاستیک و بیش از ۳ میلیون ذره نانوپلاستیک را در یک فنجان نوشیدنی ایجاد می‌کند (Hernandez et al., 2019). همچنین برای نوزادان مصرف میکروپلاستیک از نوع PET حدود ۸۳ میکروگرم برای هر کیلوگرم وزن در روز تخمین زده شده است (Zhang et al., 2021).

ورقه های پلی اتیلن مورد استفاده در کشاورزی (مالچ)[۲۵] که اکنون به صورت گسترده در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند به سهولت به میکروپلاستیک تبدیل می‌شوند . هر چقدر استفاده از آنها در کشاورزی بیشتر شود، مقدار بیشتری از میکروپلاستیک در زمین‌های قابل کشت ایجاد می‌شود. این میکروپلاستیک‌ها می‌توانند آفت‌کش‌هایی را که در خاک وجود دارد یا بر روی خود ورقه ها پاشیده شده است، مانند کاربندازیم، دیپترکس و مالاتیون را جذب کنند (Wang et al., 2020).

به طور نسبی میکروب‌ها در زیست‌بوم‌های طبیعی، فراوانی زیادی دارند و ممکن است صدها میلیون باکتری در واحد حجم وجود داشته باشد. فراوانی میکروارگانیسم‌ها (ریز سازواره‌ها) نقش مهمی در زیست بوم دارد که شامل متابولیسم مواد، تولید محصول و چرخه زنجیره غذایی[۲۶] می‌شود. محیط زیست پیچیده اطراف ما شامل میکروب‌های با ساختار ویژه و دسته بندی متنوعی است که در آن جمعیت میکروبی به صورت پویا[۲۷] با هم در ارتباط هستند. جمعیت های میکروبی می‌توانند به تغییرات محیط اطراف خود پاسخ دهند و یا به سرعت خود را با آن هماهنگ کنند. این تغییرات می‌تواند شامل تنش های ایجاد شده توسط انسان یا تغیرات اقلیمی باشد. مشخص شده است که در زیست بوم خشکی با توجه به شرایط فیزیکی خاک، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند ساختار جمعیت میکروبی را تغییر دهند. برای مثال باکتری های از خانواده باکتریوئیدها[۲۸]، پروتئوباکتریا[۲۹] و گماتیمونادیت‌ها[۳۰] در خاک‌های حاوی پلی اتیلن افزایش می‌یابند که می‌تواند ناشی از تغییرات در مقدار ماده آلی حل شده[۳۱] در خاک، چگالی ظاهری[۳۲] و رطوبت خاک باشد. در محیط های آبی مانند اقیانوس‌ها و دریاها، مواد پلاستیکی مستعد کلونی شدن جمعیت میکروبی بر روی سطح خود هستند که اغلب آنها باکتری‌های بیماری زا می‌باشند. تهاجم باکتریهای بیماری‌زا می‌تواند فعالیت معمول جمعیت باکتری‌های روده‌ای را مختل کند و ظرفیت دفاعی موجود زنده را کاهش دهد (Wang et al., 2021).

گزارش منتشر شده در سال ۲۰۱۹ نشان داد که بیش از نیمی از ۲۰ گونه میکروبی که بر روی سطح پلی اتیلن تجمع می‌یابند از نوع بیماری زا هستند و مشخص شد که پلاستیک‌ها می‌توانند به عنوان عامل انتقال برای ریزسازواره‌های مضر[۳۳] عمل کنند و یک خطر بالقوه برای سلامتی انسان محسوب می‌شوند (Gong et al., 2019).

اثرات میکروپلاستیک‌ها بر سلامت دام:

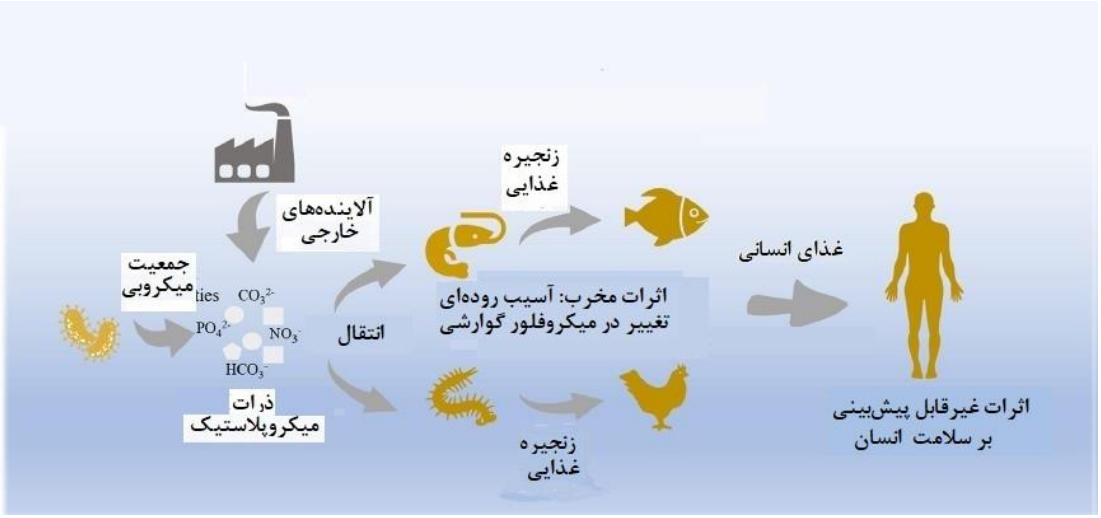
از دیدگاه زیست بوم دام، زنجیره غذایی راه مهمی جهت ارائه و ذخیره[۳۴] مواد تغذیه‌ای است. چرخه غذای می‌تواند عاملی برای انتقال پلاستیک ها و مواد متصل شده به آنها باشد. (شکل ۲)

---

[22] Oxidative Stress
[23] Metabolism Disorder
[24] Neurotoxin
[25] Polyethylene Mulching Sheets

[26] Trophic Cycling
[27] Dynamic
[28] Bacteroidetes
[29] Proteobacteria
[30] Gemmatimonadetes
[31] Dissolved Organic Matter (Dom)
[32] Bulk Density
[33] Harmful Microorganisms
[34] Deliver and Reserve

ماهنامه تحقیقات کاربردی در علوم دامی



شکل ۲- چرخه غذایی و انتقال میکروپلاستیک‌ها از میزبانی به میزبان دیگر در طول چرخه. برگرفته از: (Wang et al., 2020).

طبق گزارش‌های موجود مقدار میکروپلاستیک در نرم تنان دریایی بین ۱۰/۵ – ۰، بین سخت پوستان ۸/۶ – ۰/۱ و در بین ماهی ها ۲/۹ -۰ ذره میکروپلاستیک در گرم ثبت شده است (Danopoulos et al., 2020). این اطلاعات نشان می‌دهد که میزان ورود میکروپلاستیک به بدن انسان در یک سال می‌تواند تا حد ۵۵۰۰۰ ذره میکروپلاستیک برسد.

در زنجیره غذایی حیوانات خشکی (خشکزی)، افزایش ورود میکروپلاستیک‌ها از خاک به بدن کرم خاکی و از کرم خاکی به بدن طیور اثبات شده است که در نهایت وجود میکروپلاستیک‌ها در فضولات طیور قابل تشخیص است (Huerta Lwanga et al., 2017).

اگرچه انتقال میکروپلاستیک‌ها از طریق زنجیره غذایی هم در جانوران دریایی و هم در جانوران خشکی بررسی شده است، ولی در سال‌های گذشته، توجه بیشتر بر روی جانوران دریایی بوده است و مطالعات بسیار محدودی بر روی جانوران خشکی انجام شده است و نیاز است تا در مورد جانوران خشکی نیز مطالعات بیشتری انجام شود.

گوارش میکروپلاستیک‌ها توسط حیوان (دام) می‌تواند اثرات مخربی برای آنها داشته باشد. به عنوان یک آلاینده خاص، ذرات میکروپلاستیک میتوانند صدمات فیزیولوژیکی مختلفی را برای دام به همراه داشته باشند (جدول۲).

جدول ۲- نقش انواع میکروپلاستیک‌ها در ایجاد بیماری های مختلف در چند نمونه از موجودات زنده. برگرفته از: (Wang et al., 2020).

نوع میکروپلاستیک	حیوان	دیسبیوسیز میکروبی روده	صدمه فیزیولوژیکی
پلی استایرن	موش	کاهش فایرمیکوت ها، افزایش پروتئوباکتریها و آکتینوباکتریها	بیماری کبد چرب
پلی استایرن	گورخر ماهی (ماهی زبرا)	کاهش باکتریویدت ها و پروتئوباکتری ها – افزایش فایرمیکوت ها	مشکلات التهابی
پلی استایرن	خرچنگ چینی	کاهش فایرمیکوت ها و باکتریویدت ها افزایش فوزوباکتری و پروتئوباکتری ها	مهار سیستم ایمنی
پلی استایرن	کرم خاکی	کاهش ریزوبیاسه‌آ، زانتوباکتراسه‌آ، ایزوسفاراسه‌آ	افزایش وزن – کاهش تولید مثل
پلی استایرن	موش	کاهش آکتینوباکتری	اختلال در عملکرد روده ای و اختلال متابولیسم اسیدهای صفراوی
پلی استایرن	ماهی گوپی	افزایش پروتئوباکتری، کاهش تنوع و یکنواختی میکروبهای روده ای	تحریک پاسخ ایمنی، اختلال در عملکرد گوارشی
پلی استایرن	گورخر ماهی (ماهی زبرا)	افزایش پروتئوباکتری و گوردونیا، کاهش اکتینوباکتری، سودوموناس و آئروموناس	کاهش تراوایی[35]، مشکلات التهابی و اختلال در سوخت و ساز
پلی اتیلین	موش	افزایش استافیلوکوکوس، کاهش پاراباکتروئید	مشکلات التهابی
پلی اتیلین	دُم فنری خاکی (نوعی حشره)	کاهش ولباخیا، افزایش برادیرهیزوبیاسه‌آ، انسیفر و استنوتروفوموناس	کاهش سرعت زادآوری
پلی وینیل کلرید	کلمبولان (نوعی حشره)	افزایش نمونع میکروبهای روده ای	تغییر ایزوتوپی و مشارکت عنصری در رشد و تولید مثل

[35] Permeability

گزارش آزمایش مدفوع انسانی در سال ۲۰۱۹ نشان داد که در هر ۱۰ گرم مدفوع انسانی حدود ۲۰ میکروپلاستیک وجود دارد که از بین آنها پلی پروپیلن و پلی اتیلن ترفتالات بیشترین فراوانی را داشتند (Schwabl et al., 2019). همچنین تحقیقات انجام شده در سال ۲۰۲۱ نشان داد که بین وجود میکروپلاستیک‌ها در مدفوع انسانی و بیماری‌های گوارشی مانند بیماری التهاب روده ارتباط مستقیمی وجود دارد (Yan et al., 2022).

این دو تحقیق اثبات میکند که میکروپلاستیک‌ها در بدن انسان حضور دارند و احتمالاً با گسترده شدن مقدار میکروپلاستیک‌ها در محیط زیست مقدار آنها در بدن انسان نیز افزایش یابد. از سوی دیگر با توجه به اینکه در چرخه غذایی انسان‌ها آخرین حلقه این چرخه هستند، بنابراین وجود میکروپلاستیک در بدن انسان نشان دهنده این است که حتما در زنجیره های قبلی نیز آلودگی وجود داشته است که توانسته است به بدن انسان نیز منتقل شود. این امر لزوم بررسی بیشتر وجود میکروپلاستیک‌ها در دام و طیور به عنوان عضو مهم در زنجیره غذایی را بیشتر عیان می‌سازد.

مطالعات اخیر وجود مقدار میانگین ۵/۱ ذره میکروپلاستیک در گرم را در احشاء شکم مرغ و مقدار ۱۰۵ ذره در گرم را در فضولات مرغ نشان داده است (Huerta Lwanga et al., 2017). همچنین در مورد گوسفند مقدار ذرات میکروپلاستیک به میانگین ۲۰۰۰ ذره درکیلوگرم در خاک مرتع و مقدار ۱۰۰۰ ذره در کیلوگرم در مدفوع گوسفندانی که در ناحیه جنوب اسپانیا نگه‌داری می‌شوند، گزارش شده است (Beriot et al., 2021).

پژوهشی که در پنج شهر کشور اندونزی انجام شده است مقادیر مختلفی از میکروپلاستیک‌ها را در روده اردک‌های محلی این کشور گزارش کرده است که بیشترین مقدار برابر ۴۹ ذره برای هر اردک و کمترین مقدار برابر ۱۱ ذره برای هر اردک به دست آمده است که بیشتر از نوع پلیمرهای رشته‌ای هستند و پلی اتیلن، پلی اتیلن ترفتالات، نایلون و پلی وینیل کلرید به ترتیب بیشترین فراوانی را داشته اند (Susanti et al., 2021).

خوردن ذرات میکروپلاستیک توسط دام (حیوان) میتواند اثرات مخربی به همراه داشته باشد. میکروپلاستیک‌ها به عنوان یک آلاینده منحصر بفرد می‌توانند انواع صدمات فیزیولوژیکی را به همراه داشته باشند. خطرات آنها برای سلامتی شامل پاسخ‌های التهابی[۳۶]، اختلالات در سوخت و ساز[۳۷] و نقص عملکرد سد روده‌ای[۳۸] را شامل می‌شود که سبب کاهش رشد و سرعت تولید مثل می‌شود (Xu et al., 2020).

از دیدگاه سلولی، حیواناتی که که در معرض میکروپلاستیک‌ها بوده اند، دارای نرخ غیرعادی بودن هسته سلولی[۳۹] بالاتری هستند که می‌تواند به دلیل اثرات جهش‌زایی[۴۰] میکروپلاستیک‌ها باشد همچنین میزان تغییرات در گلوبول‌های قرمز[۴۱] آنها نیز بیشتر مشاهده می‌شود که آن را نیز به خاصیت سمیت برای سلول[۴۲] ناشی از میکروپلاستیک‌ها نسبت داده شده است (da Costa Araújo et al., 2020).

اندازه ذرات میکروپلاستیک نیز از دیگر مواردی است که نیاز به بررسی بیشتر دارد. بیشتر مطالعات در مورد ذرات میکروپلاستیک در ابعاد ۵ میکرومتر و با مقدار مصرف بین 10^{6} – 10^{5} عدد در روز انجام شده است، اما باید توجه داشت که ذرات با اندازه بیشتر از ۵ میکرومتر حدود ۵۰ درصد کل میکروپلاستیک‌ها را تشکیل میدهند. تعداد زیادی از میکروپلاستیک‌ها – بیش از ۸۰ درصد آنها- در لوله گوارشی و تعدادی با اندازه‌های کوچکتر با قطر کمتر از ۳ میکرومتر، در بافت عضلات مشاهده شده‌اند. چون ذرات کوچکتر برای سلامتی انسان و دام مضرتر هستند، نیاز ضروری و فوری به بررسی خطرات ناشی از هضم میکروپلاستیک‌ها در اندازه های کوچک وجود دارد (Shi et al., 2022).

مطالعات نشان داده است که رابطه مستقیمی بین در معرض میکروپلاستیک قرار گرفتن و در نتیجه آن تغییر در جمعیت میکروبی سیستم گوارشی از یک سو و بیماری های کبدی از سوی دیگر وجود دارد. مطالعه بر روی بیماری‌های کبدی که به واسطه میکروپلاستیک‌ها ایجاد شده است در دست انجام است که

[36] Inflammation Response
[37] Metabolism Disruption
[38] Intestinal Barrier Dysfunction
[39] Nuclear Abnormality Rates
[40] Mutagenic
[41] Erythrocytes
[42] Cytotoxic

ممکن است روش‌های درمان جدیدی را برای بیماری‌های کبدی با استفاده از موادی که بتوانند میکروپلاستیک‌ها را قبل از ورود به بدن تجزیه کنند، ارائه دهد (Shi et al., 2022).

ذرات میکروپلاستیک که از طریق آب، غذا و یا هوا وارد بدن دام می‌شوند و در اعضاء مختلف مانند روده، کبد، کلیه، ریه، طحال، قلب، تخمدان و بیضه دام این ذرات مشاهده شده‌اند که سبب تغییرات بیوشیمیایی، تخریب ساختاری[۴۳] و نقص درعملکرد می‌شوند. میکروپلاستیک‌ها میتوانند به راحتی از سد جفت عبور کرده و در مراحل رشد جنین اختلال ایجاد کنند. همچنین با جذب انواع آلاینده‌ها در سطح خود، اثرات آنها را تشدید می کنند(Zolotova et al., 2022). هنوز به دلیل تعداد کم مطالعات انجام شده و پراکندگی زیاد در تعداد و نوع ذرات، ابعاد و مدت زمان در معرض قرارگیری، اطلاعات پراکنده و بحث برانگیز است و در آینده ابعاد مختلف این مشکل، مشخص‌تر خواهد شد.

راهکارهای مقابله با میکروپلاستیک‌ها:

برای کاهش آلودگی ایجاد شده توسط میکروپلاستیک‌ها راه حل‌های مختلفی پیشهاد شده است که می‌توان آنها را به سه طبقه جداگانه دسته بندی کرد: روش های بازداری[۴۴]، روش های کاهشی[۴۵] و روش های جداسازی[۴۶].

روش‌های بازداری شامل بازیافت و دفن صحیح زباله است. در چرخه زندگی بیشتر پلاستیک ها، دفن صحیح شامل جداسازی فیزیکی در محل دفن زباله است. همچنین محل های دفن زباله که به درستی طراحی و اداره می‌شوند باید به گونه ای طراحی شده باشند که کمترین مقدار نشتی را داشته باشند. مطالعات جدید نشان داده است که هرزآب محل‌های دفن زباله دارای مقدار زیادی میکروپلاستیک است و منابع آب و خاک اطراف را آلوده کرده و سبب گسترش آلودگی ناشی از میکروپلاستیک‌ها می‌شود. در حالی که برای فهمیدن اهمیت طراحی محل دفن زباله بر روی نشت میکروپلاستیک‌ها نیاز به تحقیق بیشتری وجود دارد، شواهد اخیر نشان میدهد که روش‌های بازداری روش بهینه برای کاهش آلودگی میکروپلاستیک‌ها نیست.

روش‌های کاهشی شامل مجموعه اقدامات بازدارنده‌ای است که به منظور کاهش کلی میزان میکروپلاستیک‌ها با جلوگیری از انتشار آنها انجام می‌شود. برخلاف روش بازداری که یک روش مهندسی محسوب می‌شود، روش کاهشی یک روش حقوقی، قانونی و نظارتی است. در پاسخ به افزایش شواهد مرتبط با مضرات میکروپلاستیک‌ها برای محیط زیست، بعضی از دولت‌ها، استفاده از ریزدانه های پلاستیکی را به عنوان منبع اصلی میکروپلاستیک‌های اولیه در محصولات آرایشی- بهداشتی ممنوع کرده و همچنین قوانینی برای کاهش یا حذف استفاده از پلاستیک‌ها در سال‌های آتی وضع کرده‌اند. علاوه بر این، قوانین سخت‌گیرانه‌تری برای دفع صحیح زباله و کاهش آلودگی میکروپلاستیک‌ها وضع شده است. برای تکمیل شدن این قوانین، دولت‌های مختلف برنامه‌های آموزشی را جهت مدیریت بهتر زباله[۴۷] - مانند بازیافت و استفاده از سطل‌های زباله تفکیک شده- مورد حمایت قرار داده‌اند. ولی به هر حال سیستم بازیافت به دلیل نوع محدودیت در موادی که می‌تواند مورد استفاده قرار دهد و نیز کیفیت موادی که تولید می‌کند، دارای محدودیت است. در حالی که روش‌های کاهشی می‌تواند به کمتر شدن مقدار آلودگی میکروپلاستیک‌ها که توسط بشر ایجاد می‌شود، کمک کند، این روش‌ها در مقابل میکروپلاستیک‌های که از منابع دفن زباله ایجاد می‌شوند یا در مورد مواد پلاستیکی که هنوز در حال استفاده هستند، بی اثر است (Zurier and Goddard, 2021).

روش های جداسازی:

جداسازی میکروپلاستیک‌ها از بافت زباله و فاضلاب از ورود آنها به اکوسیستم جلوگیری می‌کند. در شرایط ایده‌آل جریان خروجی از مراکز تصفیه فاضلاب باید عاری از هر گونه ذرات جامد و مواد سمی باشند و بعد از تخلیه اثر خنثی بر روی محیط زیست داشته باشند. بدلیل اینکه مقدار عمده آب استحصالی از مراکز تصفیه فاضلاب در بخش کشاورزی استفاده می‌شود، حتی نشت مقادیر کم میکروپلاستیک‌ها می‌تواند اثرات مخرب زیادی بر روی

[43] Structural Damage
[44] Containment
[45] Mitigation
[46] Separation
[47] Good Waste Management Practices

کشاورزی و به تبع آن بر بخش دامداری داشته باشد. به طور طبیعی مراکز پیشرفته تصفیه فاضلاب میزان غلظت خروجی را در حد یک میکروپلاستیک در هر لیتر آب تصفیه کاهش می‌دهند که به نظر مقدار بسیار کمی باشد اما باتوجه به مقدار زیاد آب مصرفی در بخش کشاورزی، حتی استفاده از این آب تصفیه شده نیز سبب ورود بیش از صدها هزار میکروپلاستیک در جریب کشت شده در سال برای محصولی مانند گندم خواهد شد و برای محصولاتی که آب‌بری بیشتری دارند، مانند برنج، میوه‌ها و خشکبار این مقادیر بسیار بیشتر خواهد بود (Singh et al., 2021). استفاده از واحدهای عملیاتی مختلف در تصفیه فاضلاب (به جای استفاده از تنها یک واحد عملیاتی تصفیه) جهت کاهش مقدار میکروپلاستیک‌ها امیدبخش بوده است و نیز استفاده از فیلترهای خاص جهت جداسازی میکروپلاستیک‌ها بر اساس مقدار اندازه آنها کارایی مناسبی دارد. جداسازی سرباره‌ها و نیز روش‌های جداسازی بر پایه ته‌نشست نیز موثر هستند. مطالعاتی جهت استفاده از سیستم‌های آنزیمی برای تجزیه میکروپلاستیک‌ها انجام شده است که می‌تواند در افزایش کارایی سیستم جداسازی و جلوگیری از آلودگی آب موثر باشد، اما استفاده موثر و فراگیر از آنها هنوز یک چالش بزرگ است.

در حوزه دام و طیور استفاده هرچه کمتر از مواد پلاستیکی در مراحل مختلف باید مد نظر قرار گیرد. استفاده از علوفه‌های که به میزان کمتر در معرض مواد پلاستیکی بوده‌اند، استفاده از علوفه و خوراک سالم و حذف فیزیکی یا شیمیایی مواد پلاستیکی از دان، علوفه و آب می‌تواند تا حدی از ورود میکروپلاستیک‌ها به بدن دام جلوگیری کند. در موادری که در حال حاضر از پلاستیک‌ها استفاده می‌شود، استفاده از روش‌های جایگزین می‌تواند موثر باشد به عنوان مثال به جای استفاده از فیلم‌های پلاستیکی در تهیه سیلاژها از مواد جایگزین یا پلیمرهای با پایه طبیعی و زیست تخریب‌پذیر مانند پلیمرهای از خانواده پلی لاکتیک اسید استفاده شود و یا به جای تهیه سیلاژ در کیسه[۴۸] از سیلوهای سیمانی استفاده شود. همچنین در مرحله بسته‌بندی مواد پروتئینی دامی استفاده از پلیمرهای طبیعی مانند پلیمرهای با پایه کیتوزان توصیه می‌شود.

نتیجه گیری:

در سطح جهانی موضوع میکروپلاستیک‌ها به بحث روز تبدیل شده است و دولت‌های پیشرو در حال وضع قوانین جهت کاهش آلودگی میکروپلاستیک‌ها و نیز پیگیری روش های موثر در جمع‌آوری و تجزیه این مواد هستند. در کشور ما میزان تولید و مصرف مواد پلاستیکی هم به دلایل اقتصادی و هم به دلایل فرهنگی بسیار بالاست. از سوی دیگر تنها درصد کمی از مواد پلاستیکی بازیافت شده و بقیه بدون نظارت جدی در طبیعت رهاسازی می‌شوند یا اینکه به صورت غیراصولی دفن می‌شوند. انتظار کلی بر این است که میزان آلودگی ایجاد شده توسط میکروپلاستیک‌ها در ایران از متوسط سطح جهانی بالاتر باشد. در حوزه علوم دامی، تا کنون هیچ مطالعه‌ای در مورد میزان آلودگی آب و علوفه مصرفی به میکروپلاستیک‌ها و مقدار و نوع این مواد در داخل بدن دام و طیور و نیز حضور آنها در محصولات تولیدی پرمصرف نظیر گوشت و شیر انجام نشده است و نیز اطلاعاتی در مورد اثرات این ذرات بر روی تولید، پایداری، نرخ تولید مثل و سلامت دام در دسترس نیست. لازم است تا پیش از فراگیرشدن و بغرنج شدن این مشکل، مطالعه دقیق و جامع در این موارد و راه‌کارهای کاهش یا مقابله با میکروپلاستیک‌ها ارائه شود.

منابع:

مرکز اصلاح نژاد و بهبود تولیدات دامی- اطلاعات و آمار گله - عملکرد سال ۱۳۹۸. https://www.abc.org.ir

Beriot, N., Peek, J., Zornoza, R., Geissen, V., Huerta Lwanga, E., 2021. Low density-microplastics detected in sheep faeces and soil: A case study from the intensive vegetable farming in Southeast Spain. Sci. Total Environ. 755, 142653. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142653

Blackburn, K., Green, D., 2022. The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown. Ambio 51, 518–530. https://doi.org/10.1007/s13280-021-01589-9

[48] Silage Bag

Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I., Canning-Clode, J., 2016. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. Estuar. Coast. Shelf Sci. 178, 189–195. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.003

da Costa Araújo, A.P., de Andrade Vieira, J.E., Malafaia, G., 2020. Toxicity and trophic transfer of polyethylene microplastics from Poecilia reticulata to Danio rerio. Sci. Total Environ. 742, 140217. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140217

Danopoulos, E., Jenner, L.C., Twiddy, M., Rotchell, J.M., 2020. Microplastic contamination of seafood intended for human consumption: A systematic review and meta-analysis. Environ. Health Perspect. 128, 126002-1-126002–32. https://doi.org/10.1289/EHP7171

Gigault, J., Halle, A. ter, Baudrimont, M., Pascal, P.Y., Gauffre, F., Phi, T.L., El Hadri, H., Grassl, B., Reynaud, S., 2018. Current opinion: What is a nanoplastic? Environ. Pollut. 235, 1030–1034. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024

Gong, M., Yang, G., Zhuang, L., Zeng, E.Y., 2019. Microbial biofilm formation and community structure on low-density polyethylene microparticles in lake water microcosms. Environ. Pollut. 252, 94–102. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.090

Hernandez, L.M., Xu, E.G., Larsson, H.C.E., Tahara, R., Maisuria, V.B., Tufenkji, N., 2019. Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea. Environ. Sci. Technol. 53, 12300–12310. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02540

Huang, J., Chen, H., Zheng, Y., Yang, Y., Zhang, Y., Gao, B., 2021. Microplastic pollution in soils and groundwater: Characteristics, analytical methods and impacts. Chem. Eng. J. 425, 131870. https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131870

Huang, Z., Weng, Y., Shen, Q., Zhao, Y., Jin, Y., 2021. Microplastic: A potential threat to human and animal health by interfering with the intestinal barrier function and changing the intestinal microenvironment. Sci. Total Environ. 785, 147365. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147365

Huerta Lwanga, E., Mendoza Vega, J., Ku Quej, V., Chi, J. de los A., Sanchez del Cid, L., Chi, C., Escalona Segura, G., Gertsen, H., Salánki, T., van der Ploeg, M., Koelmans, A.A., Geissen, V., 2017. Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. Sci. Rep. 7, 1–7. https://doi.org/10.1038/s41598-017-14588-2

Kaur, P., Singh, K., Singh, B., 2022. Microplastics in soil: Impacts and microbial diversity and degradation. Pedosphere 32, 49–60. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60060-7

Kurniawan, S.B., Said, N.S.M., Imron, M.F., Abdullah, S.R.S., 2021. Microplastic pollution in the environment: Insights into emerging sources and potential threats. Environ. Technol. Innov. 23, 101790. https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101790

Lusher, A., Hollman, P., Mendoza-Hil, Lj., 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS(FAO).

Pironti, C., Ricciardi, M., Motta, O., Miele, Y., Proto, A., Montano, L., 2021. Microplastics in the environment: Intake through the food web, human exposure and toxicological effects. Toxics 9, 1–29. https://doi.org/10.3390/toxics9090224

Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., Liebmann, B., 2019. Detection of Various Microplastics in Human Stool: A Prospective Case Series. Ann. Intern. Med. 171, 453–457. https://doi.org/10.7326/M19-0618

Shi, C., Han, X., Guo, W., Wu, Q., Yang, X., Wang, Y., Guo, Y., Li, Z., Li, J., Shi, J., Qu, G., Jiang, G., 2022. Disturbed Gut-Liver axis indicating oral exposure to polystyrene microplastic potentially increases the risk of

insulin resistance 164. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107273

Singh, S., Kalyanasundaram, M., Diwan, V., 2021. Removal of microplastics from wastewater: Available techniques and way forward. Water Sci. Technol. 84, 3689–3704. https://doi.org/10.2166/wst.2021.472

Susanti, R., Yuniastuti, A., Fibriana, F., 2021. The Evidence of Microplastic Contamination in Central Javanese Local Ducks from Intensive Animal Husbandry. Water Air Soil Pollut 232, 2–10.

Toussaint, B., Raffael, B., Angers-Loustau, A., Gilliland, D., Kestens, V., Petrillo, M., Rio-Echevarria, I.M., Van den Eede, G., 2019. Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain. Food Addit. Contam. - Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess. 36, 639–673. https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1583381

Wang, J., Peng, C., Li, H., Zhang, P., Liu, X., 2021. The impact of microplastic-microbe interactions on animal health and biogeochemical cycles: A mini-review. Sci. Total Environ. 773, 145697. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145697

Wang, T., Yu, C., Chu, Q., Wang, F., Lan, T., Wang, J., 2020. Adsorption behavior and mechanism of five pesticides on microplastics from agricultural polyethylene films. Chemosphere 244, 125491. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125491

Xu, S., Ma, J., Ji, R., Pan, K., Miao, A.J., 2020. Microplastics in aquatic environments: Occurrence, accumulation, and biological effects. Sci. Total Environ. 703, 134699. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134699

Yan, Z., Liu, Y., Zhang, T., Zhang, F., Ren, H., Zhang, Y., 2022. Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status. Environ. Sci. Technol. 56, 414–421. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03924

Yu, H., Zhang, Y., Tan, W., Zhang, Z., 2022. Microplastics as an Emerging Environmental Pollutant in Agricultural Soils: Effects on Ecosystems and Human Health. Front. Environ. Sci. 10, 1–18. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.855292

Zhang, J., Wang, L., Trasande, L., Kannan, K., 2021. Occurrence of Polyethylene Terephthalate and Polycarbonate Microplastics in Infant and Adult Feces. Environ. Sci. Technol. Lett. 8, 989–994. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00559

Zhang, Q., Xu, E.G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E.Y., Shi, H., 2020. A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure. Environ. Sci. Technol. 54, 3740–3751. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04535

Zolotova, N., Kosyreva, A., Dzhalilova, D., Fokichev, N., Makarova, O., 2022. Harmful effects of the microplastic pollution on animal health: a literature review. PeerJ 10, e13503. https://doi.org/10.7717/peerj.13503

Zurier, H.S., Goddard, J.M., 2021. Biodegradation of microplastics in food and agriculture. Curr. Opin. Food Sci. 37, 37–44. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.09.001