ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

شماره مجوز مجله: ۸۰۴۰۰ زمان چاپ: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

آشنایی با پلاستیک و میکروپلاستیک

ساناز رضاقلی[۱]، پریناز پیران ینگجه[۲]، حسین گنجی‌دوست[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران – محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، تهران sanaz.rezagholi@modares.ac.ir

[۲]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران – محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، تهران Parinaz.Piran@modares.ac.ir

[۳] استاد گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران h-ganji@modares.ac.ir

چکیده

پیشینه تاریخی آلودگی پلاستیک با ورود زباله‌های پلاستیکی به محیط زیست شروع و امروزه به یک موضوع جهانی زیست محیطی تبدیل شده است. این آلودگی در تمام اقیانوس‌های جهان یافت می‌شود و اثرات نامطلوبی بر موجودات دریایی، تنوع زیستی و همچنین سلامت انسان دارد. اگرچه تهدیدات ناشی از پلاستیک برای محیط زیست و به خصوص محیط‌های آبی در ابتدا برای مدت طولانی نادیده گرفته شد، اما اخیراً این موضوع توجه مجامع علمی و رسانه‌ها را به خود جذب کرده است. آلودگی میکروپلاستیک یک مشکل پیچیده است که پیامدهای قابل توجهی برای محیط‌زیست و سلامت عمومی جامعه دارد. این مسئله‌ی آلودگی یک مثال کلاسیک فرامرزی است که نشان می‌دهد چگونه آلودگی زمین می‌تواند بسیار گسترده شود و حتی به مناطق دورافتاده از جمله مناطق کوهستانی، بیابانی، قطب‌شمال و حتی عمیق‌ترین گودال‌های اقیانوسی برسد. از آنجایی که آلودگی پلاستیکی از نظر فیزیکی قابل مشاهده است، این موضوع مورد توجه طیف گسترده‌ای قرارگرفته است؛ با این حال در سال‌های اخیر با پیشرفت ابزارها و روش‌های اندازه‌گیری و آنالیز توجه کلی به شناسایی، اندازه‌گیری و بررسی پیامدهای گسترش روزافزون آلودگی میکروپلاستیک‌ها بسیار زیاد بوده است.

کلمات کلیدی: پلاستیک، میکروپلاستیک، آلودگی، اندازه، شکل

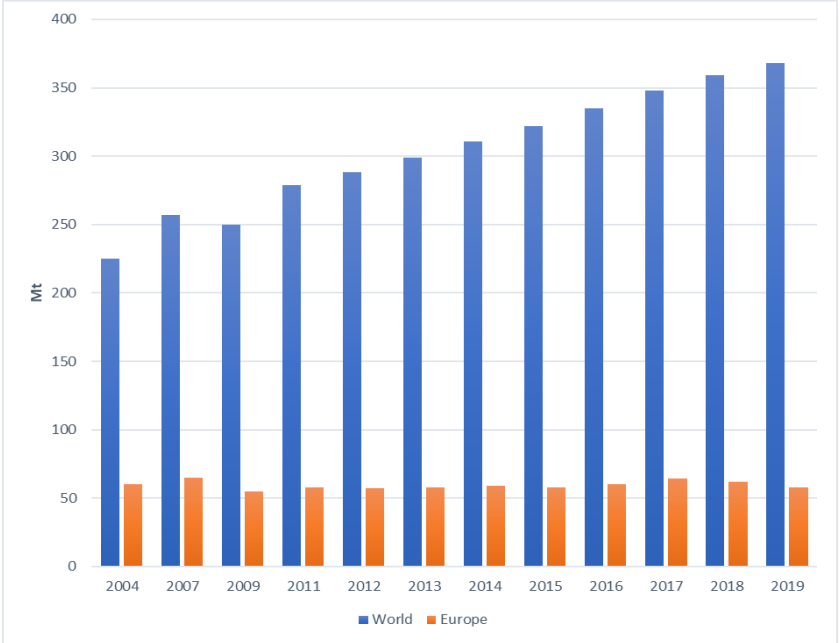
۱- تاریخچه پلاستیک

صنعت پلاستیک در دهه‌ی ۱۹۲۰ آغاز و از دهه‌ی ۱۹۴۰ به سرعت رشدکرده است (Amelia و همکاران، ۲۰۲۱) . پلاستیک‌ها از دهه ۱۹۵۰ به‌طور فزاینده‌ای وارد اقیانوس‌ها شدند و از منابع مختلف زمینی و دریایی وارد رودخانه‌ها، روان آب‌ها، ساحل‌گذران و کشتی‌ها شدند. اگرچه، هیچ برآورد قابل اعتمادی از ورودی پلاستیک در مقیاس منطقه‌ای یا جهانی وجود ندارد، فرض بر این بوده است که مقادیر کل آن‌ها در طول این چند سال افزایش یافته است. تنها در سال ۱۹۷۵، تخمین زده شد که ناوگان ماهیگیری جهان تقریباً ۱۳۵۴۰۰ تن تجهیزات ماهیگیری پلاستیکی و ۲۳۶۰۰ تن مواد بسته بندی را به اقیانوس‌ها ریخته

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

است. بررسی انجام شده در سواحل آفریقای جنوبی در فواصل زمانی ۵ ساله نشان داد که مقادیر زباله‌های پلاستیکی تخلیه شده در طول سال‌ها به شدت افزایش یافته‌است (Ogunola و همکاران،۲۰۱۶). در سال ۲۰۱۴ خروجی جهانی پلاستیک ۲۰ برابر سال ۱۹۶۴ بوده‌است. تولید سالانه‌ی پلاستیک در سطح جهان در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ به ترتیب ۳۳۰ و ۳۶۰ میلیون تن ثبت شده‌است. علی رغم افزایش اگاهی از آلودگی پلاستیکی و تلاش برای کاهش تولید پلاستیک سالانه تولید پلاستیک همچنان در حال افزایش است (Amelia و همکاران، ۲۰۲۱). مواد پلاستیکی مانند تجهیزات پزشکی یکبار مصرف، بسته بندی مواد غذایی و غیره نقش مهمی در زندگی روزمره انسان و همچنین بهبود سلامت انسان ایفا می‌کنند. با این‌حال، قرارگرفتن در معرض آلودگی‌های میکروپلاستیکی می‌تواند در طول زمان اثرات جبران ناپذیری برای انسان، موجودات زنده و همچنین محیط داشته باشد. در طول همه‌گیری بیماری COVID-۱۹، افزایش مصرف پلاستیک یکبار مصرف، به‌ویژه تجهیزات حفاظت فردی از جمله ماسک صورت، دستکش و روپوش که یکی از روش‌های ایمنی مورد استفاده در پیشگیری از این ویروس است، بسیار افزایش یافته است. از آنجایی‌که استفاده از تجهیزات حفاظت فردی برای همه‌گیری کنونی ضروری است، شناسایی راه‌های مناسب برای دفع زباله‌های پلاستیکی حاصل از آن بسیار مهم و ضروری است. در واقع، طبق گزارش صندوق جهانی طبیعت در سال ۲۰۲۰, دور ریختن نادرست تنها ۱٪ از ماسک‌ها منجر به پراکندگی بیش از ۴۰۰۰۰ کیلوگرم پلاستیک در محیط می‌شود (براساس وزن ۴ گرم به ازای ماسک و حدود ۱۰ میلیون ماسک در ماه). این پدیده منجر به افزایش آلودگی پلاستیکی و در نتیجه افزایش میزان میکروپلاستیک‌های پراکنده در محیط در آیندهای نه چندان دور می‌شود(Ricciardi و همکاران، ۲۰۲۱). فراوانی سالیانه پلاستیک در اروپا و جهان در شکل(۱-۱) نشان داده شده‌است. مطالعات نشان داده است که تولید و مصرف پلاستیک تا ۳۰۰ میلیون تن در سال است. اما بازیافت پلاستیک به دلیل نرخ‌های بهبود کم و هزینه‌های بالای آن‌ها کارآمد نیست. بنابراین، حداقل۱۰٪ از زباله‌های پلاستیکی وارد محیط دریایی می‌شوند که باعث آلودگی پلاستیکی جدی به ویژه آلودگی میکروپلاستیکی در سراسر جهان می‌شود (Chatterjee و Sharma، ۲۰۱۹).



شکل ۱) تولید سالیانه پلاستیک در اروپا و جهان (Plastics Europe, ۲۰۲۰, ۲۰۱۵)

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۱-۱- تعریف پلاستیک

پلاستیک‌ها پلیمرهای مصنوعی هستند که هدایت الکتریکی و حرارتی کم، توانایی ضدخوردگی، نسبت قدرت بالا به وزن، هزینه ی کم برای تولید و توانایی تبدیل به اشکال مختلف در طبیعت را دارند. پلاستیک‌ها از زنجیره‌های طولانی پلیمری تشکیل شده‌اند. پلیمرها از کربن, کسیژن, هیدروژن, سیلیکون, کلرید و گازهای طبیعی بدست می‌آیند(Liu و همکاران، ۲۰۲۱). شناور بودن پلاستیک‌ها باعث می‌شود تا در مسافت های طولانی پراکنده‌شوند و در نهایت در رسوبات مکانی مستقر شوند. یکی از جنبه های اصلی آلودگی پلاستیک، وجود میکروپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های آبی است، که از طریق برخی فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مانند اشعه ماوراء بنفش, عملکرد موج و جریان اقیانوس قطعات بزرگ زباله‌های پلاستیکی میتواند به پلاستیک در ابعاد میکرو که معمولاً به عنوان میکروپلاستیک نامیده می‌شود، تجزیه شوند(Ogunola و همکاران، ۲۰۱۶).

۱-۲-اندازه‌ی پلاستیک

زباله‌های دریایی عمدتاً از پلیمرهای پلاستیکی غیرقابل تجزیه زیستی تشکیل شده‌اند. پلیمرها می‌توانند خطی، منشعب، دو بعدی یا سه بعدی باشند. (Goldstein، ۲۰۱۲) جدول (۱-۱) خلاصه‌ای از دسته بندی استاندارد پلاستیک‌ها را نشان می‌دهد (Portoles، ۲۰۲۰، Lee و همکاران ۲۰۲۱،Ramkumar وهمکاران ۲۰۲۲).

جدول (۱-۱) دسته‌بندی اندازه استاندارد قطعات پلاستیک

دسته‌بندی	مخفف	اندازه	تعریف اندازه
ماکروپلاستیک	MAP	D > ۵ mm	هر قطعه پلاستیکی بزرگتر از ۵ میلی‌متر
میکروپلاستیک	MP	۱ µm < D < ۵ mm	هر قطعه پلاستیکی کوچکتر از ۵ میلی‌متر و بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر
نانوپلاستیک	NP	D <۱ µm	هر قطعه پلاستیکی کوچکتر از ۱ میکرون

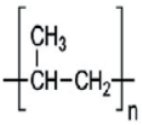
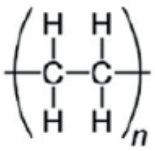
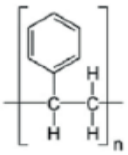
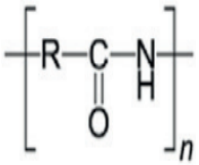
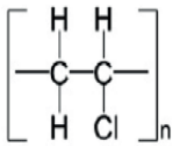
۱-۲- انواع پلیمر

عمده‌ترین پلاستیک‌های مصنوعی عبارتند از پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌استایرن، پلی‌اتیلن ترفتالات، پلی‌وینیل کلراید. در بین انواع پلاستیک، پلی‌اتیلن با چگالی‌کم و پلی‌اتیلن با چگالی بالا ،۹۰٪ از تولید پلاستیک در سراسر جهان را تشکیل می‌دهند. در جدول (۱-۲) انواع پلیمرها و خصوصیات آن‌ها گردآوری شده است (اسدی و همکاران.، ۱۳۹۹؛ Sari و همکاران.، ۲۰۲۱; Yuanو همکاران ۲۰۲۲).پلاستیک‌های موجود در اقیانوس‌ها به طور کلی براساس تراکم و چگالی توزیع می‌شوند. درمطالعه‌ای که روی پلاستیک جمع‌آوری شده از خطوط ساحلی در سراسر جهان انجام شد (Goldstein، ۲۰۱۲).

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

جدول (۱-۲) انواع پلیمرها و خصوصیات آن‌ها

نوع پلیمر	پلیپروپیلن	پلی اتیلن	پلی استایرن	پلی آمید	پلی وینیل کلراید
مخفف	PP	PE	PS	PA	PVC
فرمول شیمیایی					
چگالی (kg/m^3)	۹۰۰	۹۱۰-۹۷۰	۱۰۵۰	۱۱۶۰	۱۳۳۳
کاربرد	ظروف و بسته بندی مواد غذایی قابل استفاده مجدد،درب بطری، نی نوشیدنی، تجهیزات آزمایشگاهی	فیلم, بسته بندی مواد غذایی، کیسه های خرید، لوله های آب اسباب بازی، بطری شیر، لوله، کیسه های پلاستیکی، بطری های مواد شوینده و روغن، عایق کابل	ظروف فست فود، لیوان ها و درب های پلاستیکی یکبار مصرف،فوم ,جعبه های کریستالسی دی، ظروف سرویس، مواد بسته بندی، ظروف آزمایشگاهی،مصارف الکترونیکی	نساجی،فرش،لباس های ورزشی، بلبرینگ های کوچک، برف پاک کن ها، نازل های شلنگ آب، کلاه ایمنی، کفش های اسب مسابقه، جوهر، لباس های بارانی	لوله،کف، قاب پنجره، پرده دوش، روکش صندلی ماشین،کت بارانی، بطری، گیره، زیره کفش، شیلنگ باغ،لوله برق
خصوصیات	چگالی کم	چگالی کم و زیاد، زیست تخریب ناپذیر، رایج ترین پلاستیک	قدرت بالا و مقاوم	ماندگاری بالا و قدرت بالا	تراکم بالا، زیست تخریب ناپذیر

۱-۲- تعریف میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها به طور کلی ذرات پلاستیکی کوچکتر از ۵ میلی‌مترهستند و می‌توانند به اشکال مختلف مانند فیلم، قطعه، فیبر، فوم و پلت طبقه‌بندی شوند. آن‌ها دارای رنگ‌های مختلف از جمله آبی، قرمز، سیاه، سفید و شفاف هستند. خواص شیمیایی میکروپلاستیک‌ها نسبتا پایدار بوده و فرایندهای تخریب آن‌ها بسیار آهسته است، بنابراین میکروپلاستیک‌ها به طور بالقوه برای مدت زمان طولانی در محیط‌زیست باقی خواهند ماند(Liu و همکاران، ۲۰۲۱). زمانی که میکروپلاستیک‌ها در محیط آبی قرار میگیرند یا میتوانند شناور باشند یا ته نشین شوند. میکروپلاستیک‌ها سبک تر از اب دریا، مانند پلی پروپیلن شناور می شوند و به طور گسترده در سراسر اقیانوس ها پراکنده می شوند. اریکسن و همکاران (۲۰۱۴) برآورد کرده‌اند که ۹۳ تا ۲۶۸ کیلوتن از این میکروپلاستیک‌ها در حال حاضر در اقیانوس ها شناور هستند. میکروپلاستیک‌های دیگر مانند اکریلیک چگال تر از آب دریا هستند و احتمالا در کف اقیانوس انباشته میشوند و این موضوع به این معنی است که مقدار قابل توجه‌ای از میکروپلاستیک ممکن است در محیط ابی عمیق تجمع یابد و در نهایت در زنجیره های غذایی وارد شوند (Boucher و Friot ، ۲۰۱۷).

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۲-۲- پراکنش میکروپلاستیک‌ها در محیط زیست

توزیع میکروپلاستیک‌ها ممکن است تحت تأثیر تغییر آب و هوای جهانی از جمله دما، عرض جغرافیایی، شدت UV باشند (Liu و همکاران، ۲۰۲۱). اگرچه شناخت دقیق جنبه آلودگی میکروپلاستیک‌ها ممکن نیست، اما میکروپلاستیک به طور مداوم در آب دریا، آب شیرین، غذا، هوا و خاک شناسایی شده‌است. علاوه بر این موضوع، پیش‌بینی می‌شود که آلودگی میکروپلاستیک‌ها در آینده جدی‌تر میشود. میکروپلاستیک‌ها به اشکال مختلف از جمله فاضلاب صنعتی، زباله، تصفیه‌خانه فاضلاب، محصولات شخصی خانگی، رواناب جاده‌ها، زباله‌های ماهیگیری تولید می‌شوند(Park و Park ،۲۰۲۱). تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب‌ها مسیر غالب میکروپلاستیک‌ها از خشکی به آب‌های طبیعی و در نهایت به اقیانوس‌ها هستند. فراوانی میکروپلاستیک به طور قابل‌توجه‌ای در تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب در مقایسه با آب‌های شیرین و محیط‌های دریایی مشاهده شده‌است(Liu و همکاران، ۲۰۲۱). روان‌آب حاصل از فعالیت‌های شهری، کشاورزی و تفریحی، دفع بی رویه (بطری های پلاستیکی، بسته بندی و حمل و نقل)، رهاسازی صنعتی (شامل شیلات و لوازم آرایشی)، پساب‌های جوی و پساب‌های فاضلاب از جمله منابع متعدد ورود پلاستیک و میکروپلاستیک به محیط‌زیست هستند. داده های محدودی وجود دارد که فرآیندها و مکانیسم های حذف زباله‌های پلاستیکی از سطح آب را توصیف می‌کند(Pico وهمکاران، ۲۰۱۹).

در سال‌های اخیر، میکروپلاستیک‌ها در سطح جهانی در اقیانوس‌ها و نواحی ساحلی و حتی اعماق دریاها و نواحی قطبی نیز یافت شده‌اند. که باعث افزایش مقدار میکروپلاستیک در اعمق محیط ابی می‌شود. بنابراین، بررسی توزیع میکروپلاستیک‌ها برای مطالعه منبع و تأثیر میکروپلاستیک‌ها حائز اهمیت است (Park و Park ،۲۰۲۱). پلاستیک‌ها پس از رهاسازی به محیط زمین, ممکن است به تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها منتقل شوند(Hale وهمکاران،۲۰۲۰). آلودگی میکروپلاستیکی در اکوسیستم دریایی و سیستم غذای انسانی رایج است. میکروپلاستیک ممکن است مواد شیمیایی سمی از جمله افزودنی‌های سمی، آلودگی های آلی پایدار و فلزات سنگین غنی شده از محیط اطراف حمل را کنند و به موجودات دریایی منتقل کنند. مواد شیمیایی سمی ممکن است در طول زنجیره ی غذا غنی شوند، که ممکن است موجب اثر مضر بر زندگی دریایی و سلامتی انسان شود(Yuanو همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۳- انواع میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها به طور کلی بر اساس منشا به دو دسته‌ی میکروپلاستیک‌های اولیه و ثانویه طبقه‌بندی می‌شوند(Yuanو همکاران، ۲۰۲۲). میکروبیدها نوع دیگری میکروپلاستیک‌های اولیه محصولات صنعتی و مصنوعی هستند از پلاستیک‌های اولیه با اندازه کمتر از ۲ میلی‌مترهستند که از پلی‌اتیلن, پلی‌پروپیلن و پلی استایرن تشکیل شده‌اند و در محصولات آرایشی استفاده می‌شوند (Chatterjee و Sharma، ۲۰۱۹). میکروپلاستیکهای اولیه به طور مستقیم از پلاستیک، محصولات دارویی و همچنین محصولات مراقبتی شخصی(Liu و همکاران، ۲۰۲۱). شامل بقایای خمیر دندان، ژل مو، شیر پاک‌کننده، خوشبو کننده‌های ذرات هوا تشکیل می‌شوند و معمولاً با تخلیه فاضلاب خانگی وارد محیط اطراف می‌شوند. (Yuanو همکاران، ۲۰۲۲). منابع ثانویه میکروپلاستیکی شامل قطعات یا الیاف حاصل از تجزیه‌ی پلاستیک‌ها در محیط طبیعی هستند(Liu و همکاران، ۲۰۲۱). میکروپلاستیک‌های ثانویه از ضایعات پلاستیکی با اندازه‌ی ۵ تا ۲۵ میلی‌متر و از طریق فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به دست می‌آیند. براساس گزارشی از پان و همکاران (۲۰۱۹) منشاء اصلی میکروپلاستیک‌های ثانویه نتیجه ساییدگی رنگ و محصولات پلاستیکی، قطعات زباله‌های پلاستیکی که به درستی تصفیه نشده‌اند و الیاف میکروپلاستیک در تجهیزات و منسوجات دور ریخته‌شده‌ی ماهیگیری است(Yuanو همکاران، ۲۰۲۲).

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۲-۴- دسته بندی و اندازه ی میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها بسته به اندازه‌ی آن‌ها به دو دسته‌ی میکروپلاستیک‌های کوچک از ۰،۰۰۱ تا ۱ میلی‌متر و میکروپلاستیک‌های بزرگ از ۱ تا ۵ میلی‌متر تقسیم می‌شوند. اندازه ۵ میلی‌متر برای میکروپلاستیک‌ها به عنوان حد بالا در نظر گرفته می‌شود. برای تشخیص میکروپلاستیک‌ها در اندازه‌های کوچکتر از ۱ میکرومتر در محیط آبی در حال حاضر روش مناسبی برای آنالیز آن‌ها وجود ندارد، بنابراین حداقل اندازه‌ی تشخیص میکروپلاستیک‌ها ۱ میکرومتر در نظر گرفته می‌شود. باتوجه به روش طبقه‌بندی میکروپلاستیک‌ها توسط اداره‌ی ملی اقیانوس‌ها و اتمسفر آمریکا، ۵۰٪ میکروپلاستیک‌هایی که در محیط آبی یافت می‌شوند، بین ۰/۵ تا ۱ میلیمتر، ۲۹/۸٪ از میکروپلاستیک‌ها بین ۱ تا ۲/۵ میلیمتر و ۱۷/۶٪ آن‌ها بین۲/۵ تا ۵ میلی‌متر هستند. از آنجایی که پلاستیک‌های بزرگ در محیط آبی توسط انواع فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی شکسته می‌شوند فراوانی تعداد میکروپلاستیک‌ها با کاهش اندازه‌ی آن‌ها افزایش می‌یابد (Yuanو همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۵- اشکال میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها به طور معمول به صورت ورق، فیلم، الیاف، قطعه، گرانول و فوم دسته بندی می‌شوند. درجدول(۱-۳) به بررسی تعریف هر یک از اشکال پرداخته می‌شود. با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط (قالهری و همکاران, ۱۳۹۹)؛ (درویشی و همکار،۱۴۰۰)؛ (Coffinو همکاران، ۲۰۲۰) (Wagner و Lambert، ۲۰۱۸) (Liu و همکاران، ۲۰۲۱). جدول(۱-۴) اشکال مختلف میکروپلاستیک در محیط‌زیست را نشان می‌دهد(Hendrickson و همکاران، ۲۰۱۸).

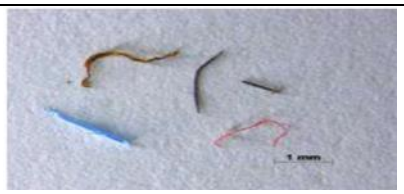
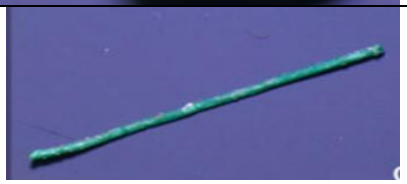
جدول(۱-۳) تعریف اشکال میکروپلاستیک

شکل	تعریف
فیبر	طول ذره حداقل ۳ برابر بیشتر از عرض است. ذرات باید سرتاسر یکنواخت و استوانه ای شکل باشند. دسته‌های فیبری به دلیل مشکل در باز شدن به عنوان یک ذره واحد در نظر گرفته می شوند.
فیلم	طول و عرض به طور قابل توجهی بزرگتر از عمق ذره است، جایی که عمق احتمالاً کاغذ نازک است. فیلم‌ها معمولا چکش خوار هستند. ذره باید یک ذره ۲ بعدی به نظر برسد.
فوم ها	دارای ساختار اسفنجی یا حباب مانند است
قطعات	به شکل نامنظم، ذرات معمولا سفت و سخت. ذره باید ۳ بعدی به نظر برسد.
کره	نسبتاً کروی یا دایره ای شکل، به احتمال زیاد یک میکروپلاستیک اولیه است
سایر موارد	ذرات صرفاً با ۱ دسته مطابقت ندارند و/یا دارای ویژگی هایی هستند که توسط دسته ی اشکال دیگر توضیح داده نشده‌است.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

جدول(۱-۴) انواع اشکال مختلف میکروپلاستیک در محیط های آبی

نام	اشکال	
فیلم		
ورق		
قطعه		
گرانولی		
فوم		
فیبر		

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

میکروپلاستیک یکی از مشکلات جهانی است و شناسایی و آنالیز میکروپلاستیک و همچنین حذف آنها از محیط های طبیعی بسیار ضروری میباشد. متاسفانه فن‌آوری‌های فعلی برای حذف، بازیافت یا تخریب میکروپلاستیک‌ها برای از بین بردن همیشگی آن ها کافی نیست، علاوه بر این تکه تکه شدن و تخریب زباله های پلاستیکی که ناشی از مدیریت پسماند ضعیف انسان است به تازگی به عنوان منبع قابل توجهی از میکروپلاستیک‌ها شناخته‌شده‌است، بنابراین پیشرفت روش های حذف میکروپلاستیکی و استراتژی بازیافت پلاستیک برای ساخت یک محیط عاری از پلاستیک بسیار مهم است.

مراجع

۱. اسدی قالهری، مهدی؛ کیشی پور، امین؛ مصطفی لو، رقیه، یلدا، ۱۳۹۹، میکروپالستیک‌ها به عنوان یک چالش جدید در مدیریت منابع آبی: اشکل مختلف و روش‌های حذف آن‌ها (یک مطالعه موردی). https://civilica.com/doc/۱۱۸۶۶۸۱

۲. درویشی، غالمرضا؛ احتشامی، مجید؛ مهردادی، ناصر؛ عابدینی، رضا؛ گلبابائی کوتنائی، فرشاد، ۱۴۰۰، مطالعه و بررسی اثرات زیست محیطی ذرات میکروپلاستیک و شناسایی آن، سومین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت محیط زیست، قایم شهر. https://civilica.com/doc/۱۲۳۷۹۵۲

۳. Amelia, T. S. M., Khalik, W. M. A. W. M., Ong, M. C., Shao, Y. T., Pan, H. J., and Bhubalan, K. (۲۰۲۱). Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. *Progress in Earth and Planetary Science*, ۸(۱), ۱-۲۶. https://doi.org/۱۰,۱۱۸۶/s٤۰٦٤٥-۰۲۰-۰۰٤۰٥-٤

٤. Ryan, P. G. (۲۰۱٥). A brief history of marine litter research. In *Marine anthropogenic litter* (pp. ۱-۲٥). Springer, Cham. http://dx.doi.org/۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۳۱۹-۱٦٥۱۰-۳

٥. Boucher, J., and Friot, D. (۲۰۱۷). *Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources* (Vol. ۱۰). Gland, Switzerland: Iucn. ISBN ۹۷۸-۲-۸۳۱۷-۱۸۲۷-۹

٦. Chatterjee, S., and Sharma, S. (۲۰۱۹). Microplastics in our oceans and marine health. *Field Actions Science Reports. The Journal of Field Actions*, (Special Issue ۱۹), ٥٤-٦۱. http://journals.openedition.org/factsreports/٥۲٥۷

۷. GESAMP (۲۰۱٥) Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection Reports and studies ۹۰

۸. Coffin, S. (۲۰۲۰). Status of Legislation and Regulatory Drivers for Microplastics in California. In *To Protect Water Quality Around the World* (Vol. ٥٤, p. ۱۷).

۹. Goldstein, M. C. (۲۰۱۲). *Abundance and ecological implications of microplastic debris in the North Pacific Subtropical Gyre*. University of California, San Diego.

۱۰. Lee, J., Choi, Y., Jeong, J., and Chae, K. J. (۲۰۲۱). Eye-glass polishing wastewater as significant microplastic source: Microplastic identification and quantification. *Journal of Hazardous Materials*, ٤۰۳, ۱۲۳۹۹۱. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.jhazmat.۲۰۲۰,۱۲۳۹۹۱

۱۱. Liu, F. F., Wang, S. C., Zhu, Z. L., and Liu, G. Z. (۲۰۲۱). Current progress on marine microplastics pollution research: A review on pollution occurrence, detection, and environmental effects. *Water*, ۱۳(۱۲), ۱۷۱۳. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/w۱۳۱۲۱۷۱۳

۱۲. Ogunola, O. S., and Palanisami, T. (۲۰۱٦). Microplastics in the marine environment: current status, assessment methodologies, impacts and solutions. *J Pollut Eff Cont*, ٤(۱٦۱), ۲. http://dx.doi.org/۱۰,٤۱۷۲/۲۳۷٥-٤۳۹۷,۱۰۰۰۱٦۱

۱۳. Park, H., and Park, B. (۲۰۲۱). Review of Microplastic Distribution, Toxicity, Analysis Methods, and Removal Technologies. *Water*, ۱۳(۱۹), ۲۷۳٦. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/w۱۳۱۹۲۷۳٦

۱٤. Pico, Y., Alfarhan, A., and Barcelo, D. (۲۰۱۹). Nano-and microplastic analysis: Focus on their occurrence in freshwater ecosystems and remediation technologies. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, ۱۱۳, ٤۰۹-٤۲٥. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.trac.۲۰۱۸,۰۸,۰۲۲

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۱۵. PlasticsEurope, Plastics – the Facts ۲۰۱۵-An analysis of European plastics production, demand and waste data ,https://www.plasticseurope.org/application/files/۳۷۱۵/۱۶۸۹/۸۳۰۸/۲۰۱۵plastics_the_facts_۱٤۱۲۲۰۱۵.pdf

۱۶. PlasticsEurope, Plastics – the Facts ۲۰۲۰-An analysis of European plastics production, demand and waste data, https://www.plasticseurope.org/application/files/۵۷۱۶/۰۷۵۲/٤۲۸۶/AF_Plastics_the_facts-WEB-۲۰۲۰-ING_FINAL.pdf

۱۷. Portoles, E. (۲۰۲۰). Bachelor thesis Title: Micro plastics in water – current states and future challenges.

۱۸. Ramkumar, M., Balasubramani, K., Santosh, M., and Nagarajan, R. (۲۰۲۲). The plastisphere: A morphometric genetic classification of plastic pollutants in the natural environment. *Gondwana Research*, *۱۰۸*, ٤-۱۲. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.gr.۲۰۲۱,۰۷,۰۰٤

۱۹. Ricciardi, M., Pironti, C., Motta, O., Miele, Y., Proto, A., and Montano, L. (۲۰۲۱). Microplastics in the aquatic environment: Occurrence, persistence, analysis, and human exposure. *Water*, *۱۳*(۷), ۹۷۳. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/w۱۳۰۷۰۹۷۳

۲۰. Sari, G. L., Kasasiah, A., Utami, M. R., and Trihadiningrum, Y. (۲۰۲۱). Microplastics contamination in the aquatic environment of Indonesia: A comprehensive review. *Journal of Ecological Engineering*, *۲۲*(۱۰). https://doi.org/۱۰,۱۲۹۱۱/۲۲۹۹۸۹۹۳/۱٤۲۱۱۸

۲۱. Wagner, M., and Lambert, S. (۲۰۱۸). *Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants?* (p. ۳۰۳). Springer Nature. http://doi ۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۳-۳۱۹-٦۱٦۱۵-۵

۲۲. Xiang, S., Xie, Y., Sun, X., Du, H., and Wang, J. (۲۰۲۲). Identification and Quantification of Microplastics in Aquaculture Environment. *Frontiers in Marine Science*, *۸*, ۸۰٤۲۰۸. https://doi.org/۱۰,۳۳۸۹/fmars.۲۰۲۱,۸۰٤۲۰۸

۲۳. Yuan, Z., Nag, R., and Cummins, E. (۲۰۲۲). Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment-From marine to food systems. *Science of The Total Environment*, ۱۵۳۷۳۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.scitotenv.۲۰۲۲,۱۵۳۷۳۰