فناوری پلیمر ایران

فصلنامه علمی
سال ششم، شماره ۱، شماره پیاپی ۲۱، بهار ۱۴۰۰
Vol. 6, No. 1, Issue No. 21
Spring 2021, Quarterly
صفحه ۷۶ - ۷۱

Iran Polymer Technology;
Research and Development

آسیب‌های پر ضرر به سلامت و بهداشت انسان در تماس با میکرو و نانو پلاستیک‌ها

هوری میوه‌چی
عضو هیئت مدیره انجمن پلیمر ایران

چکیده

پلاستیک‌ها مواد بسیار مهمی هستند که امروزه در کلیه ابعاد زندگی بشر به‌صورتی گسترده استفاده می‌شوند. این مواد با قیمت ارزان تولید می‌شوند و وزن سبک و سازگاری فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در کاربردهای مختلف و روزمره زندگی، مانند بسته‌بندی غذاها، ساخت محصولات خانگی و صنعتی، وسایل پزشکی و ساختمانی رایج است. تا سال ۲۰۵۰ برآورده شده که با افزایش ۳۳ میلیارد تنی از پلاستیک برروی کره زمین روبرو هستیم. با توجه به مقاومت زیاد پلیمرها در برابر تخریب فیزیکی و شیمیایی، حضور دایمی این مواد در محیط زیست، برای سلامتی انسان وحیوانات بسیار خطرناک است. روبرو شدن و تماس پیوسته انسان از طریق دهان وپوست با مواد شیمیایی و تنفس آن، نشانه ورود گسترده این مواد به بدن انسان است. از طرف دیگر دور ریزی بی‌حد ضایعات پلاستیکی، بار سنگینی را به سامانه‌های مدیریتی دفع زباله تحمیل کرده به‌طوری که امکان دفع کامل زباله ازمحیط زیست منتفی شده، آلودگی بالقوه درزنجیره مواد غذایی رخ داده است. مساله مهم‌تر این‌که علیرغم ورود خرده پلاستیک‌ها (میکرو و نانوپلاستیک‌ها) در اکوسیستم‌های آبی و خاکی، آسیب‌های ناشی ازحضور میکرو و نانو پلاستیک‌ها در محیط زیست، به‌اندازه کافی مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است. در این مقاله اطلاعات بیشتری از تماس روزمره انسان با ضایعات پلاستیکی و آسیب‌های احتمالی آن بحث می‌شود و مصادیق بی‌شماری از تماس انسان با میکرو و نانو پلاستیک‌ها در مواد غذایی و خرده‌ریزهای دور ریختنی بررسی خواهد شد و خطرهای ناشی از این تماس‌ها گوشزد می‌شوند. در انتها، پیشرفت‌های اخیر در ارائه نسل جدیدی از پلیمرهای بی‌خطر پایدار معرفی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی:

نانو پلاستیک‌ها،
پلیمر،
میکرو

مقدمه

چنانچه ناظری به ۵۰ سال رشد و گسترش پلیمر و وضعیت کنونی پلاستیک‌ها نظر بیاندازد، مشاهده خواهد کرد که این مواد با چه گستردگی در زوایای مختلف زندگی بشر رسوخ کرده است. انسان‌ها از پلاستیک‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی،

نوشابه‌ها، آشپزی با وسایل پلاستیکی و در زمینه دارورسانی استفاده می‌کنند. همچنین به‌طور فزاینده‌ای از پلاستیک‌ها و کامپوزیت‌های پلیمری در ساختمان‌سازی سود می‌برند. تولید جهانی سالیانه پلاستیک‌ها حدود ۳۰۰ میلیون تن است. طبق برآورد اتحادیه اروپا نیاز به پلاستیک در سال ۲۰۱۰ بالغ بر ۴۶/۴ میلیون تن بوده که شامل استفاده از پلاستیک‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی و استفاده از آن‌ها در دیگرصنایع پلاستیکی بوده‌است، (طبق گزارش پلاستیک اروپا ۲۰۱۳). این مقدار با نرخ کلی در صد بازیافتی یعنی تقریبا ۵۷/۹ درصد، به حدود ۲۴/۷ میلیون تن پلاستیک خرده‌ریز دور ریختنی براورد شده‌است که هر سال وارد زنجیره مواد ضایعاتی و پسماند می‌شود که بخش زیادی از این ضایعات پلاستیکی به دریا وارد می‌شود. گروه پژوهشگر جم بیک و همکاران (Jambeck) از دانشگاه جورجیا، آمریکا ورود ۴/۸ تا ۱۲/۷ میلیون تن ضایعات پلاستیکی را به اقیانوس‌ها برآورد کرده‌اند. گرچه این عدد هشدار دهنده‌است ولی تاثیر ورود این حجم از ضایعات ناشی از مصرف بی‌رویه پلاستیک‌ها بر بهداشت و سلامت انسان کماکان مبهم است. به‌عنوان نمونه در هر سال رقمی حدود ۱۴/۵ میلیون تن پلاستیک در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی مصرف می‌شود (براساس داده‌های تولیدکننده پلاستیک‌های اروپا). جنبه مثبت آن اصلاح بسته بندی غذا وجلوگیری از آلودگی باکتری در غذا مانند سالمونلا و سایر امراض مرتبط با غذا (هانینگ و همکاران ۲۰۰۹ و کمیسیون اروپا ۲۰۱۴) است، ضمن این‌که کاهش تولید ضایعات در مواد غذایی نیز صورت می‌گیرد. نقطه مقابل آن آلودگی غذای بسته‌بندی شده است که به‌علت تماس مستقیم انسان با آن در اثر مصرف پلاستیک‌هاست (گروب و همکاران ۲۰۰۶). اگرچه مقررات سخت گیرانه‌ای برای تماس غذا با مواد آلوده‌کننده تدوین شده‌است، ولی هنوز دقیقا روشن نیست که چه اقدامات عملی برای جلوگیری از افزایش ورود پلاستیک‌های دور ریختنی به محیط زیست صورت گرفته‌است.

با اطلاعات اندکی که در مورد سرعت تخریب و تجزیه پلاستیک‌ها و نفوذ عوامل شیمیایی به لایه‌های مختلف زیست بوم و ورود مجدد آن‌ها به مواد غذایی، در دسترس است، نمی‌توان خطرهای ناشی از بروز و عوارض بیماری‌های مزمن، به‌علت تماس انسان با پلاستیک‌ها و افزودنی‌ها را دقیقا برآورد کرد. یکی از راه‌های برخورد با این مساله این است که مواد شیمیایی وارد شده به‌بدن انسان ردیابی شوند. ردیابی زیستی از مسیرهای با ارزشی است که نقش غلظت آلودگی‌های محیط زیست و اثر آن‌ها را روی سوخت و ساز بافت‌های انسان با مایعات بدن مانند خون، شیر، بزاق دهان یا اوره تعیین می‌کند. ردیابی زیستی از راه‌های چندگانه اندازه‌گیری خطر عوامل محیطی تأثیرگذار در بهداشت عمومی است (سکستون و همکاران ۲۰۰۴). فقط از این طریق است که می‌توان میزان ورود مواد پلاستیکی را به بدن انسان تعیین کرد. برنامه "بهداشت عمومی و بررسی سلامت تغذیه" موسوم به NHANES که در آمریکا برای بررسی وضعیت بهداشت بزرگسالان و کودکان تدوین شده تنها مرجعی است که به‌طور جامع برنامه‌های ردیابی و ارزیابی زیستی را به‌عهده دارد. این گزارش غلظت‌های چند مورد از مواد مرتبط با تولید پلاستیک‌ها مانند بیس فنل، فتالات‌ها، استایرین، آکریل آمید، تری‌کلوسان (Triclosan)، مواد میکروب‌کش و ضد قارچ و شعله تاخیر اندازهای برومینات شده را ارائه کرده‌است.

انواع پلاستیک‌های مورد استفاده

واژه پلاستیک به پلیمر حاوی مواد افزودنی، برای ایجاد خواص گوناگون در محصول نهایی، اطلاق می شوند. تقاضا برای پلاستیک در دنیا ۴۵/۹ میلیون تن در سال ۲۰۱۲ بود و برآورد شده است که تا سال ۲۰۳۰ تولید آن به ۹۹ میلیون تن برسد. جدول ۱ حجم مورد نیاز پلاستیک در صنایع مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول آمده است بخش بسته‌بندی، شامل بسته‌بندی غذاها و نوشابه‌ها از بالاترین درصد مصرف برخورداراست. پلاستیک‌ها به طور عموم به دو دسته تقسیم می‌شوند: گرمانرم‌ها که در اثر گرما ذوب می‌شوند و دوباره

جدول ۱ نیاز صنعت اروپا به پلاستیک (۲۰۱۲).

بخش صنعت	حجم میلیون/تن	درصد کل
بسته‌بندی	۱۸/۱	۳۹/۴
ساختمان‌سازی	۹/۳۲	۲۰/۳
اتومبیل	۳/۷۶	۸/۲
الکترونیک و برق	۳/۰۳	۶/۶
کشاورزی	۱/۹۳	۴/۲
سایر (لوازم منزل، بهداشتی و پزشکی، ورزش، وسایل مصرفی و ابزار خانگی)	۱۰/۳	۲۲/۴
کل نیاز (سال ۲۰۱۲)	۴۵/۹	۱۰۰

* ارقام بالا توسط پلاستیک یوروپ (Plastics Europe) در سال ۲۰۱۳ ارائه داده است.

قالب‌گیری می‌شوند و گرماسخت‌ها که در اثر ایجاد پیوندهای عرضی قادر به ذوب و قالب‌گیری دوباره نیستند. با توجه به این خواص پلاستیک‌ها به هفت گروه مختلف با توجه به‌سهولت بازیابی آن‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند.

جدول ۲ چند مثال از محصولات بازیافت شده را ارائه داده و نیاز اروپا را به رزین‌های مختلف برای ساخت محصولات پلیمری بیان می‌کند. طبق این جدول اروپا به ۱۹/۸ درصد کل پلاستیک تولیدی (بدون پلاستیک‌های بازیافتی) نیاز دارد.

پلاستیک‌ها و سلامتی انسان

پلاستیک‌ها معمولاً نسبت به سلامتی انسان بی‌خطر و خنثی انگاشته می‌شوند، در حالی‌که خطر ناشی از مصرف این مواد به‌دلیل حضور افزودنی‌ها در آن‌هاست. طیف وسیعی از افزودنی‌ها شامل آغازگرها، کاتالیزورها و حلال‌ها هستند. افزودنی‌هایی که برماهیت پلاستیک نهایی اثر می‌گذارند شامل پایدار کننده‌ها، نرم کننده‌ها، شعله تاخیراندازها، رنگینه‌ها و پرکننده‌ها هستند. افزودنی‌ها با ساختار مولکولی پلاستیک پیوند ایجاد نمی‌کنند و به‌دلیل وزن مولکولی پایین در طول مصرف پلاستیک، وارد محیط اطراف شامل آب، هوا، غذا یا بافت‌های بدن می‌شوند.

تعداد افزودنی‌ها به هزاران نوع برآورد شده‌است و براساس گزارش جامع در سال ۲۰۱۱ بعضی از پلاستیک‌ها دارای تعداد افزودنی بیشتری نسبت به سایر پلاستیک‌ها هستند. در این مورد باید از پلی‌وینیل کلراید نام برد که بیش از هر پلیمر دیگری دارای افزودنی است. از انواع افزودنی پایدار کننده‌های گرمایی است که این پلیمر را در حین شکل‌دهی در برابر گرما محافظت کند و فتالات‌ها که انعطاف‌پذیری ایجاد می‌کنند. نرم کننده‌ها گاهی به درصد بالایی از حضور تا ۸۰ درصد وزن نهایی پلیمر می‌رسند. پلی‌پروپیلن شدیدا به اکسایش حساس است و به‌طور معمول درصد بالایی از مواد ضد اکسایش و پایدار کننده‌ها در مقابل نور به آن افزوده می‌شود. سایر مواد افزودنی شیمیایی شامل نونیل‌فنل درپلی‌اولفین‌ها، شعله تاخیر اندازه‌های برومیناتی در ABS (آکریلو نیتریل-بوتادی‌ان-استایرین). ازدیگر موارد اسفنج‌های یورتانی و بیس‌فنل A درپلی کربنات‌ها هستند.

سرعت تراوش افزودنی‌ها در اثر چند عامل تعیین می‌شود،

جدول ۲ انواع رزین مورد نیاز پلاستیک اروپا.

ردیف	نوع رزین	محصول نوعی	حجم مورد نیاز میلیون تن	درصد کل نیاز اروپا	درصد بازیافتی
۱	پلی اتیلن ترفتالات	بطری‌ها و الیاف پلی‌استر	۲/۹۸	۶/۵	۲۰
۲	پلی‌اتیلن با چگالی بالا	بطری، کیف، درپوش‌ها	۵/۵۱	۱۲/۰	۱۱
۳	پلی‌وینیل کلراید	چکمه، قاب پنجره، لوله آب‌رسانی	۴/۹۱	۱۰/۷	۰
۴	پلی‌اتیلن سبک	کابل‌ها، کیسه، سطل، جاصابونی	۸/۰۳	۱۷/۵	۶
۵	پلی پروپیلن	لوازم نوشت و افزار، گلدان، الیاف صنعتی	۸/۶۳	۱۸/۸	۱
۶	پلی‌استایرین	قوطی غذا، چارچوب درب، سپر اتومبیل	۳/۴۰	۷/۴	۱
۷	سایر پلاستیک‌ها مانند پلی‌کربنات، پلی‌آمید، آکریلونیتریل، پلاستیک‌های اکریلیک، پلی آکریلونیتریل و پلاستیک‌های زیستی	بطری، پوشاک، لباس پزشکی و وسایل پزشکی	۹/۸۲	۱۹/۸	۶
۸	کل		۴۵/۹	۱۰۰	۳۹

از جمله ابعاد و تبخیر پذیری مولکول‌های افزودنی، تراوش از داخل خود پلیمر (مهاجرت درپلیمرهای شدیدا تراوش‌پذیر صورت می‌گیرد) و دما و pH محیط (هوا، آب، خاک و بافت‌های بدن انسان). بسیاری از پلیمرها خود می‌توانند به‌علت رهایش مونومر باعث نگرانی و خطر زیاد شوند. بسیاری از پلیمرهای مصرفی روزانه در مقابل تخریب‌زیستی شدیدا مقاوم‌اند. در نتیجه تخریب و رهایش از داخل پلیمرها در نهایت در اثر عوامل غیرزیستی مانند نور آفتاب، گرما، سایش مکانیکی

جدول ۳ میزان خطر نسبی مونومری بعضی از پلاستیک‌ها.

پلیمر	میزان خطر نسبی	بازیافتی	اندازه‌گیری مواد
پلیمرها با بیشترین میزان خطر نسبی			
پلی‌یورتان به صورت اسفنج قابل انعطاف	۱۳/۸۴۴	۶	
پلی‌آکریل آمید با مونومرهای همراه	۱۲/۳۷۹	۷	آکریل‌آمید
پلی‌وینیل کلراید نرم شده	۱۰/۵۵۱	۳	بنزیل‌بوتیل فتالات
پلی‌وینیل کلراید نرم نشده	۱۰/۰۰۱	۳	
پلی یورتان به‌صورت اسفنج سخت	۷۳۸۴	۶	
رزین اپوکسی	۷۱۳۹	۷	بیس فنل A
آکریلونیتریل-بوتادی‌ان استایرین (ABS)	۶۵۵۲	۷	استایرین
پلیمرها با کمترین میزان خطر نسبی			
پلی‌اتیلن سبک	۱۱	۴	
پلی‌اتیلن سنگین	۱۱	۲	
پلی‌اتیلن ترفتالات	۴	۱	
پلی‌وینیل استات	۱		
پلی‌پروپیلن	۱	۵	

*خطر ناشی از پلیمرها بر اساس مونومرهای تشکیل دهنده پلیمرو افزودنی‌هاست.

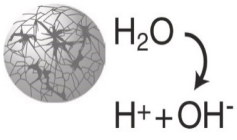
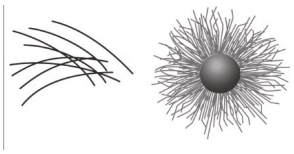
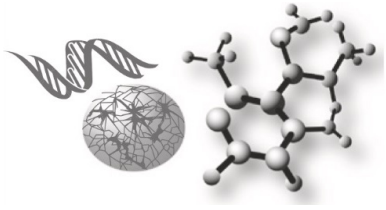
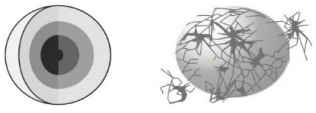
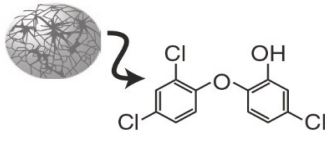
و یا شیمیایی اتفاق می‌افتد. شکسته شدن پیوندهای شیمیایی منجر به پاره شدن زنجیره پلیمری و واپلیمر شدن شود. تمام این پدیده‌ها با سرعت‌های مختلف در شرایط گوناگون صورت می‌گیرند (به طور مثال تغییر دما و اکسیژن) و واپلیمر شدن در پلیمرهای پلی‌استر، پلی‌کربنات و پلی‌یورتان با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. در نتیجه بسیار مشکل است که خطر ناشی از روبرویی با پلاستیک‌ها و افزودنی‌ها با توجه به پیچیده بودن و ترکیب‌های متغیر مواد در پخش‌شدن در محیط را پیش‌بینی کرد. لیتنر و همکاران (Lithner-۲۰۱۱) این مشکل پیچیده را با ارائه راه‌حل جامعی در طبقه‌بندی پلاستیک‌ها بر اساس حجم تولید جهانی در هرسال مطالعه کردند. انواع پلیمرهای پرمصرف با بالاترین و کم‌ترین خطر در جدول ۳ ارائه شده‌است. جدول ۴ نشان دهنده ترتیب انواع پلیمرهایی است که توسط ضایعات پلاستیک و میکروپلاستیک گزارش می‌شود.

برآورد خطر ناشی از هضم و جذب نانو یا میکروپلاستیک‌ها که غیر عمد وارد زنجیره غذایی می‌شوند، از اطلاعات و راهنمایی های ارزیابی خطرهای موجود، قابل دسترسی است. به‌طور مثال مرکز سلامت غذا در اروپا (EPSA) راهنمای جامعی از خطرهای ناشی از نانو مواد تدوین کرده‌است. این نانو مواد شامل نانوکامپوزیت‌ها و زیست پلیمرها و سایر مواد کمپلکس‌اند. بر اساس مطالعات این مرکز پیش‌بینی رفتار ریز (میکرو) و نانو پلیمرها نسبت به انسان بستگی به ساختار شیمیایی ترکیب‌ها و خواص فیزیکی و شیمیایی ذرات دارند، چون جذب این مواد در بدن و مواجه با بافت و تداخل بالقوه آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است، گرچه اطلاعات دقیق رفتار ذرات مختلف هنوز کافی نیست. جدول ۵ مجموعه‌ای از مطالعات مرکز سلامت غذای اروپا که سبب سمیت در بدن می‌شود، ارائه داده‌است. عوامل سمیت در اثر فعالیت زیاد ذرات، شکل‌شناسی (مورفولوژی) پیچیده آن‌ها، قابلیت ترکیب با زیست مولکول‌ها، پایداری و حضور افزودنی‌های سمی مطرح شده‌اند. شماری از نانوذرات شامل نانو رس(Nanoclay) است که نسبت بالای سطح به حجم در آن‌ها،خواص شیمیایی و مکانیکی آن‌ها را افزایش می‌دهد. نانو رس خواص سدگری (Barrier) نسبت به اکسیژن دارند که این خاصیت به خصوص در سالم نگهداشتن غذا مورد توجه قرار گرفته‌است. افزودن نانوذرات به پلیمر در مقایسه بامیکروذرات وابعاد بالاتر با کسرحجمی کمتری صورت می‌گیرد، لذا بیشتر مقرون به‌صرفه است. مسیرهای دیگری که انسان را در معرض نانوذرات قرار می‌دهد، مهاجرت از طریق پوست است. کاغذها و مواد چاپ دارای نانوذرات نوری و مکانیکی است که برای انسان خطرات مختلفی ایجاد می‌کند.

جدول ۴ پلاستیک‌های شناسایی شده در زباله‌ها و خطرنسبی آن‌ها.

نوع پلیمر	چگالی (گرم بر سانتیمتر مکعب)	ردیف نسبی خطر
پلی اتیلن (سبک و سنگین)	۰/۹۱۷–۰/۹۶۵	۱۱
پلی‌پروپیلن	۰/۹–۰/۹۱	۱
پلی‌استایرن	۱/۰۴–۱/۱	۱۶۲۸–۳۰
پلی‌آمید		۶۳–۵۰
پلی‌اتیلن ترفتالات	۱/۳۷–۱/۴۵	۴
پلی‌وینیل کلراید	۱/۱۶–۱/۵۸	۱۰۵۵۱–۵۰۰۱

جدول ۵ نشانه‌های سمیت بالقوه نانوذرات در بسته‌بندی غذایی.

خصوصیت ذرات	شرح فیزیکی و شیمیایی ذرات	نمونه
فعالیت زیاد	کاتالیستی، شیمیایی و فعالیت بیولوژیکی	
مورفولوژی (شکل شناسی)	لوله و الیاف سخت بانسبت بالای سطح به حجم، ذره‌های سخت، نفوذ پذیری خوب، کامپوزیت با موادی با طول عمر و خصوصیات مختلف	
قادر به ترکیب با زیست مولکول‌ها	پیوند خوردن و یا تداخل با آنزیم‌ها، DNA، دریافت کننده‌های استروئیدی، مسیرهای انتقال علامت (سیگنال)	
پایداری و توانایی در فعل و انفعالات پیچیده	پیرشدگی پلیمر، تغییرات سطح، نفوذپذیری، متابولیت‌ها، تغییرات و یا کاهش پوشش (به‌عنوان مثال سطح پروتئین کرونا)	
ورود ضد میکروب‌ها	رهایش زیست‌کش‌ها به محیط بافت زنده و بروز عواقب ناخواسته در روده	

نتیجه گیری

در این شرح کوتاه به تمایز و فرق بعضی از پلاستیک‌های پرمصرف روزانه و خطرهای بالقوه آن‌ها بر سلامت انسان بیان شد. مسیرهای مختلفی برای روبرو شدن انسان با افزودنی‌های پلاستیک‌ها (میکرو و نانو پلاستیک‌های مصرفی) وجود دارد که عمدتا درصنایع بسته‌بندی استفاده می‌شوند. واضح است که درک و فهم ما از جزئیات تماس افراد جامعه با میکرو و نانوپلاستیک‌هادرمحیط زندگی، بسیار اندک است و تا این زمان هنوز سوال‌های زیادی بدون پاسخ مانده است:

– آیا محیط زیست با انتقال قابل توجهی از میکرو و نانو پلاستیک‌ها مواجه است؟ اگر چنین است پس چه گونه‌ای از موجودات زنده در معرض بیشترین خطر هستند.

– پیرشدگی پلاستیک‌ها چه گونه درخواص شیمی فیزیکی اثر می‌گذارد و سمیت حاصل از آن‌ها در چه محدوده‌ای است؟

– آیا میکرو و نانو پلاستیک‌ها وارده به چرخه حیات، درهضم داخل بدن دخالت دارند؟

– آیا پروتئین‌ها به سطوح ذرات می‌چسبند و کرونا پروتئین ایجاد می‌کنند؟

– این پدیده در پلاستیک‌های مختلف چگونه و چه فرقی باهم دارند و چه نوع سلول‌هایی بیشتر در معرض ابتلا به سمیت هستند؟

– با چه روش‌هایی میتوان مکان و مقدار میکرو و نانو پلاستیک‌ها را در ماتریس‌های پیچیده مانند زیست بافت‌ها مشخص کرد؟

بدیهی است پاسخ به این سوالات، به پژوهش‌های وسیع و جامع در آینده نزدیک نیاز دارد.

مرجع

1. T.S., Galloway, Micro and Nano-plastics and Human Health, Chapter 13, University of Exeter, UK, **2015**.