

فریما فرزندی

تجزیه و تحلیل چرخه عمر پلاستیک و بررسی میزان پلاستیک مصرفی در

ایران

استاد راهنما: جناب سهیل راستان

دپارتمان زیست شناسی

فهرست مطالب

۳	خلاصه
	مقدمه
۴	روش تحقیق
۴	۱- فواید مصرف پلاستیک
۵	۲- پلیمرها
۷	۳- انواع پلاستیک‌ها
۷	۳-۱ ترموست‌ها
۷	۳-۲ ترموپلاستیک‌ها
۷	۴- بیشترین تولید پلاستیک به کدام صنایع اختصاص دارد؟
۸	۵- تجزیه و تحلیل چرخه عمر
۹	۶- انرژی تجسم یافته در مسیر تولید پلاستیک
۱۰	۷- گازهای گلخانه‌ای و تولید پلاستیک
۱۱	۸- افزودنی‌های شیمیایی در مسیر تولید پلاستیک
۱۱	۸-۱ فتالات‌ها و بیسفنول آ
۱۲	۸-۲ تاثیر بر سلامتی
۱۳	۹- آلودگی زباله‌های پلاستیکی و تاثیر آن بر محیط زیست و موجودات
۱۴	۱۰- مدیریت زباله‌های پلاستیکی
۱۵	۱۰-۱ رویکرد 3Rs
۱۵	۱۰-۲ روش‌های مدیریت زباله‌های پلاستیکی
۱۸	۱۱- سیستم‌های بازیافت زباله
۲۰	۱۲- مصرف پلاستیک و توسعه پایدار
۲۱	۱۳- ایران
۲۱	۱۳-۱ جمعیت
۲۱	۱۳-۲ گسترش شهرنشینی
۲۲	۱۳-۳ میزان استفاده از سوخت‌های فسیلی و انرژی تجدید پذیر
۲۲	۱۳-۴ زباله‌های پلاستیکی
۲۲	۱۳-۵ مخارج دولتی
۲۴	۱۳-۶ مصرف بطری پلاستیکی در ایران
۲۵	۱۳-۷ مصرف کیسه‌های پلاستیکی در ایران
۲۵	۱۳-۸ بازیافت در ایران
۲۶	۱۴- راهکارهای کاهش مصرف پلاستیک
۲۷	نتیجه گیری
۲۸	توضیحات واژگان
۳۱	اصطلاحات
۳۲	منابع

خلاصه

پلاستیک‌ها در چند دهه گذشته به یکی از ضروری‌ترین کالاهای مورد نیاز زندگی ما تبدیل شده‌اند. آن‌ها توانستند با کارایی بالایی که دارند جایگزین موادی چون شیشه، چوب و سیمان شوند. مواد اصلی ساخت پلاستیک‌ها به طور عمده از نفت و گاز به دست می‌آیند. بنابراین برای تولید آن‌ها، انرژی فسیلی مصرف می‌شود. از طرفی به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی در مسیر تولید، آلودگی نیز ایجاد خواهند کرد. اما مهم‌تر از همه این‌ها امروزه، مدیریت زباله‌های پلاستیکی به دغدغه اصلی دولت‌ها و همچنین فعالان محیط زیست تبدیل شده‌است. زیرا از یک طرف محیط‌هایی که این قبیل زباله‌ها در آن‌ها دفن یا انباشه می‌شوند در حال پر شدن هستند؛ از طرف دیگر این زباله‌ها به سرعت تجزیه نمی‌شوند؛ بنابراین شیرابه آن‌ها به داخل خاک نفوذ کرده و وارد آب‌های زیر زمینی می‌شود. این شیرابه به علت دارا بودن ترکیبات شیمیایی خطرناک، برای محیط زیست زیان‌آور است. زباله‌های پلاستیکی به وسیله باد می‌توانند به اطراف حمل شده و وارد اقیانوس‌ها و محیط‌های طبیعی دیگر شوند و توسط حیوانات بلعیده شوند که این موضوع به حیات وحش آسیب خواهد رساند؛ زیرا بلع زباله‌های پلاستیکی توسط موجودات دریایی باعث تلف شدن آن‌ها می‌شود. همچنین پلاستیک‌ها را وارد زنجیره غذایی انسان کرده و سلامتی او را تهدید می‌کند. البته آسیب پلاستیک به سلامتی انسان‌ها طیف گسترده‌ای دارد. از جمله آن‌ها که مواد شیمیایی افزوده شده در مسیر تولید پلاستیک‌ها معمولاً موادی سمی و سرطان‌زا هستند. بنابراین وقتی مزیت‌ها و معایب استفاده از این محصول را در کنار هم می‌بینیم، به نظر می‌رسد که دولت‌ها باید در مسیر افزایش آگاهی و مدیریت مصرف پلاستیک‌ها در سطح خانواده‌ها تلاش کنند. به این ترتیب تولید زباله‌های پلاستیکی در بخش خانگی به مقدار قابل توجهی کاهش خواهد یافت. در کشور ایران نیز مشکل مدیریت زباله‌های پلاستیکی وجود دارد. ایران یکی از بزرگترین کشورهای تولیدکننده زباله پلاستیکی در جهان است. به طوریکه در سال‌های اخیر با افزایش سطح رفاه زندگی، مخصوصاً در بخش شهری میزان تمایل مردم به استفاده از پلاستیک‌ها به طور چشمگیری گسترش یافته‌است. برای مثال استفاده از کیسه‌های پلاستیکی و بطری‌های آب دو نمونه از کالاهای پلاستیکی هستند که تقاضا برای مصرف آن در کشور افزایش یافته است و نگرانی در خصوص تولید و انباشت زباله‌های حاصل از آن‌ها را بیشتر کرده‌است. بنابراین لازم است که محصولات پلاستیکی را به صورت مدیریت شده و آگاهانه مصرف کنیم و بیشتر از محصولات جایگزین آن استفاده کنیم. برای مثال استفاده از کیسه‌های پارچه‌ای در هنگام خرید، استفاده از بطری‌های آب شیشه‌ای و یا چندبار مصرف و عدم استفاده از ظروف یکبار مصرف از جمله راهکارهای ساده برای این مدیریت مصرف هستند.

مقدمه

فعالیت‌های انسان در چند قرن گذشته باعث ایجاد مسائل زیست محیطی گوناگونی شده است.^۱ بیش از ده‌ها عامل محیطی بر زندگی انسان تاثیر گذاشته است.^۱ مانند: تغییرات آب و هوا، ذوب یخچال‌ها، تخریب لایه‌ی اوزن، جنگل زدایی و از بین رفتن تنوع زیستی، تخریب خاک و آلودگی آب‌ها.^۱ زندگی ما به کیفیت و شرایط محیط بستگی دارد و ما در قبال نسل آینده نیز مسئولیت داریم تا با این چالش‌ها مقابله کنیم.^۱ تولید و مصرف پلاستیک نیز در چند دهه‌ی گذشته یکی از مواردی است که موجب تغییرات زیست محیطی بسیاری شده است.

در بررسی استفاده از پلاستیک در حیات بشری باید به این نکته نیز توجه نمود که از پلاستیک‌ها می‌توان برای کاربردهای علمی استفاده نمود.^۲ با وجود تمام خدماتی که پلاستیک به بشریت اعطا کرده‌است؛ نگرانی در خصوص استفاده و دفع آن وجود دارد. تقریباً ۸۳۰۰ میلیون تن پلاستیک در سطح جهان تولید شده است.^۲ این میزان پلاستیک به ۶ درصد از تولید نفت خام جهانی

نیاز دارد^۳. تا سال ۲۰۱۵ حدود ۶۳۰۰ میلیون تن زباله‌ی پلاستیکی تولید شده است که حدود ۹ درصد آن بازیافت شده، ۱۲ درصد سوزانده شده و ۷۹ درصد در محل‌های دفن زباله یا محیط‌های طبیعی انباشته شده است^۲. اگر روند فعلی تولید و مدیریت پلاستیک ادامه پیدا کند؛ تا سال ۲۰۵۰ تقریباً ۱۲۰۰۰ تن زباله پلاستیکی در محل دفن یا محیط‌های طبیعی قرار خواهند گرفت^۲. از آنجایی که بیش از ۹۹ درصد پلاستیک‌ها از سوخت‌های فسیلی به دست می‌آیند، گسترش سریع آن‌ها فشار بیشتری را بر منابع غیر قابل تجدید محدود زمین وارد می‌کند^۱.

در سال ۱۹۵۰ جهان تنها ۲ میلیون تن زباله در سال تولید می‌کرد^{۱۰}. از آن زمان تا کنون تولید سالانه نزدیک به ۲۳۰ برابر افزایش یافته و به ۴۶۰ میلیون تن در سال ۲۰۱۹ رسیده است^{۱۰}. همچنین به طور تجمعی تا سال ۲۰۱۹، در جهان ۹ ونیم میلیارد تن پلاستیک تولید شده است^{۱۰}. این میزان بیش از یک تن پلاستیک برای هر فرد زنده امروزی است^{۱۰}.

اکثریت قریب به اتفاق مونومرهایی که برای ساخت پلاستیک استفاده می‌شوند؛ مانند اتیلن و پروپیلن، از هیدروکربن‌های فسیلی به دست می‌آیند^{۱۱}. تعداد ناچیزی از پلاستیک‌های مورد استفاده کنونی تجزیه پذیر هستند^{۱۱}. در نتیجه به جای تجزیه، در محل‌های دفن زباله تجمع می‌ابند^۲. یکی از راه‌های حذف دائمی زباله‌های پلاستیکی، تجزیه آن‌ها بر اثر حرارت می‌باشد^{۱۱}. بنابراین، آلودگی دائمی محیط طبیعی با زباله‌های پلاستیکی یک نگرانی رو به رشد است^{۱۱}. حدود ۴ تا ۱۲ میلیون تن زباله پلاستیکی تولید شده در خشکی در سال ۲۰۱۰ وارد محیط زیست دریایی شده است^{۱۱}. آلودگی سیستم‌های آب شیرین و زیستگاه‌های زمینی نیز به طور فزاینده گزارش می‌شود^{۱۱}.

"پلاستیک" اکنون به عنوان یک اصطلاح جهانی شناخته می‌شود؛ در این مقاله بعد از بررسی فواید و مضرات مصرف پلاستیک‌ها، زیر واحد سازنده پلاستیک‌ها به نام "پلیمر" را معرفی می‌نماییم. پلاستیک‌ها شامل تنوع گسترده پلیمرهایی هستند که هر کدام دارای ترکیب شیمیایی منحصر به فرد است^۴. این همان چیزی است که به پلاستیک‌ها امکان استفاده عملی در هر فعالیت انسانی را داده است^۴. سپس به انواع مختلف پلاستیک‌های موجود خواهیم پرداخت و می‌بینیم که با طیف وسیعی از انواع مختلف آن رو به رو هستیم که هر کدام ویژگی‌های خاص خود را دارند. بررسی مفهوم تجزیه و تحلیل چرخه عمر به ما کمک خواهد کرد تا با اثرات چرخه عمر پلاستیک از منابع مورد نیاز برای تولید آن - نفت و گاز - گرفته تا استفاده از آن به دست مصرف‌کننده بیشتر آشنا شویم و مطالعه نماییم که در این چرخه چه مقدار انرژی مصرف خواهد شد. همچنین بررسی خواهیم کرد که در مسیر چرخه‌ی تولید پلاستیک چه افزودنی‌های شیمیایی به آن اضافه شده و این مواد در طول زمان چه تاثیراتی بر سلامت انسان و محیط زیست خواهد گذاشت. با تحلیل این موارد بیش از پیش به این نکته پی خواهیم برد که بزرگترین نیاز کشورهای جهان و از جمله ایران، دسترسی به راهکارهایی برای مدیریت مصرف و در نهایت مدیریت زباله‌های پلاستیکی می‌باشد. بخش انتهایی این مقاله به طور خاص به مصرف پلاستیک در کشور ایران اختصاص دارد. با تحلیل مواردی از جمله، جمعیت، گسترش شهرنشینی، میزان استفاده از سوخت‌های فسیلی، میزان تولید زباله‌های پلاستیکی و مخارج دولتی، دلایل افزایش مصرف و در نتیجه‌ی آن افزایش تولید زباله‌های پلاستیکی را بررسی خواهیم کرد و در نهایت به ارائه راهکارهایی برای کاهش مصرف پلاستیک می‌پردازیم.

روش تحقیق

در این مقاله از روش تحقیق کتابخانه ای استفاده شده است. روش تحقیق کتابخانه ای از روش های پرکاربرد است که برای جستجو و یافتن منابع اطلاعاتی مورد نیاز برای پژوهش ها استفاده می شود. در این روش، اطلاعات را از منابع موجود مانند کتاب ها، مقالات، پایان نامه ها، گزارش ها و منابع آنلاین جمع آوری می کنیم و با مطالعه و تحلیل اطلاعات مربوطه به نتایج قابل اعتماد دست می یابیم. یکی از مهم ترین گام ها در این روش، تعریف سوال تحقیق است سپس باید به دنبال جستجو منابع اطلاعاتی مناسب برای پاسخ به سوالات خود باشیم.

در تحقیق پیش رو سوال تحقیق همان طور از عنوان مقاله واضح است، دو مورد می باشد، نخست چرخه عمر پلاستیک چگونه است و دوم میزان پلاستیک مصرفی در کشور ایران چه مقدار می باشد؟ بعد از مشخص کردن سوال تحقیق، به سراغ انتخاب منابع اطلاعاتی مناسب رفته و پس از جمع آوری اطلاعات، آن ها را با دقت مطالعه و ارزیابی نموده تا بتوانیم از اطلاعات درست و قابل اعتماد استفاده کنیم. در نهایت با مقایسه و تحلیل داده ها نتایج را تفسیر کرده و پیشنهاداتی نیز ارائه شده است و به این ترتیب گزارش نهایی تحقیق نوشته شد.

۱- فواید مصرف پلاستیک ها

همواره در بحث مصرف پلاستیک ها باید به معایب این محصول کاربردی نیز توجه نمود. اما واقعیت امر آن است که پلاستیک ها تاثیر شگرفی در زندگی انسان و پیشرفت تکنولوژی و بهداشت داشته اند. در اینجا به مواردی از این مزیت ها خواهیم پرداخت: چگالی کم پلاستیک ها به کاهش هزینه حمل و نقل آن ها کمک میکند^{۱۳}. از پلاستیک برای بسته بندی بهداشتی و ایمن برای محصولات غذایی استفاده می شود. محصولات پلاستیکی در برابر آب، مواد شیمیایی و ضربه مقاوم هستند و به طور کلی محصولات بادوامی می باشند^{۱۳}. آن ها نسبت به گرما و برق غیر رسانا هستند^{۱۳}. همچنین در مقایسه با تولیدات مشابه، پلاستیک ها هزینه تولید نسبتا پایینی دارند^{۱۳}.

تولید پلاستیک در مقیاس بزرگ در دهه ۱۹۵۰ آغاز شد^{۱۴}. مواد پلاستیکی، قوی، سبک و قابل قالب گیری برای تولید انواع مختلفی از محصولات هستند؛ مانند: بسته بندی محافظ برای مواد غذایی، بسته بندی محصولات برای کالاهای مصرفی و صنعتی، اسباب بازی ها، تلفن های همراه، قطعات سبک وزن و ایمنی در صنایع خودروسازی و هوافضا، تجهیزات محافظ شخصی و تجهیزات پزشکی، مواد عایق در ساختمان ها، مواد برای مبلمان خانگی و اداری، حمل و نقل و خط لوله^{۱۴}. شناخته شده ترین پلاستیک ها عبارتند از: پلی وینیل کلراید، پلی استایرن، پلی اتیلن ترفتالات، پلی اتیلن، پلی اتیلن با چگالی پایین، پلی اتیلن با چگالی بالا، پلی پروپیلن و پلی تترا فلورو اتیلن^{۱۴}. پلاستیک ها به دلیل سبکی و دوام بالا جایگزین استفاده از فلزات، چوب و سیمان شده اند و استانداردهای زندگی را متحول کرده اند^{۱۵}.

۲- پلیمر ها

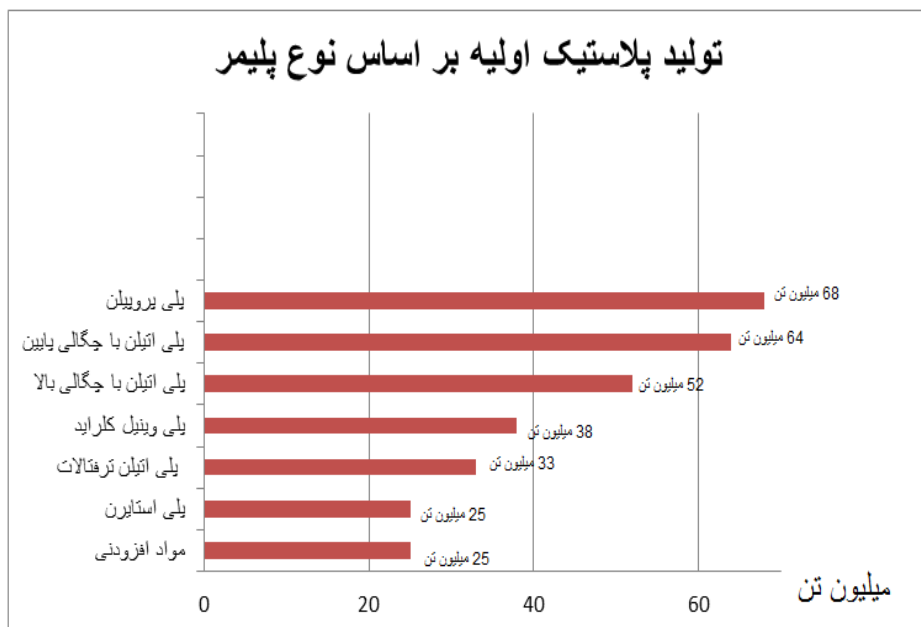
پلیمر ها دسته ای بزرگی از مواد، شامل مولکول های کوچکتری به نام مونومر هستند که به هم متصل شده و زنجیره ای بلندی را تشکیل داده اند^{۱۶}. پلیمر ها در کالاهایی که روزمره از آن ها استفاده می کنیم وجود دارند^{۱۶}.

پلیمرها می‌توانند به صورت ارگانیک به شکل پلیمرهای طبیعی یا زیستی مانند پشم، پنبه یا چوب وجود داشته باشند؛ یا می‌توانند به مواد نیمه آلی یا کاملاً مصنوعی سنتز شوند^{۱۷}. پلیمرهای مصنوعی به سه دسته خاص تقسیم می‌شوند:

- الاستومرها: مواد الاستیک با انعطاف پذیری بالا و پیوندهای مولکولی کم استحکام (مانند لاستیک) هستند^{۱۷}.
- الیاف پلیمری: از زنجیره‌های پلیمری تشکیل شده‌اند که پیوندهای مولکولی قوی‌تری نسبت به الاستومرها دارند. الیاف نسبت به الاستومرها سفت‌تر و کشش کمتری دارند و می‌توانند از مواد طبیعی و مصنوعی تشکیل شوند^{۱۷}.
- ترموپلاست‌ها: از زنجیره‌های پلیمری تشکیل شده‌اند که پیوندهای مولکولی قوی‌تری نسبت به الاستومرها دارند^{۱۷}. الیاف نسبت به الاستومرها سفت‌تر و کشش کمتری دارند و می‌توانند از مواد طبیعی و مصنوعی تشکیل شوند^{۱۷}.

پلاستیک‌ها پلیمرهای مصنوعی یا نیمه آلی هستند که از نفت ساخته می‌شوند^{۱۷}. اگرچه پلیمرها می‌توانند به طور طبیعی وجود داشته باشند، اما پلاستیک‌ها کاملاً ساخته دست بشر هستند^{۱۷}.

تولید پلاستیک اولیه بر اساس نوع پلیمر در نمودار زیر آورده شده است.



نمودار ۱

Figure after Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L, "Production, use, and fate of all plastics ever made" *Science Advances*, 3(7), e1700782.(2017). Available at: (OurWorldInData.org/plastic-pollution)

همچنین در جدول ۱ نشان داده شده که کدام پلیمر قابلیت بازیافت بیشتری دارد. به طوریکه پلی اتیلن با چگالی بالا و پلی اتیلن ترفتالات به طور گسترده بازیافت می‌شوند، پلی پروپیلن و پلی وینیل کلراید به بافت محلی بستگی دارد و گاهی بازیافت می‌شود و پلی اتیلن با چگالی پایین و پلی استایرن معمولاً بازیافت نمی‌شوند.

نوع پلیمر	مقدار باز یافت
پلی اتیلن با چگالی پایین	۵۷ میلیون تن
پلی پروپیلن	۵۵ میلیون تن
پلی اتیلن با چگالی بالا	۴۰ میلیون تن
پلی اتیلن ترفتالات	۳۲ میلیون تن
پلی استایرن	۱۷ میلیون تن
پلی وینیل کلراید	۱۵ میلیون تن
انواع دیگر پلیمر	۱۱ میلیون تن

جدول ۱

Figure after Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L, "Production, use, and fate of all plastics ever made" *Science Advances*, 3(7), e1700782.(2017). Available at: (OurWorldInData.org/plastic-pollution)

۳- انواع پلاستیک

۳-۱- ترموستها

ترموستها فقط یک بار قابل قالب گیری هستند^{۱۸}. این پلاستیکها دارای مقاومت حرارتی بالا، سفتی، پایداری شیمیایی، مقاومت در برابر شعله و مقاومت مکانیکی بالا هستند^{۱۸}. پلاستیکهای ترموست با حرارت سخت شده و به یک طرح دائمی تبدیل می شوند^{۱۸}. هنگامی که آنها شکل گرفتند، زمانی که دوباره در معرض گرما قرار می گیرند به شکل ثابتی باقی می ماندند^{۱۸}. ترموستها در معرض دمای شدید به جای ذوب شدن، می سوزند^{۱۸}. مقاومت بالای آنها در برابر گرما و خوردگی باعث می شود که از آنها در محصولاتی استفاده شود که در مقابل گرما تغییر شکل ندهند^{۱۸}. این کاربردها عبارتند از: قطعات الکترونیکی و عایقها سپرهای حرارتی، قطعات موتور و روکش، لوازم خانگی، اجزای روشنایی و تجهیزات انرژی^{۱۸}.

۳-۲- ترموپلاستیکها

ترموپلاستیکها می توانند بیش از یک بار با اعمال گرما قالب گیری شوند^{۱۸}. ترموپلاستیکها ممکن است دوباره گرم شوند بدون آن که تغییری در ساختار مولکولی آنها ایجاد شود^{۱۸}. ترموپلاستیکها زمانی که در معرض گرمای شدید قرار می گیرند ذوب می شوند^{۱۸}. این ویژگی آنها را برای فرآوردهای شکل گیری و قالب گیری ایده آل می کند^{۱۸}. آنها معمولاً برای محصولات پلاستیکی که در معرض گرمای شدید نیستند؛ مانند اسباب بازیهای پلاستیکی، مسواک، ظروف ذخیره سازی پلاستیکی، بطریهای نوشیدنی و سایر محصولات مصرفی استفاده می شوند^{۱۸}. پلی وینیل کلراید، پلی استایرن، پلی اتیلن ترفتالات، پلی اتیلن، پلی اتیلن با چگالی پایین، پلی اتیلن با چگالی بالا، پلی پروپیلن و پلی تترا فلوئورو اتیلن از انواع ترموپلاستیکها هستند^{۱۸}.

۴- بیشترین تولید پلاستیک به کدام صنایع اختصاص دارد؟

بسته بندی محصولات بیشترین مورد استفاده از پلاستیک می باشد؛ به طوری که ۴۲ درصد از پلاستیک تولید شده در این مسیر مورد استفاده قرار می گیرد^{۱۹}. در نتیجه سهم پلاستیک در زباله های جامد شهری- بر حسب جرم- از کمتر از ۱ درصد در سال ۱۹۶۰ به بیش از ۱۰ درصد در سال ۲۰۰۵ در کشورهای با درآمد متوسط رو به بالا افزایش یافت^{۱۹}. ساخت و ساز دومین بخش را به خود اختصاص داده و ۱۹ درصد از تولید کل به مصرف این صنعت می رسد^{۱۹}. اما توجه به این نکته مهم است که تولید پلاستیک اولیه، مستقیماً نشان دهنده تولید زباله پلاستیکی نیست^{۱۹}. زیرا تولید زباله تحت تاثیر نوع پلیمر و طول عمر محصول نهایی است^{۱۹}. برای مثال طول عمر بسته بندی محصولات کوتاه است؛ معمولاً حدود ۶ ماه یا کمتر می باشد^{۱۹}. نقطه ی مقابل، ساخت و ساز است؛ که در آن پلاستیکهای مورد استفاده به طور متوسط ۳۵ سال عمر دارند^{۱۹}. بنابراین بسته بندی مواد، حجم غالب زباله های پلاستیکی را شامل می شود، در واقع نیمی از کل زباله های جهانی را تشکیل می دهد^{۱۹}. در سال ۲۰۱۵، تولید پلاستیک اولیه ۴۰۷ میلیون تن بود^{۱۹}. حدود سه چهارم آن یعنی ۳۰۲ میلیون تن به زباله تبدیل شد^{۱۹}.

۵- تجزیه و تحلیل چرخه عمر

نگرانی‌های زیست محیطی باعث می‌شود مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان توجه بیشتری به خرید خود داشته باشند و این باعث تولید و ترویج محصولات پایدارتر از نظر محیط زیستی می‌شود.^۱ ارزیابی چرخه ی عمر، روشی برای ارزیابی اثرات زیست محیطی است و این روش را می‌توان برای هر محصول و سیستمی برای توضیح نوع و تفاوت بین نتایج مختلف اعمال کرد.^۱ تجزیه و تحلیل چرخه‌ی عمر، یک بررسی جامع از کل چرخه عمر یک محصول است که با استخراج مواد خام شروع می‌شود و با دفع نهایی محصول پایان می‌پذیرد.^۱

تجزیه و تحلیل چرخه‌ی عمر، روشی برای تعیین کمیت اثرات زیست محیطی یک محصول می‌باشد.^۲ در ارزیابی چرخه‌ی عمر، محققان فهرستی از منابع مورد استفاده و همچنین آلاینده‌های تولید شده در مسیر تولید و استفاده محصول را تهیه می‌کنند.^۲ بر این اساس، اثرات نهایی محصول بر سلامت انسان، عملکرد اکوسیستم و کاهش منابع طبیعی را تخمین می‌زنند.^۲ در حقیقت ارزیابی چرخه‌ی عمر یک روش جامع برای ارزیابی تمام اثرات زیست محیطی مستقیم و غیرمستقیم در طول چرخه عمر کامل یک محصول، از تولید مواد اولیه گرفته تا مسیر تولید، استفاده و دفع نهایی محصول می‌باشد.^۳ بنابراین ممکن است راه‌های جایگزین متفاوتی برای ایجاد یک محصول یا ارائه خدمات، مقایسه شود تا مشخص شود کدام یک اثرات زیست محیطی کمتری دارد.^۳

فرایند ارزیابی چرخه‌ی عمر یک رویکرد نظام‌مند است و از ۴ مرحله تشکیل شده است.^۴

مرحله اول - تعریف محدوده و هدف

محصول را به طور کامل توصیف کرده و محدوده ای را که قرار است در آن ارزیابی صورت گیرد، برای مثال مرزها و اثرات زیست محیطی که باید مورد بررسی قرار گیرند؛ مشخص شود.^۴

مرحله دوم- تجزیه و تحلیل فهرست موجودی

شناسایی و تعیین کمیت انرژی، مصرف آب و موادی که در محیط منتشر می‌شوند.^۴ برای مثال: آلاینده‌هایی که در هوا منتشر می‌شود، دفع زباله‌های تولیدی و فاضلاب.^۴

مرحله سوم- ارزیابی اثرات

اثرات بالقوه انسانی و زیست محیطی مصرف انرژی، آب و مواد و انتشارات محیطی شناسایی شده در فهرست موجودی ارزیابی می‌شود.^۴

مرحله چهارم- تفسیر

در نهایت نتایج تجزیه و تحلیل موجودی برای محصول یا یک فرایند خاص با درک روشنی از عدم قطعیت ارزیابی خواهد شد.^۴



شکل ۱

Figure after Mark L. Brusseau, Environmental and pollution science: (2019), 585-603;

تجزیه و تحلیل چرخه عمر به بخش صنعتی در بازسازی فناوری یا فرایندهای خود به منظور کاهش اثرات زیست محیطی کمک می‌کند.^۱ ارزیابی چرخه‌ی عمر معتقد است که تمام مراحل چرخه‌ی عمر یک محصول یا فعالیت، مسئول اثرات زیست محیطی آن است.^۱

چرخه‌ی عمر شامل چرخه حیات بالادست و پایین دست است.^۱ برای مثال در پلاستیک پلی اتیلن ترفتالات که بطری‌های آب نمونه‌ی رایج استفاده از آن است؛ چرخه‌ی حیات پایین دست شامل تولید پلی اتیلن ترفتالات از مواد خام تا توزیع و مصرف بطری‌های پلی اتیلن ترفتالات را برای کاربردهای مختلف در نظر می‌گیرند.^۱ چرخه زندگی بالادست به چرخه زندگی بطری‌های پلی اتیلن ترفتالات بعد از مصرف گفته می‌شود؛ که شامل جمع‌آوری زباله، بازیافت و تصفیه زباله‌های غیر قابل بازیافت است.^۱ اثرات زیست محیطی یک محصول را می‌توان به روش‌های مختلفی کاهش داد، از جمله با کاهش مواد استفاده شده و یا با انتخاب موادی با کمترین تاثیر زیست محیطی.^۱

۶- انرژی تجسم یافته در مسیر تولید پلاستیک

انرژی تجسم یافته مقدار انرژی مصرف شده برای استخراج، پالایش، پردازش، انتقال و ساخت یک ماده یا محصول است.^{۲۲} به جز پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر، پلاستیک‌ها از مواد اولیه‌ی حاصل از پالایش نفت خام و فرآوری گاز طبیعی ساخته می‌شوند.^{۲۲} حدود ۴ درصد از نفت خام و گاز جهان که منبع انرژی تجدیدناپذیر است، به عنوان خوراک پلاستیک‌ها استفاده می‌شود.^{۴۸} ۳ تا ۴ درصد دیگر برای تامین انرژی برای تولید آنها صرف می‌شود.^{۴۸} به این معنی که برای تولید ۱ کیلوگرم پلاستیک حدود ۲٫۵ لیتر نفت خام لازم است.^{۲۲} تولید پلاستیک به حدود ۸۶ مگاژول در کیلوگرم انرژی نیاز دارد.^{۲۲} از آنجایی که مسیرهای تولید مختلف،

مقادیر متفاوتی انرژی مصرف می‌کنند، انرژی مورد استفاده در تولید یک ماده شیمیایی به ماده اولیه آن بستگی دارد^{۲۲}. مواد شیمیایی حاصل از تقطیر و شکستن نفت یا منابع معدنی را مواد خام می‌گویند^{۲۲}. کل انرژی مصرف شده در تولید، مجموع انرژی ورودی برای خود محصول و تمام حواشی آن است که از مواد خام آغاز می‌شود^{۲۲}. انرژی در تولید مواد، مصرف شده و کربن دی اکسید آزاد می‌کند^{۲۲}. همچنین در شکل دادن به محصول برای تولید ماده نهایی نیز انرژی مصرف می‌شود. فرایندهای شکل‌دهی اولیه شامل: ریخته‌گری، اکستروژن و قالب‌گیری است و مراحل شکل‌دهی ثانویه عبارتند از: جوشکاری، پخت حرارتی، رنگ‌آمیزی، بسته‌بندی^{۲۲}.

برای مثال برای تولید و توزیع بطری‌های پلی اتیلن ترفتالات انرژی مصرف می‌شود^{۲۳}. در حالی که این نوع پلاستیک قابل بازیافت است؛ کمتر از نیمی از بطری‌های فروخته شده برای بازیافت جمع می‌شوند و تنها ۷ درصد از آن‌ها بازیافت می‌شوند^{۲۳}. به دلیل هزینه کم تولید، حمل و نقل آسان، وزن کم و مقاومت بالا و همچنین عدم ایجاد طعم و مشکلات زیبایی شناختی، پلی اتیلن ترفتالات به طور گسترده‌ای برای بسته‌بندی طیف گسترده‌ای از محصولات خوراکی از جمله آب استفاده می‌شود^{۲۳}. بر اساس شواهد تجربی مقدار کل انرژی مورد نیاز برای تولید ۱ لیتر آب در بطری‌های پلی اتیلن ترفتالات در حدود ۵,۶ تا ۱۰,۲ مگاژول است^{۲۴}. در حالی که میزان انرژی لازم برای ۱ لیتر آب لوله کشی ۰,۰۰۵ مگاژول می‌باشد^{۲۵}. پیش‌بینی می‌شود که تولید هر بطری ۳ برابر آب مورد نیاز برای پر کردن آن، آب مصرف می‌کند^{۲۵}.

۷- گازهای گلخانه‌ای و تولید پلاستیک

ارزیابی چرخه عمر ابزار مناسبی است که برای اندازه‌گیری رد پای کربن استفاده می‌شود^{۲۶}. افزایش سطح کربن دی اکسید ناشی از استفاده سوخت‌های فسیلی در اواسط قرن بیستم به بعد باعث تغییرات آب و هوایی می‌شود^{۲۶}. رد پای کربن محصولات پلاستیکی با اندازه‌گیری انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل فرایند تولید تعیین می‌شود^{۲۶}. در جو زمین، گازهای گلخانه‌ای مهم عبارتند از: کربن دی اکسید، متان، بخار آب، ازن، اکسید نیتروژن و کلروفلئوروکربن. انتشار این گازهای گلخانه‌ای بر محیط زیست تأثیر می‌گذارد که به عنوان گرمایش جهانی تعریف می‌شود^{۲۶}. در بین تمام گازهای گلخانه‌ای، کربن دی اکسید به عنوان مرجع برای سایر گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌شود^{۲۶}. در طول سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰، علیرغم سیاست‌های معتبر جهانی برای کاهش تغییرات آب و هوایی، انتشار گازهای گلخانه‌ای به سطوح شدیدی رسید^{۲۷}. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای منجر به تغییرات آب و هوایی مانند افزایش دما، افزایش سطح دریا و تغییر در الگوهای بارش در کشورهای خاورمیانه‌ای خواهد شد^{۲۶}.

جدول ۲- مقایسه عملکرد زیست محیطی سه پلی مر پلی وینیل کلراید، پلی پروپیلن و پلی اتیلن

پلی وینیل کلراید	پلی پروپیلن	پلی اتیلن
انرژی	مصرف ۱۹۱ Kwh ^{۲۹}	مصرف ۲۱۱ Kwh ^{۳۰}
رد پای کربن	انتشار ۶۷ کیلوگرم کربن دی اکسید ^{۲۸}	انتشار حدود ۵۸/۶ کیلوگرم کربن دی اکسید ^{۳۰}
تأثیر چرخه زندگی	پلی وینیل کلراید بازیافتی تأثیر آب و هوا را از ۵۲/۲۱ درصد به ۱۵/۵۳ درصد کاهش داده است ^{۲۷}	انتشار کربن کمتر ^{۲۷}

۸- افزودنی‌های شیمیایی در مسیر تولید پلاستیک

پلیمرهای پلاستیکی بکر به ندرت به تنهایی استفاده می‌شوند؛ معمولاً رزین‌های پلیمری برای بهبود عملکرد با آن‌ها مخلوط می‌شوند.^{۳۲} این افزودنی‌ها شامل پُرکننده‌های معدنی مانند کربن و سیلیس است که مواد را تقویت می‌کنند.^{۳۲} نرم‌کننده‌ها نیز برای انعطاف‌پذیر کردن مواد، تثبیت‌کننده‌های حرارتی و فرابنفش، بازدارنده‌های شعله و رنگ‌ها نیز از سایر مواد افزودنی هستند.^{۳۲} از این افزودنی‌ها در مقادیر قابل توجهی و در طیف وسیعی از محصولات استفاده می‌شوند.^{۳۲}

برخی از مواد شیمیایی افزودنی به طور بالقوه سمی هستند به عنوان مثال سرب و قلع در پلی وینیل کلراید سمی هستند.^{۳۲} اما اختلاف نظر قابل توجهی در مورد میزان اثرات نامطلوب افزودنی‌های آزاد شده از محصولات پلاستیکی مانند فتالات‌ها و بیسفنول-آ، در حیوانات یا جمعیت‌های انسانی وجود دارد.^{۳۲}

۸-۱ فتالات‌ها و بیسفنول آ

فتالات‌ها و بیسفنول آ مواد شیمیایی ساخته بشر هستند که بیش از صد سال است که مورد استفاده قرار گرفته‌اند.^{۳۳} هر ساله بیش از یک میلیون تن از آن‌ها در سراسر جهان تولید می‌شود.^{۳۳} کاربرد اصلی فتالات‌ها و بیسفنول آ تولید پلاستیک است.^{۳۳}

کاربردهای صنعتی فتالات‌ها به طول زنجیره‌ای استری آن‌ها مربوط می‌شود.^{۳۳} فتالات‌ها با طول زنجیره آلکیل از ۳ تا ۱۰ کربن به طور گسترده به عنوان نرم‌کننده‌های همه منظوره در پلیمرها، عمدتاً در رزین‌های پلی وینیل کلراید استفاده می‌شوند.^{۳۳} در پلی وینیل کلراید نرم، محتوای فتالات‌های پلاستیکی می‌تواند تا ۴۰ درصد باشد.^{۳۳} محصولات معمولی حاوی فتالات عبارتند از کفپوش‌ها، سقف‌ها، پوشش‌های دیوار و کابل‌ها، لباس‌ها، مواد بسته بندی و اسباب بازی.^{۳۳}

دی-۲-اتیل هگزیل فتالات نرم‌کننده اصلی برای دستگاه‌های پزشکی حاوی PVC، مانند کیسه‌های خون یا لوله‌های تزریقی و کانترها است.^{۳۳} از آنجایی که فتالات از نظر شیمیایی به پلیمر متصل نیستند، می‌توانند به محیط اطراف شسته و یا خارج شوند.^{۳۳} بنابراین فتالات‌ها می‌توانند مستقیماً وارد چرخه‌های محیطی یا بدن انسان شوند.^{۳۳} فتالات همچنین به عنوان حلال‌ها و روان‌کننده‌های صنعتی، افزودنی‌ها در صنعت نساجی، در فرمولاسیون آفت‌کش‌ها و به عنوان اجزای سازنده در محصولات مراقبت شخصی استفاده می‌شوند.^{۳۳} دی بوتیل فتالات همچنین در زمینه داروسازی به عنوان ترکیبی از پوشش روده برخی از داروها استفاده می‌شوند.^{۳۳}

بیسفنول آ عمدتاً در ساخت پلاستیک پلی کربنات و رزین‌های اپوکسی استفاده می‌شود.^{۳۳} اگرچه استفاده‌های دیگر مانند تولید و پردازش پلی وینیل کلراید نیز امکان‌پذیر است.^{۳۳} محصولات مشتق شده از بیسفنول آ را می‌توان در تجهیزات ایمنی مقاوم در برابر ضربه، بطری‌های کودک، به عنوان پوشش محافظ داخل ظروف فلزی مواد غذایی و به عنوان کامپوزیت و درزگیر در دندانپزشکی استفاده کرد.^{۳۳}

قرار گرفتن در معرض بیسفنول آ عمدتاً ناشی از خوردن غذای آلوده است.^{۳۳} برخلاف فتالات‌ها، بیسفنول آ یک ترکیب واحد را نشان می‌دهد.^{۳۳} علاوه بر این، پلیمرهای تولید شده توسط بیسفنول آ برای به دست آوردن انعطاف‌پذیری و پایداری مطلوب، نیازی به نرم‌کننده ندارند.^{۳۳} قرار گرفتن انسان در معرض بیسفنول آ می‌تواند از طریق مونومر واکنش نداده در پلیمر و یا از طریق انتقال

مجدد بیسفنول آ از پلیمر نهایی رخ دهد^{۳۳}. بنابراین، اگر چه برخی از فتالات‌ها و بیسفنول آ در مرتبه‌های نسبتاً قابل مقایسه‌ای تولید می‌شوند، سطوح قرار گرفتن در معرض بیسفنول آ احتمالاً کمتر از فتالات‌ها است^{۳۳}.

۲-۸ تاثیر بر سلامتی انسان و حیوانات

سمیت فتالات‌ها و بیسفنول آ در مطالعات حیوانی به اثبات رسیده و به دلیل حضور همه جانبه‌ی آن‌ها در محیط و در انسان مورد توجه خاص قرار گرفته‌اند^{۳۴}. در سال ۱۹۵۲، بیسفنول آ به عنوان استروژن محیطی نامیده شد که نشان داد سیستم تولید مثل را با اتصال به گیرنده‌های استروژن در موش‌های ماده تحریک می‌کند^{۳۴}. همچنین قرار گرفتن در معرض دوزهای بالای بیسفنول آ در دوران بارداری و یا شیردهی اثرات نامطلوبی بر رشد دارد^{۳۴}. از جمله کاهش وزن هنگام تولد، کمبود رشد کودکان در اوایل زندگی و همچنین تاخیر در شروع بلوغ^{۳۴}.

برخلاف بیسفنول آ به نظر نمی‌رسد فتالات‌ها از طریق تقلید سیستم هورمونی عمل کنند^{۳۳}. با این حال در جوندگان، برخی فتالات‌ها می‌توانند تولید ریز تستسترون بیضه جنینی را تعدیل کنند همچنین به تولید انسولین و هورمون محرک فولیکول تاثیر بگذارند که در نهایت منجر به اختلال عملکردی سیستم تولید مثل می‌شود^{۳۳}.

داده‌های آزمایشگاهی وجود دارد که نشان می‌دهد فتالات‌ها و بیسفنول آ بر تولید مثل در تمام گروه‌های حیوانی مورد مطالعه تاثیر می‌گذارند؛ رشد را در سخت پوستان و دوزیستان مختل میکنند و باعث ایجاد انحرافات ژنتیکی می‌شوند^{۳۷}. به نظر می‌رسد نرم تنان و دوزیستان به خصوص به این ترکیبات حساس هستند و اثرات زیستی در محدوده‌ی ۱ نانوگرم بر لیتر تا ۱ میکروگرم بر لیتر مشاهده شده‌است^{۳۷}. در مقابل، بیشتر تاثیرات در ماهی‌ها در غلظت‌های بالاتر رخ می‌دهد^{۳۷}. غلظت اثرات این مواد شیمیایی در آزمایشگاه با غلظت‌های محیطی اندازه‌گیری شده منطبق است. بنابراین این احتمال وجود دارد که این مواد شیمیایی بر جمعیت‌های طبیعی تاثیر می‌گذارند^{۳۷}.

غلظت بیسفنول آ در محیط‌های آبی به طور قابل توجهی متفاوت است، اما می‌تواند به ۲۱ میکروگرم در لیتر در سیستم‌های آب شیرین برسد و غلظت در رسوبات به طور کلی چندین مرتبه بزرگتر از غلظت آن‌ها در آب است^{۳۷}. به عنوان مثال در رودخانه Elbe در آلمان، بیسفنول آ با ۰,۷۷ میکروگرم در لیتر در آب در مقایسه با ۳۴۳ میکروگرم در کیلوگرم در رسوب (وزن خشک) اندازه گیری شد^{۳۷}. این یافته‌ها در تضاد کامل با ارزیابی ریسک زیست محیطی اتحادیه اروپا است که غلظت‌های ۰,۱۲ میکروگرم در لیتر برای آب و ۱,۶ میکروگرم در کیلوگرم (وزن خشک) را برای رسوبات پیش‌بینی کرده‌بود^{۳۷}.

با توجه به اثرات نامطلوب پلاستیک بر جمعیت‌های انسانی، گزارش‌های متعددی خطرات بالقوه‌ای را نشان می‌دهد که این زباله‌های پلاستیکی بر سلامت انسان دارند^{۳۸}. رویکرد زیست مانیتورینگ روشی است که از طریق آن وضعیت داخلی بدن را با اندازه‌گیری مواد شیمیایی و متابولیت‌های آن تعیین میکند^{۳۳}. این روش نشان داده‌است که فتالات‌ها و بیسفنول آ و همچنین سایر مواد افزودنی در پلاستیک‌ها و متابولیت‌های آن‌ها در جمعیت‌های انسانی وجود دارند^{۳۸}. به نظر می‌رسد که مواد غذایی و تا حدی برخی داروهای خوراکی برای بعضی از فتالات‌ها مانند دی اتیل هگزیل فتالات از مسیرهای جذب اصلی است^{۳۹}. همچنین قرار گرفتن در معرض این مواد از طریق بلع، استنشاق و تماس پوستی همگی از مسیرهای مهم دیگری هستند که جمعیت‌های عمومی انسانی را تهدید می‌کنند^{۳۸}.

۹-آلودگی زباله‌های پلاستیکی و تاثیر آن بر محیط زیست و موجودات

علاوه بر اتکا به منابع محدود برای تولید پلاستیک، و نگرانی در مورد اثرات افزایشی مواد شیمیایی مختلف، الگوهای فعلی استفاده از پلاستیک، مشکلات مدیریت زباله جهانی را ایجاد می‌کند و نشان می‌دهد که زباله‌های پلاستیکی، از جمله بسته‌بندی، تجهیزات الکتریکی و پلاستیک‌های وسایل نقلیه فرسوده، اجزای اصلی زباله‌های خانگی و صنعتی هستند^{۳۵}. ظرفیت ما برای دفع زباله در محل دفن محدود است و در برخی از مکان‌ها، محل‌های دفن زباله کاملاً پر شده یا به سرعت در حال نزدیک شدن به انتهای ظرفیت هستند^{۳۵}. بنابراین از جنبه‌های مختلف به نظر می‌رسد که استفاده و دفع فعلی ما از پلاستیک باعث نگرانی است^{۳۵}. همچنین گمانه زنی‌هایی وجود دارد که پلاستیک در صورت بلعیده شدن، پتانسیل انتقال به زنجیره‌ی غذایی را دارد^{۵۲}. در محیط دریایی، زباله‌های پلاستیکی مانند گلوله‌ها، قطعات و میکروپلاستیک‌ها حاوی آلاینده‌های آلی از جمله بی‌فیل‌های پلی‌کلرین، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، هیدروکربن‌های نفتی، آفت کش‌های آلی کلردار هستند^{۵۲}. همچنین DDT و متابولیت‌های در غلظت‌های مختلف از ۱۱۰ نانو گرم تا ۱ میکروگرم هستند^{۵۲}. برخی از این ترکیبات در طول ساخت به پلاستیک اضافه می‌شوند در حالی که برخی دیگر از محیط، جذب زباله‌های پلاستیکی می‌شوند^{۵۲}.

یک تحقیق در ژاپن نشان داده است که پلاستیک‌ها می‌توانند آلاینده‌های آلی پایداری را که از منابع دیگر در محیط زیست به وجود آمده‌اند، انباشته و متمرکز کنند^{۵۲}. این آلاینده‌ها بیشتر از آب‌های اطراف می‌توانند روی سطح زباله‌های پلاستیکی متمرکز شوند^{۵۲}. در نتیجه مواد شیمیایی مرتبط با پلاستیک به طور بالقوه برای حیات وحش مضر هستند^{۳۷}. در جوامع صنعتی انسان در معرض طیف وسیعی از مواد شیمیایی ساخته دست بشر است^{۳۳}. قرار گرفتن در معرض این مواد از طریق هوا، گرد و غبار، آب، غذا و استفاده از محصولات مصرفی می‌تواند رخ دهد^{۳۳}. مواد شیمیایی عمدتاً از طریق بلع، استنشاق و یا جذب پوستی به بدن انسان می‌رسند^{۳۳}. علاوه بر موارد مطرح شده؛ گزارشات مستندی از تاثیر پلاستیک بر اکوسیستم و حیات وحش وجود دارد. با این وجود، علیرغم موارد مستند، به طور گسترده پذیرفته شده که میزان کامل تاثیرات بر اکوسیستم‌ها هنوز به طور کامل مشخص نیست^{۴۰}. سه مسیر کلیدی وجود دارد که زباله‌های پلاستیکی می‌توانند بر حیات وحش اثر بگذارند^{۴۰}:

۱- در هم تنیدگی: به دام افتادن یا احاطه شدن حیوانات دریایی توسط پلاستیک‌های رها شده محتمل است^{۴۱}. این موارد حداقل برای ۳۴۴ گونه تا به امروز گزارش شده است؛ که شامل همه گونه‌های لاکپشت‌های دریایی، بیش از دو سوم گونه‌های فوک‌ها، یک سوم گونه‌های نهنگ و یک چهارم پرندگان دریایی می‌شوند^{۴۱}. این موارد بیشتر بر اثر طناب و توری‌های پلاستیکی و یا وسایل ماهی‌گیری اتفاق می‌افتند^{۴۲}.

۲- مشکلات گوارشی: بلع پلاستیک توسط حیوانات به صورت ناخواسته، عمدی یا غیر مستقیم از طریق بلعیدن گونه‌های طعمه حاوی پلاستیک رخ می‌دهد^{۴۳}. اندازه مواد بلعیده شده به اندازه موجودات محدود می‌شود^{۴۳}. ذرات کوچک پلاستیکی مانند الیاف توسط موجودات ریز بلعیده می‌شوند^{۴۳}. مواد بزرگتری مانند فیلم‌های پلاستیکی، پاکت‌های سیگار و بسته‌بندی مواد غذایی در گونه‌های بزرگ ماهی یافت شده‌اند^{۴۳}. در موارد شدید مستندها بلعیده شدن موادی چون ۹ متر طناب، ۴٫۵ متر شلنگ، دو گلدان گل و ورقه پلاستیکی توسط نهنگ‌ها را نشان می‌دهند^{۴۳}.

بلع پلاستیک می‌تواند اثرات نامطلوبی را بر موجودات برجای بگذارد^{۴۴}. پلاستیک می‌تواند ظرفیت معده را کاهش دهد و منجر به کم اشتها و سیری کاذب شود^{۴۴}. همچنین پلاستیک‌ها می‌توانند روده را مسدود و یا سوراخ کنند و در نهایت منجر به مرگ شوند^{۴۴}.

در محیط‌های آزمایشگاهی نیز پاسخ‌های بیوشیمیایی به بلع پلاستیک مشاهده شده است^{۴۵}. این پاسخ‌ها شامل استرس اکسیداتیو، اختلال متابولیک، کاهش فعالیت آنزیم و نکروز سلولی است^{۴۵}.

۳- فعل و انفعالات شامل برخورد، انسداد، ساییدگی و یا استفاده به عنوان بستر است^{۴۵}.

روش‌های متعددی وجود دارد که فعل و انفعالات می‌تواند بر موجودات اثر بگذارد^{۴۵}. برای مثال، نشان داده شده که وسایل ماهی‌گیری در هنگام برخورد باعث سایش و آسیب به اکوسیستم‌های صخره‌های مرجانی می‌شود^{۴۵}. ساختارهای اکوسیستم همچنین می‌توانند توسط پلاستیک به دنبال تداخل بستر با پلاستیک (تأثیر بر نفوذ نور، در دسترس بودن مواد آلی و تبادل اکسیژن) تحت تأثیر قرار گیرند^{۴۵}.

۱۰- مدیریت زباله‌های پلاستیک

از آنجایی که پلاستیک‌ها تنها حدود ۶۰ سال است که به صورت انبوه تولید می‌شوند، طول عمر آن‌ها در محیط زیست با قطعیت مشخص نیست^{۴۶}. بیشتر انواع پلاستیک‌ها زیست تخریب‌پذیر نیستند و در واقع بادوام می‌باشند^{۴۶}. بنابراین اکثر پلاستیک‌های تولید شده، حداقل برای چندین دهه و احتمالاً برای صدها و هزاره‌ها باقی خواهند ماند^{۴۶}. حتی پلاستیک‌های تجزیه پذیر ممکن است برای مدت زمان قابل توجهی بسته به عوامل محیطی محل باقی بمانند^{۴۶}. میزان تخریب به عوامل فیزیکی، مانند سطوح قرار گرفتن در معرض نور ماورا بنفش، اکسیژن و دما بستگی دارد^{۴۶}. زمانی که یک جسم پلاستیکی تحت تأثیر هوازدگی تخریب می‌شود؛ ابتدا به قطعات کوچکتری تجزیه می‌شود؛ در نتیجه مقادیر قابل توجهی از پلاستیک‌های کوچک در محل دفن زباله و یا در محیط‌های طبیعی تجمع می‌یابند که منجر به مسائل مربوط به مدیریت زباله و آسیب‌های زیست محیطی می‌شود^{۴۷}.

تجمع زباله‌های پلاستیکی در محیط و پیامدهای مرتبط با آن قابل اجتناب است^{۳۵}. با دفع مناسب و مدیریت زباله‌ها، مقدار زباله‌های وارد شده به محیط‌های طبیعی به طور چشمگیری کاهش می‌یابد^{۳۵}. تولید بی‌رویه زباله پلاستیکی یک مساله رفتاری است و برخی معتقدند که زباله‌های پلاستیکی به موازات استفاده ما از محصولات یکبار مصرف و بسته بندی مواد و محصولات، افزایش یافته است^{۳۵}. به نظر می‌رسد یک راه حل می‌تواند افزایش ظرفیت بازیافت باشد^{۳۵}. در حقیقت به این بیندیشیم که چگونه می‌توان از مواد استفاده شده برای تولید محصولات جدید استفاده کنیم و نه تولید زباله بیشتر^{۳۵}. برای دستیابی به این امر به آموزش، مشارکت، اجرا و افزایش ظرفیت بازیافت نیاز داریم^{۳۵}.

مقادیر قابل توجهی از زباله‌های پلاستیکی در محل دفن زباله دفع می‌شوند^{۳۵}. اما با توجه به طول عمر پلاستیک‌ها ظرفیت این محل‌ها با سرعت رو به اتمام است^{۳۵}. همچنین نرم‌کننده‌ها و سایر محصولات شیمیایی که در تولید پلاستیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، از محل‌های دفن زباله شسته می‌شوند^{۳۵}. میزان این نشتی بر اساس شرایط مختلف از جمله PH محیط و محتوای مواد آلی متفاوت است^{۳۵}. همچنین محل‌های دفن، منبع مهمی از آلاینده‌ها برای محیط‌های آبی هستند^{۳۵}.

۵۰ درصد از پلاستیک‌ها برای کاربردهای یکبار مصرف، مانند بسته‌بندی و اقلام مصرفی یکبارمصرف، بین ۲۰ تا ۲۵ درصد برای زیرساخت‌های بلند مدت مانند لوله‌ها، پوشش‌های کابل و مصالح و بقیه برای کاربردهای مصرفی بادوام با طول عمر متوسط، مانند کالاهای الکترونیکی، مبلمان، وسایل نقلیه و غیره. این دو مشاهده به تنهایی نشان می‌دهند که استفاده ما از پلاستیک پایدار نیست^{۴۸}.

در جدول ۳ درصد تقریبی پلاستیک‌های مختلف موجود در زباله خانگی نشان داده شده است:

درصد تقریبی	نام پلاستیک
۵۵٪	پلی اتیلن
۱۵٪	پلی پرپیلن
۱۱٪	پلی ویلین کلرید
۹٪	پلی استایرن
۳٪	پلی استایرن منبسط شده (مواد فومی مانند بسته بندی فست فود)
۷٪	باقی مانده

جدول ۳

source: Goodship, V, "Introduction to Plastics Recycling. Shrewsbury, Shropshire: Smithers Rapra Technology Limited Shawbury." (2007).

۱-۱۰ رویکرد 3Rs

از منظر مدیریت زباله، رویکرد 3R مورد حمایت قرار گرفته است^{۳۵}. این رویکرد به کاهش مصرف (Reduce)، استفاده مجدد (Reuse) و بازیافت (Recycle) اشاره دارد^{۳۵}.

برای مواد آلی مانند پلاستیک‌ها، می‌توان بازیابی انرژی را نیز در نظر گرفت^{۴۸}. بازیافت انرژی زباله‌های پلاستیکی از طریق تبدیل آن‌ها به سوخت برای تولید برق، استفاده در کوره‌های سیمانی و... صورت می‌گیرد^{۴۸}. از بازیابی انرژی این دسته از زباله‌ها می‌توان برای کاهش حجم دفن زباله استفاده کرد؛ اما تقاضا برای سوخت‌های فسیلی را به طور چشمگیری کاهش نمی‌دهد^{۴۸}. بازیابی انرژی اساس استراتژی 4Rs در مدیریت پسماند محسوب می‌شود^{۴۸}.

۲-۱۰ روش‌های مدیریت زباله‌های پلاستیکی

الف) دفن زباله

دفن زباله رویکرد مرسوم برای مدیریت زباله است^{۵۰}. اما فضا در برخی از کشورها برای دفن، محدود می‌باشد^{۵۰}. در این روش خطرات طولانی مدت آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی توسط برخی مواد افزودنی و محصولات جانبی در پلاستیک وجود دارد که می‌تواند به آلاینده‌های آلی پایدار تبدیل شود^{۵۰}. یک ایراد عمده به محل‌های دفن زباله این است که هیچ یک از منابع مادی مورد استفاده برای تولید پلاستیک بازیابی نمی‌شود^{۵۰}.

ب) سوزاندن و بازیافت انرژی

سوزاندن نیاز به دفن زباله‌های پلاستیکی را کاهش می‌دهد^{۵۱}. با این حال نگرانی‌هایی در خصوص انتشار مواد خطرناک در جو بر اثر سوزاندن، وجود دارد^{۵۱}. برای مثال پلی وینیل کلراید و افزودنی‌های هالوژنه معمولاً در زباله‌های پلاستیکی مخلوط وجود دارند که منجر به خطر انتشار دیوکسین‌ها، سایر بی‌فنیل‌های پلی کلرین و فوران‌ها در محیط می‌شود^{۵۱}. نکته‌ی قابل توجه در این خصوص این است که سوزاندن زباله‌های پلاستیکی نسبت به دفن آن‌ها و یا بازیافت مکانیکی آن‌ها از اولویت کمتری برخوردار است^{۵۲}. ژاپن و برخی از کشورهای اروپایی مانند دانمارک و سوئد در این مساله در زمره استثناها می‌باشند زیرا زیرساخت‌های زباله سوز گسترده تعبیه کرده‌اند^{۵۲}.

سوزاندن را می‌توان بازیابی مقداری از انرژی پلاستیک‌ها در نظر گرفت^{۵۳}. انرژی مفید بازیافتی از این طریق بر اساس اینکه برای تولید الکتریسیته، حرارت و توان ترکیبی یا به عنوان سوخت زباله جامد برای سوخت رسانی مشترک کوره‌های بلند یا کوره‌های سیمان استفاده می‌شود؛ متفاوت است^{۵۴}. همچنین ممکن است این انرژی برای تولید سوخت دیزل یا تبدیل به گاز استفاده شود^{۵۳}.

تمایلات جهانی برای تولید سوخت دیزل به این طریق به علت افزایش قیمت نفت بیشتر شده است^{۵۲}. همچنین فرایندهای بازیابی انرژی ممکن است راهی برای مقابله با پلاستیک مخلوط مانند برخی زباله‌های الکتریکی باقی مانده قطعات خودرو باشد^{۵۲}.

پ) کاهش اندازه‌ها

کاهش اندازه بسته بندی مورد استفاده در هر کالا باعث کاهش حجم زباله می‌شود.^{۵۲} برای مثال در بسیاری از فروشگاه‌های خرید آنلاین، برای ارسال یک محصول از بسته بندی‌های پر حجم و غیر ضروری استفاده می‌شود که بیشتر جنبه زیبایی شناختی و جلب رضایت مشتری دارد.

ج) استفاده از بسته بندی‌هایی که قابل استفاده مجدد هستند^{۵۲}.

استفاده از ظروف شیشه ای در حدود ۴۰ سال پیش به شدت رواج داشت^{۵۲}. این ظروف قابلیت این را داشتند که بارها و بارها مورد استفاده قرار بگیرند^{۵۲}. البته مشکلاتی هم در این زمینه وجود دارند به طور مثال جمع آوری این شیشه‌ها و انتقال آن‌ها به محل کارخانه‌ها برای پر شدن، هزینه حمل و نقل را برای تولید کننده اضافه می‌کند^{۵۲}.

مساله استفاده مجدد از محصولات پلاستیکی حائز اهمیت است؛ به طوریکه پتانسیل قابل توجهی برای استفاده از پلاستیک‌های استفاده شده در حمل و نقل کالا یا برخی اجزای پلاستیکی استفاده شده در کالاهای مصرفی با ارزشی مثل وسایل نقلیه و تجهیزات الکترونیکی وجود دارد^{۵۲}.

ه) استفاده از مواد جایگزین

پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر این پتانسیل را دارند که تعدادی از مسائل مربوط به مدیریت زباله را کاهش دهند^{۵۲}. در تهیه این نوع پلاستیک‌ها از پلیمرهایی استفاده می‌شود که از مواد اولیه تجزیه پذیر به دست می‌آیند^{۶۱}. این پلیمرها حاوی مواد افزودنی هستند که در صورت ایجاد کمپوست، یا با قرار دادن در معرض اشعه ماورا بنفش، تجزیه می‌شوند^{۶۱}. پلیمرهای زیست تخریب پذیر مستقل از منشا مواد اولیه خود، با عملکرد میکروارگانیسم‌های طبیعی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها یا جلبک‌ها تحت فرایندهای تخریب به آب، دی اکسید کربن و مواد آلی تبدیل می‌شوند؛ البته به شرایط خاصی مانند دمای مطلوب نیاز دارند^{۶۱}.

میتوان از زباله‌های زیست تخریب‌پذیر در کمپوست‌های هوایی یا بی‌هوایی با جذب متان برای استفاده از انرژی استفاده کرد^{۵۲}. پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر راه حل مناسبی برای مصارف کوتاه مدت و یا یکبار مصرف از پلاستیک‌ها است^{۵۲}. مانند بسته بندی مواد غذایی و ظروف یکبار مصرف. با این حال پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر نیز وقتی بدون ویژگی‌های فنی مناسب، سیستم مدیریت درست و آموزش مصرف کننده استفاده شوند میتوانند مدیریت پسماند را مشکل روبرو کنند^{۵۲}. برای مثال پلاستیک‌های قابل کمپوست و تجزیه پذیر باید به طور مناسب برچسب گذاری شوند و به عنوان یک محصول مکمل و یا جایگزین مورد استفاده قرار گیرند^{۵۲}.

و) بازیافت پلاستیک

بازیافت یکی از مهم‌ترین اقداماتی است که در حال حاضر برای کاهش تاثیرات انبوه زباله‌های پلاستیکی می‌توان انجام داد^{۴۸}. و یکی از پویاترین حوزه‌ها در صنعت پلاستیک به شمار می‌رود^{۴۸}. بازیافت فرصت‌هایی برای کاهش مصرف نفت و به طور کلی انرژی، کاهش انتشار کربن دی اکسید، اکسید نیتروژن و دی اکسید گوگرد و در نهایت کاهش حجم زباله نیاز به دفع را فراهم می‌کند^{۴۸}. در حالی که پلاستیک‌ها از دهه ۱۹۷۰ بازیافت شده‌اند، مقادیر بازیافت شده از نظر جغرافیایی بسته به

نوع پلاستیک و کاربرد آن متفاوت است^{۴۸}. بازیافت مواد بسته بندی در چند دهه اخیر در تعدادی از کشورها گسترش سریعی داشته است^{۴۸}. پیشرفت در فناوری‌ها و سیستم‌های جمع‌آوری، دسته‌بندی و پردازش مجدد پلاستیک‌های قابل بازیافت فرصت‌های جدیدی را برای بازیافت ایجاد می‌کند^{۴۸}.

بازیافت پلاستیک یکی از روش‌های کاهش اثرات زیست محیطی و کاهش مصرف منابع است^{۴۹}. در سطوح بالای بازیافت، مانند کاهش استفاده، استفاده مجدد و تعمیر وسایل می‌تواند استفاده از محصول را با ورودی کمتر از آنچه در غیر این صورت مورد نیاز است، فراهم سازد^{۴۹}. بنابراین بازیافت می‌تواند مصرف انرژی و مواد را در هر واحد خروجی کاهش دهد و در نتیجه کارایی زیست محیطی را بهبود می‌بخشد^{۴۹}.

بازیافت عموماً یک فرایند چند قسمتی شامل جمع‌آوری پلاستیک‌ها، دسته‌بندی و مرتب‌سازی آن‌ها است^{۵۰}. بازیابی پلاستیک با تبدیل فیزیکی و شیمیایی آن‌ها به پولک یا گلوله و در نهایت پردازش این گلوله‌ها به محصول نهایی است^{۵۰}. یکی از دلایلی که پلاستیک‌ها کمتر از فلز و شیشه بازیافت می‌شوند این است که مرحله مرتب‌سازی آن‌ها کاری فشرده و پرهزینه است^{۵۰}.

در حال حاضر، نزدیک به ۹۵ درصد از پلاستیک‌های بسته بندی تنها بعد از یکبار استفاده دور ریخته می‌شوند^{۵۱}. از آنجایی که زباله‌های پلاستیکی به طور کلی توسط مواد غیر پلاستیکی مانند کاغذ، شیشه، فلز، پارچه و چوب آلوده می‌شوند، جداسازی پلاستیک‌ها از اینگونه آلاینده‌ها کار فشرده‌ای است^{۵۱}. اما این مشکل را می‌توان با استفاده صحیح از سطوحی جداگانه برای پلاستیک، کاغذ، فلزات و ضایعات مواد غذایی حل کرد^{۵۱}. در بسیاری از بسته بندی‌های پلاستیکی ممکن است تعدادی کد شناسایی پیدا کنیم که در شکل زیر نشان داده شده است^{۵۲}:



شکل ۲- کدهای بسته بندی توسط انجمن صنعت پلاستیک

اصطلاحات بازیافت پلاستیک به دلیل گستره وسیعی که دارد، گاهی گیج کننده است. این اصطلاحات در ۳ دسته توضیح داده می‌شود:

بازیافت اولیه: شامل فرآوری مجدد مکانیکی به محصولی با خواصی شبیه به محصول اولیه. این بازیافت اغلب به عنوان بازیافت حلقه بسته یا فرایند اکستروژن مجدد شناخته می‌شود^{۵۲}.

در تئوری، بازیافت حلقه بسته (اولیه) بیشتر برای ترموپلاستیک‌ها استفاده می‌شوند^{۵۲}. با این حال بسته بندی‌های پلاستیکی اغلب از طیف گسترده‌ای از پلیمرهای مختلف و مواد دیگر مانند فلزات، کاغذ، رنگدانه، جوهر و چسب استفاده می‌شوند که این بازیافت را با مشکل روبه‌رو می‌کند^{۵۲}. بازیافت حلقه بسته زمانی به طور کارآمدی مفید است که ترکیب پلیمری بتواند به طور موثر از منابع آلودگی جدا شود و در طول پردازش مجدد و استفاده بعدی در برابر تخریب تثبیت شود^{۵۲}.

بازیافت ثانویه یا بازیافت مکانیکی: بازفرآوری ضایعات پلاستیک با وسایل فیزیکی و مکانیکی^{۵۳}. این فرآیند در دهه ۱۹۷۰ تجاری شده است^{۵۳}. در این فرآیند SPW به پودر، یا پولک یا گلوله تبدیل می‌شود که منجر به کاهش حجم می‌شود که بستگی به اجزای موجود در SPW دارد^{۵۳}. این فرآیند همچنین شامل کاهش اندازه (گلوله‌ها، پولک‌ها یا پودرها)، جداسازی آلاینده‌ها (جداسازی کاغذ، فلزات و گرد و غبار)، شناورسازی (جداسازی بر اساس اختلاف تراکم در مخزن شناور) و در نهایت

شستشو، خشک کردن و پالت سازی می شود.^{۵۶} این فرآیند برای SPW تک جزء مانند ضایعات صنعتی و بازیابی پلاستیک های همگن پس از مصرف، بهترین گزینه است.^{۵۶} بازیابی مکانیکی عمدتاً از روش های بازیابی پلاستیک پیروی می کند که در آن هیچ تغییری در ساختار و خواص شیمیایی رخ نمی دهد و پلاستیک ها مستقیماً پس از خرد کردن مکانیکی یا چسباندن چسب استفاده می شوند.^{۵۶}

بازیافت سوم: شامل بازیابی ترکیبات شیمیایی یا مواد اولیه می باشد. و زمانی اعمال می شود که پلیمر به ترکیب شیمیایی خود پلیمریزه شود.^{۵۲} در واقع در این روش ساختارهای شیمیایی اجزای SPW توسط پیرولیز برای تولید بخش های نفت و گاز در حضور هوا در دمای بالا پلیمریزه می شوند.^{۵۸} پلاستیک های زیست تخریب پذیر نیز می توانند کمپوست شوند و این نمونه ای از بازیافت سوم است.^{۵۲} همچنین این نوع بازیافت به عنوان بازیافت آلی یا بیولوژیکی توصیف می شود.^{۵۲} بازیافت مواد شیمیایی این مزیت را دارد که ترکیب پتروشیمی پلیمر را بازیافت کند.^{۵۲} در نتیجه می توان از آن برای تولید مجدد پلاستیک یا ساخت سایر مواد شیمیایی مصنوعی استفاده کرد.^{۵۲} الیاف بازیافت شده شیمیایی در مقایسه با پلی استر بکر، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی مطلوب کمتری را ارائه می دهند.^{۶۰} الیاف بازیافت شده شیمیایی را می توان در طیف وسیع تری از کاربردها نسبت به الیاف بازیافت مکانیکی استفاده کرد، اما پلاستیک های بازیافت مکانیکی اثرات زیست محیطی بهتری نسبت به پلاستیک های بازیافتی شیمیایی دارند.^{۶۰}

با وجود تمام پیچیدگی های این مسیر، بازیافت همچنان در اولویت مدیریت پسماند است.^{۶۱} بازیافت باعث صرفه جویی در منابع و انرژی، کاهش انتشار آلاینده ها، کاهش نیاز به دفن زباله، ایجاد شغل و بهبود اقتصاد محلی، کاهش واردات منابع و به طور کلی بهبود محیط زیست می شود.^{۶۱} بنابراین اگرچه بازیافت گران است، اما به نفع جامعه است و کشورها باید تلاش کنند تا نرخ بازیافت خود را بهبود بخشند.^{۶۱} همان طور که عنوان شد بازیافت فرآیندی پیچیده و چند مرحله ای است که در ادامه به توضیح بخشی از این مسیر خواهیم پرداخت.

۱۱- سیستم های بازیافت زباله

مواد پلاستیکی را می توان به روش های مختلفی بازیافت کرد. سهولت بازیافت به نوع پلیمر، طرح بسته بندی و نوع محصول بستگی دارد.^{۵۲} به عنوان مثال ظروف پلاستیکی که از یک نوع پلیمر ساخته شده اند نسبت به ظروف یا بسته بندی های چند لایه بازیافت ساده تری دارند و اقتصادی تر هستند.^{۵۲} ترموپلاستیک ها شامل پلی اتیلن، پلی اتیلن ترفتالاتو پلی پروپیلن همگی پتانسیل بالایی برای بازیافت مکانیکی دارند.^{۵۲} پلیمرهایی که در مقابل حرارت سفت می شوند مانند پلی استر غیر اشباع را نمی توان به طور مکانیکی بازیافت کرد؛ زیرا این نوع پلاستیک ها در مسیر تولید به طور دائم به هم متصل می شوند و نمی توان آن ها ذوب کرد و دوباره شکل داد.^{۵۲} یک چالش عمده برای تولید رزین های بازیافتی از زباله های پلاستیکی این است که اکثراً انواع مختلف پلاستیک با هم سازگار نیستند.^{۵۲} برای مثال ممکن است پلاستیک ها از نظر مولکولی با یکدیگر مخلوط نشوند و یا در سطح تولید کلان نیاز به پردازش های متفاوتی داشته باشند.^{۵۲} به عنوان مثال، در جریان بازیافت پلی اتیلن ترفتالات اگر مقدار کمی پلی وینیل کلراید وجود داشته باشد، رزین **پلی اتیلن ترفتالات** بازیافت شده در دمای بالاتر از دمای معمولی مورد نیاز برای ذوب و پردازش پلی اتیلن ترفتالات، تجزیه می شود.^{۵۲} این موضوع به علت وجود گاز اسید هیدروکلریک از پلی وینیل کلراید است.^{۵۲} حالا اگر در جریان بازیافت پلی وینیل کلراید مقداری آلاینده پلی اتیلن ترفتالات وجود داشته باشد؛ توده های جامدی از پلی اتیلن ترفتالات، کریستالی غیر منسجم را تشکیل می دهند که ارزش مواد بازیافتی را به میزان قابل توجهی کاهش می دهند.^{۵۲}

در نتیجه از نظر فنی امکان افزودن پلاستیک بازیافتی به پلیمر بکر بدون کاهش حداقل برخی ویژگی های کیفی پلاستیک بکر وجود ندارد.^{۵۲} این ویژگی ها شامل رنگ، شفافیت یا خواص مکانیکی مانند مقاومت در برابر ضربه هستند.^{۵۲} در اغلب موارد

رزین بازیافتی را با رزین بکر مخلوط می‌کنند و برای کاربردهایی مثل کیسه‌های زباله و لوله‌های ابیاری یا زهکشی بدون فشار استفاده می‌شود^{۵۲}. به طور کلی توانایی جایگزینی پلاستیک بازیافتی به جای پلیمر بکر به خلوص پلاستیک بازیافت شده و نیازهای ویژگی محصول تولیدی بستگی دارد^{۵۲}. طرح‌های بازیافتی فعلی بر روی پلاستیک‌هایی مثل بطری‌های نوشابه و آب (پلی اتیلن ترفتالات) و بطری‌های شیر متمرکز هستند؛ زیرا به راحتی میتوان آن‌ها را شناسایی و از جریان زباله‌های ترکیبی جدا نمود^{۵۲}. اما محصولات پلاستیکی چند لایه بازیافت محدودتری دارند زیرا باعث آلودگی بین انواع پلیمر میشوند و کیفیت رزین بازیافتی کاهش میابد^{۵۲}. بنابراین بازیافت زباله‌های پلاستیکی پس از مصرف شامل چندین مرحله کلیدی است: جمع آوری، مرتب سازی، کاهش اندازه، تمیز کردن و جداسازی بیشتر.

آ) جمع آوری

جمع آوری زباله‌های پلاستیکی از چند طریق در دست اجرا است. یکی از آن‌ها طرح‌هایی است که در آن افراد زباله‌های قابل بازیافت را به محل‌های مخصوص می‌رسانند و به افراد متصدی تحویل می‌دهند^{۵۲}. یک راه دیگر از طریق ماشین‌های حمل و نقل زباله‌های بازیافتی است که معمولاً توسط شهرداری انجام می‌شود^{۵۲}. البته دیده شده در غیاب رفتار عمومی متعهدانه یا طرح‌هایی که انگیزه‌های اقتصادی در آن‌ها وجود دارد، افراد با نرخ پایینی به طور مستقل مشارکت کرده و زباله‌ها را به محل‌های مخصوص می‌رسانند^{۵۲}. برای به حداقل رساندن هزینه بازیافت، از افراد درخواست می‌شود که کاغذ، تخته، شیشه، آلومینیوم، فولاد و ظروف پلاستیکی را در مجموعه‌های جدایی که برای این موارد تعبیه شده‌اند بریزند^{۵۲}. این طرح در جمع آوری بطری‌های پلاستیکی از خانه‌ها موفق بوده‌است^{۵۲}. از نظر مصرف کلی معمولاً تنها ۳۰ تا ۴۰ درصد از بطری‌های پلاستیکی پس از مصرف بازیابی می‌شوند^{۵۲}.

ب) مرتب سازی

مرتب سازی مواد بازیافتی به دو روش خودکار و دستی انجام می‌شود^{۵۲}. قبل از این مرحله انواع زباله‌های بازیافتی مثل کاغذ، شیشه و فلزات جدا می‌شوند که به آن پیش مرتب سازی می‌گویند^{۵۲}. اما مواردی که به آن‌ها متصل است مانند برچسب جدا نمی‌شود^{۵۲}. به طور کلی بطری‌های پلی اتیلن ترفتالات شفاف و بدون رنگدانه به راحتی از جریان جدا می‌شوند^{۵۲}. مرتب‌سازی خودکار پلاستیک‌ها به طور گسترده توسط اپراتورها و تاسیسات بازیافت مواد انجام می‌شود^{۵۲}. این سیستم‌ها معمولاً از اشعه فروسرخ برای تشخیص نوع پلیمر استفاده می‌کنند^{۵۲}. به علاوه از سیستم‌های دوربین تشخیص رنگ نوری برای مرتب‌سازی زباله‌ها به بخش‌های شفاف و رنگی استفاده می‌کنند^{۵۲}. از این دوربین‌ها میتوان برای تمایز بین ظروف پلی اتیلن ترفتالات شفاف، آبی روشن، آبی تیره، سبز و سایر ظروف رنگی استفاده کرد^{۵۲}. سایر فناوری‌های مرتب سازی شامل تشخیص اشعه ایکس است که برای جداسازی ظروف پلی وینیل کلراید استفاده می‌شود؛ زیرا ۵۹ درصد وزن آن‌ها کلر است و به راحتی قابل تشخیص هستند^{۵۲}.

ج) کاهش اندازه و تمیز کردن

پلاستیک‌های سفت و سخت اغلب به صورت ورقه ای آسیاب میشوند^{۵۲}. و برای از بین بردن هر گونه آلودگی مانند مواد غذایی، الیاف و چسب تمیز می‌شوند^{۵۲}. آخرین نسل از کارخانه‌های شست و شو تنها ۲ تا ۳ متر مکعب آب به ازای هر تن مواد مصرف می‌کنند^{۵۲}. البته یک فناوری نوآورانه ای نیز وجود دارد که به آن "تمیز کردن خشک" می‌گویند^{۵۲}. در این روش بدون استفاده از آب، سطوح را از طریق اصطکاک تمیز می‌کنند^{۵۲}.

و) جداسازی بیشتر

پس از کاهش اندازه، طیف وسیعی از تکنیک‌های جداسازی را می‌توان اعمال کرد^{۵۲}. یکی از این روش‌ها شناور کردن مواد در سینک‌های آب است؛ به این طریق مواد بر اساس چگالی جدا می‌شوند^{۵۲}. از این طریق پلی الفین‌ها (پلی اتیلن و پلی

پروپیلن) را به راحتی می‌توان از پلی اتیلن ترفتالات، پلی وینیل کلراید و پلی استایرن جدا نمود؛ اما پلی وینیل کلراید به این روش از پلی اتیلن ترفتالات حذف نمیشود زیرا چگالی آن‌ها همپوشانی دارد^{۵۲}. سایر تکنیک‌های جدا سازی مانند شستشوی هوا نیز میتواند برای حذف لایه‌هایی با چگالی کم از پلاستیک‌های چگال تر استفاده کرد^{۵۲}.

۱۲- مصرف پلاستیک و توسعه ی پایدار

سال‌ها پیش، انقلاب صنعتی در سراسر جهان رخ داد و بشر قدم‌های خود را در جهت موفقیت و پیشرفت برداشت و جهان به سمت توسعه فناوری پیش رفت^{۶۲}. در مقابل با پیشرفت فناوری، محیط زیست، اکوسیستم و جامعه در معرض خطر قرار گرفت^{۶۲}. به طوریکه امروزه بیش از ۴۰ درصد از جمعیت جهان با مشکلاتی مانند کمبود آب آشامیدنی، انرژی پاک و فقر مواجه هستند^{۶۲}. در نتیجه نیاز فوری به تغییر چهره جامعه وجود داشت که مردم در آن بتوانند با پایداری زندگی کنند^{۶۲}. درک این نیاز سبب شد تا سازمان ملل متحد علت توسعه اجتماعی پایدار را مطرح کند^{۶۲}.

متداول‌ترین تعریف توسعه‌ی پایدار چنین است: "توسعه پایدار، توسعه‌ای است که نیازهای زمان حال را برآورده می‌کند، بدون اینکه توانایی نسل‌های آینده برای برآوردن نیازهای خود را به خطر بیندازد"^{۶۳}

اهداف توسعه پایدار مجموعه‌ای جدید و جهانی از اهداف و شاخص‌ها هستند که انتظار می‌رود کشورهای عضو سازمان ملل از آن‌ها برای تنظیم برنامه‌ها و سیاست‌های سیاسی خود استفاده کنند^{۶۴}. توسعه‌ی پایدار شامل ۱۷ هدف می‌باشد که توسط مجمع عمومی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۵ به تصویب رسید^{۶۴}. این طرح برای دستیابی به جهانی بهتر و پایدارتر برای همه تا سال ۲۰۳۰ می‌باشد^{۶۴}. این برای اولین بار است که جامعه‌ی بین‌المللی توانست یک برنامه‌ی توسعه‌ی پایدار جهانی و جامع را تعریف کند^{۶۴}. این برنامه شامل اهداف اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی است^{۶۴}. اهداف توسعه پایدار بر این اصل بنا شده که رونق اقتصادی، پیشرفت اجتماعی و حفاظت از محیط زیست باید در کنار هم قرار گیرند^{۶۴}.



شکل ۳- توسعه پایدار

توسعه اقتصادی: اقتصاد پایدار منجر به افزایش تولیدات، خدمات بهتر و مفید برای مردم و کاهش عدم تعادل اقتصاد می‌شود^{۶۵}.

توسعه اجتماعی: جامعه‌ی پایدار دارای عدالت، خدمات اجتماعی مفید، برابری جنسیتی، ثبات سیاسی، امنیت و همکاری است^{۶۵}.

محیط زیست: محیط زیست پایدار منجر به حفظ و نگهداری منابع و جلوگیری از هدر رفتن منابع تجدید پذیر می‌شود^{۶۵}. به نظر می‌رسد مصرف پلاستیک و در مقابل تولید زباله‌های پلاستیکی مدیریت نشده بر جنبه‌های مختلف توسعه پایدار تاثیر خواهد گذاشت. از آنجایی که نفت به عنوان ماده اولیه برای تولید پلاستیک استفاده می‌شود، تولید افسار گسیخته پلاستیک

در یک کشوری‌تواند به پایداری منابع انرژی تجدید ناپذیر صدمه بزند و آن را به نابودی بکشاند. از طرف دیگر مصرف مدیریت نشده پلاستیک‌ها تولید زباله را بیشتر کرده و جامعه را با مشکل دفع این زباله‌ها مواجه می‌سازد به گونه ای که انتخاب راه‌هایی برای دفع این زباله‌ها می‌تواند بر محیط زیست آسیب‌های جبران ناپذیری را وارد کند. از جمله سوزاندن زباله، که منجر به تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شود. یا محیط‌های روباز تجمع زباله‌ها که همانگونه که پیشتر بررسی کردیم می‌تواند به محیط‌های آبی و سایر موجودات زنده صدمه بزند. تمام این موارد نشان می‌دهد در موضوع مورد بحث ما توجه به توسعه‌ی پایدار حائز اهمیت می‌باشد. در ادامه نگاهی به شرایط کشور ایران خواهیم داشت تا بتوانیم میزان مصرف پلاستیک را در این کشور بررسی کنیم.

۱۳- ایران

با توجه به آنکه در این بخش از تحقیق به بررسی مصرف پلاستیک در ایران خواهیم پرداخت برای تحلیل بهتر این موضوع به بررسی آمارهایی در خصوص رشد جمعیت و توسعه امکانات اجتماعی و اقتصادی در ایران می‌پردازیم. زیرا که در نهایت، مجموعه‌ای از عوامل مختلف، شهروندان جامعه را به استفاده یا عدم استفاده از یک محصول سوق خواهد داد.

۱۳-۱ جمعیت

جمعیت ایران از سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ رشد کمی‌را شاهد بوده به طوری که میتوان گفت جمعیت به صورت خطی رشد کرده است. طبق بررسی آماری از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۱ شاهد افزایش جمعیت بوده ایم^{۶۶}.

۱۳-۲ گسترش شهرنشینی

در تاریخ بشریت اکثر مردم در سراسر جهان در جوامع کوچک زندگی می‌کردند^{۶۸}. در طول چند قرن گذشته به ویژه در دهه‌های اخیر این موضوع به طور چشمگیری تغییر کرده است. مهاجرت گسترده‌ای از روستاها به شهرها صورت گرفته است^{۶۸}.

در مورد کشور ایران آمارها تا سال ۲۰۱۷ نشان می‌دهند که جمعیت شهری افزایش پیدا کرده و در مقابل جمعیت‌های متمرکز و روستایی با کاهش روبه رو بوده اند^{۶۸}. این رشد افسارگریخته و گسیل مردم به سمت شهرها مستلزم مصرف بیشتر انرژی است^{۶۸}. به علاوه شرایط زندگی شهری و مدرنیته میزان تولید زباله را به طور چشم گیری افزایش خواهد داد به طوری که معمولا در حاشیه شهرهای بزرگ زمین‌هایی برای تجمع زباله‌های شهری وجود دارند و اصولا مدیریت این حجم زباله به معضل بزرگی تبدیل شده است^{۶۸}. یازدهمین هدف از اهداف توسعه‌ی پایدار، تشکیل شهرها و اجتماعات پایدار است^{۶۹}. بنابراین از نظر پایداری رفاه اجتماعی لازم است با گسترش شهر نشینی، سکونتگاه‌های مناسب در اختیار همگان قرار گیرد^{۶۹}. در این راستا باید سیستم‌های حمل و نقل مقرون به صرفه وجاده‌های ایمن تعبیه شود^{۶۹}. از طرفی کاهش اثرات نامطلوب زیست محیطی از جمله توجه به کیفیت هوا و مدیریت پسماندهای شهری در دستور کار قرار گیرد^{۶۹}.

۱۳-۳ میزان استفاده از سوخت‌های فسیلی و انرژی تجدید پذیر

سوخت‌های فسیلی که شامل زغال سنگ، نفت و گاز می‌باشد در سیستم‌های تولید انرژی جهانی نقش دارند^{۷۰}. اما استفاده از آن‌ها با اثرات منفی نیز همراه است از جمله آن که در حین سوختن، گاز کربن دی اکسید تولید می‌کنند که اصلی ترین محرک تغییرات آب و هوایی جهانی هستند^{۷۰}. در نتیجه جهان باید به سرعت از سوخت‌های فسیلی دور شود. کشور ایران در طول سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۲۱ در استفاده از سوخت‌های فسیلی رشدی صعودی را تجربه کرده است. یکی از بارزترین و عمومی ترین این مشکلات افزایش آلودگی هوا و به دنبال آن افزایش انواع بیماری‌ها و در نهایت افزایش نرخ مرگ و میر خواهد بود^{۷۰}.

از زمان انقلاب صنعتی، ترکیب بیشتر انرژی مصرفی کشورهای جهان تحت سلطه‌ی سوخت‌های فسیلی می‌باشد^{۷۱}. در نتیجه سه چهارم انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی است^{۷۱}. برای کاهش

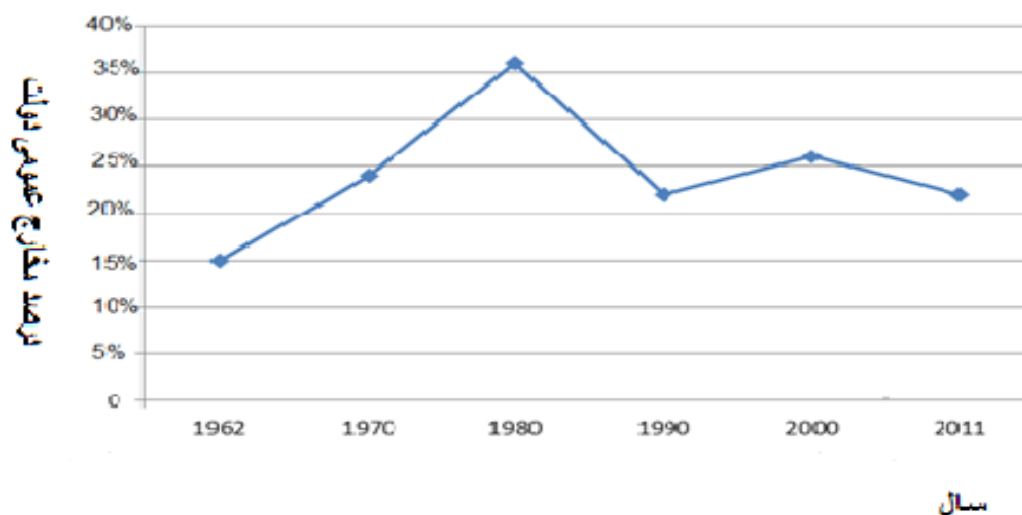
این آلودگی‌ها جهان باید به سرعت به سمت منابع انرژی کم کربن شامل انرژی‌های تجدید پذیر حرکت کند.^{۷۱} در این میان سهم مصرف انرژی اولیه از منابع تجدید پذیر (بادی، خورشیدی، آبی، زمین گرمایی، موجی، جزر و مدی) در ایران از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۲۱ همواره با کاهش و افزایش روبه رو بوده است.^{۷۱} به طوری که در سال ۱۹۶۵ این میزان حدود ۵ درصد بوده و در سال ۲۰۲۱ این میزان ۱,۲۹ درصد می‌باشد.^{۷۱} یکی از اهداف توسعه‌ی پایدار دسترسی همگان به انرژی پاک است.^{۷۲} که این موضوع جنبه‌ای از محیط زیست پایدار را رقم خواهد زد و بنا براین هدف تا پایان سال ۲۰۳۰ سهم انرژی‌ها تجدید پذیر باید به میزان قابل توجهی افزایش یابد.^{۷۲}

۴-۱۳ زباله‌های پلاستیکی

سرانه زباله‌های پلاستیکی منتشر شده در اقیانوس در سال ۲۰۱۹ در کشور ایران ۰,۰۱ کیلوگرم به ازای هر نفر بوده است.^{۷۳} این میزان از زباله‌های رها شده در ایران با میزان زباله‌های کشور پر جمعیتی چون هندوستان برابری می‌کند.^{۷۳} که خود نشان از عدم مدیریت زباله پلاستیکی و رها شدن آن‌ها به آب‌های آزاد دارد.^{۷۳} در صورتی که در کشورهای پیشرفته‌تری چون کانادا و آمریکا این میزان کمتر از ۰,۰۱ کیلوگرم به ازای هر نفر می‌باشد.^{۷۳} نرخ سرانه تولید پلاستیک بر حسب کیلوگرم به ازای هر نفر در روز اندازه‌گیری می‌شود. این میزان در کشور ایران در سال ۲۰۱۰، ۰,۲ کیلوگرم بوده است.^{۷۳} پلاستیک‌ها تنها در صورتی وارد اقیانوس‌ها میشوند که مدیریت ضعیفی جهت کنترل و جمع‌آوری آن‌ها وجود داشته باشد. در کشورهای ثروتمند تقریباً تمام زباله پلاستیکی سوزانده، بازیافت و یا به محل‌های دفن زباله فرستاده می‌شوند، در نتیجه به محیط اطراف باز نمی‌گردند.^{۷۳} اما در کشورهای کم‌درآمد تا متوسط، شاهد زیر ساخت مدیریت پسماند ضعیف‌تری هستیم.^{۷۳}

۵-۱۳ مخارج دولتی

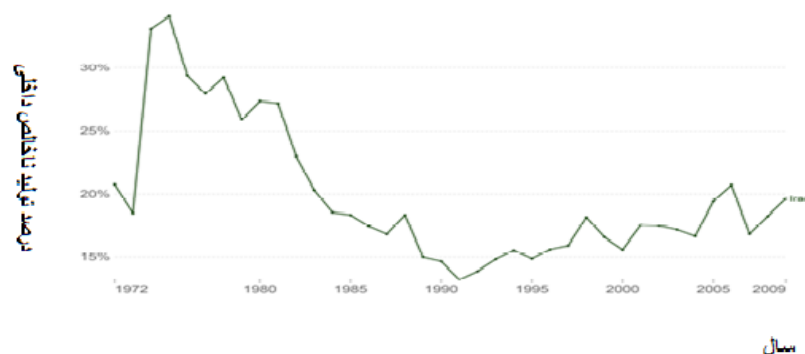
مخارج عمومی، دولت‌ها را قادر می‌سازد تا کالا و خدمات را تولید و خریداری کنند.^{۷۴} مواردی شامل تامین کالای عمومی و یا توزیع مجدد منابع. به طور کلی داده‌های بلند مدت موجود نشان می‌دهد که نقش و مخارج دولت‌ها در چند قرن اخیر در سراسر جهان به شدت تغییر کرده است.^{۷۴} برای مثال در کشورهای صنعتی اولیه، داده‌های تاریخی نشان می‌دهد که هزینه‌های عمومی در قرن بیستم به طور قابل توجهی افزایش داشته‌است؛ زیرا دولت‌ها منابع بیشتری را برای حمایت اجتماعی، آموزش و مراقبت‌های بهداشتی خرج کرده‌اند.^{۷۴} در نمودار زیر مخارج عمومی دولت در کشور ایران را از سال ۱۹۶۲ تا ۲۰۱۱ مشاهده خواهیم کرد.^{۷۵}



نمودار ۲

Figure after, Mauro, P., Romeu, R., Binder, A., Zaman, A., "A modern history of fiscal prudence and profligacy. Journal of Monetary Economics", 76, (2015): 55-70.

موضوع مورد بحث دیگر این است که اصولاً کشورهای با درآمد بالا- به ویژه آنهایی که در اروپا هستند- تمایل دارند سهم بیشتری از تولید ملی را نسبت به دولت‌های کشورهای کم‌درآمد کنترل کنند^{۷۶}. برای مثال در کشورهایی مانند فرانسه، مخارج دولت مرکزی تقریباً ۵۰ درصد از کل تولید ملی را تشکیل می‌دهد. این رقم در کشور نیجریه ۶ درصد است^{۷۶}. در نمودار زیر مجموع هزینه‌های دولت مرکزی شامل پرداخت‌های دولت در ارائه کالا و خدمات، به عنوان سهمی از تولید ناخالص داخلی در کشور ایران را بین سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۹ مشاهده خواهیم کرد^{۷۷}.



نمودار ۳

Source: world Development Indicators- World Bank, "Demographic and Health Surveys, Multiple Indicator Cluster Surveys, Household surveys, UN Population Division", (2022.05.26).

باید بررسی کرد که این رشد اقتصادی و افزایش رفاه مردم چه تاثیری بر تولید سرانه زباله خواهد گذاشت. به طور کلی آنچه که در خصوص کشور ایران طبق آمارها بررسی نمودیم؛ در طی سالهای اخیر، ایران با افزایش جمعیت، افزایش شهرنشینی و در نهایت افزایش تولید زباله روبه رو بوده است. از طرف دیگر آمارهای در دسترس تا سال ۲۰۱۱ نشان میدهد

با وجود افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی مخارج عمومی دولت که باید در جهت رفاه و آسایش اجتماعی و بهبود محیط زیست مصرف گردد، روندی کاهشی داشته است. در نهایت با بررسی نمودار سرانه تولید ناخالص ملی به این نکته پی می‌بریم که به طور متوسط مردم در گذشته چندین برابر فقیرتر از امروز بوده‌اند. درحقیقت رفاه یک دستاورد جدید است که ۱۰ یا ۲۰ نسل گذشته را از همه اجدادش متمایز می‌کند. در نتیجه این رشد اقتصادی و افزایش رفاه مردم میزان مصرف و تولید زباله‌های پلاستیکی را افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر هر چه رفاه افزایش یافته، پلاستیک‌ها نقش موثرتری در زندگی روزمره افراد ایفا کرده‌اند. به طور مثال افراد به دفعات بیشتری به خرید می‌روند و تنوع اقلام خریداری شده توسط آنها نیز بیشتر شده است. در نتیجه از کیسه‌های پلاستیکی بیشتری استفاده می‌کنند. با افزایش رفاه و توجه بیشتر به بهداشت، افراد در بیرون از خانه‌ها برای نوشیدن آب، از بطری‌های یکبار مصرف آب‌های آشامیدنی استفاده می‌کنند. همچنین بر اثر تمایل افراد به مصرف غذا در خارج از خانه، مصرف ظروف یکبار مصرف برای میل غذا نیز افزایش پیدا کرده است. زندگی مدرن علاوه بر رفاهی که برای انسان به ارمغان می‌آورد؛ آسیب‌های جبران ناپذیری را به همراه دارد. کیسه‌های پلاستیکی و ظروف یک بار مصرف نیز از جمله این موارد هستند. زمانی که این کیسه‌ها و ظروف، جایگزین کیسه‌های پارچه‌ای و کاغذی خود شدند شاید کمتر کسی فکر می‌کرد در آینده‌ای نزدیک همین جایگزین‌ها، تبدیل به یکی از معضلات اصلی محیط زیست شوند

سالانه در کشور ایران به میزان ۲/۱ میلیون تن پلاستیک مصرف و وارد چرخه پسماند می‌شود.^{۷۸} می‌توان گفت در هر سال از این میزان ۶۰۰ هزار تن ظروف یکبار مصرف پلاستیکی، ۱۵۰ هزار تن کیسه‌های بافته (woven) پلی پروپیلنی و ۲۰۰ هزار تن کیسه‌های پلی اتیلنی و پلی پروپیلنی تولید و مصرف و تمامی این پلاستیک‌های تولید شده در طبیعت انباشت می‌شوند و به دلیل ماندگاری در طبیعت به آلودگی محیط زیست می‌انجامند.^{۷۸} نکته قابل تأمل آن است که این محصولات بدون یک سیستم بازیافت قوی تولید می‌شوند و روز به روز هم بر میزان مصرف آنها افزوده می‌شود.^{۷۸} این در حالی است که برخی از کشورهای جهان مدت‌هاست رویکرد خود را نسبت به استفاده از مواد پلاستیکی تغییر داده‌اند.^{۷۸} بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهند که متأسفانه در خصوص مدیریت پسماند تاکنون اقدام جدی در کشور صورت نگرفته است.^{۷۸} همچنین نتایج نشان می‌دهند که ساختار تشکیلاتی ناکارآمد، نبود هماهنگی بین ارگان‌های مسئول، فقدان استراتژی منسجم در مدیریت پسماند از تولید تا دفع از یک سو و از سوی دیگر نقصان یا نبود استانداردهای ویژه برای تولید کمپوست و بازیافت از جمله چالش‌هایی اند که باید در استراتژی مدیریت پسماندهای کشور مدنظر قرار گیرند.^{۷۸}

۶-۱۳ مصرف بطری پلاستیکی در ایران

علیرغم بهبود کیفیت آب آشامیدنی در سیستم‌های توزیع آب، استفاده از بطری‌های پلاستیکی به تدریج در حال رشد است.^{۷۹} به طور کلی مصرف بطری‌های آب سالانه به طور متوسط ۷ درصد افزایش می‌یابد.^{۸۰} مصرف جهانی بطری‌های پلی اتیلن ترفتالات در سال ۲۰۱۱، ۲۳۲ میلیارد لیتر بوده و در سال ۲۰۱۵ تخمین زده می‌شود که این مقدار به ۵۱۳ لیتر برسد.^{۸۱} اخیراً گزارش شده است که هر دقیقه یک میلیون بطری پلاستیکی در جهان فروخته می‌شود.^{۸۲} در ایران نیز همانطور که انتظار میرفت، با رشد جمعیت میزان مصرفی بطری‌های پلاستیکی به دلیل افزایش تقاضا افزایش یافته است.^{۸۳} به طوریکه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵، به طور متوسط سالانه حدود ۱,۰۴ میلیارد لیتر آب بسته بندی شده در ایران مصرف شد.^{۸۳} در این آمار نرخ سرانه مصرف سالانه بطری‌های پلی اتیلن ترفتالات از ۰,۴۱ لیتر در سال ۲۰۰۰ به ۴۸,۹ لیتر در سال ۲۰۱۵ افزایش یافت.^{۸۳} که به معنای افزایش حدود ۱۱۹ برابری مصرف بطری‌های پلاستیکی است.^{۸۳} بر اساس روند مصرف آب در بطری‌های پلاستیکی، مقدار کل ضایعات بطری از ۸۲۲,۵۸ تن در سال ۲۰۰۰ به ۱۲۰۲۸۸ تن در سال ۲۰۱۵ افزایش داشته است.^{۸۳} این میزان نشان‌دهنده میانگین تولید سالانه ۳۲۳۸۷ تن ضایعات بطری پلی اتیلن ترفتالات بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ بوده است.^{۸۳} این افزایش میزان مصرف را به افزایش رفاه و همچنین بالارفتن سطح آگاهی مردم نیز میتوان نسبت داد. به طوریکه افراد برای استفاده از آب آشامیدنی سالم تر و بهداشتی حاضر به پرداخت هزینه برای

بطری‌های آب آشامیدنی هستند.

۷-۱۳ مصرف کیسه‌های پلاستیکی در ایران

به طور کلی در جهان سالانه ۵۰۰ میلیارد کیسه پلاستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد^{۸۴}. همچنین ۸ میلیارد کیسه به طور رایگان در اختیار مردم قرار می‌گیرد^{۸۴}.

مردم به دلایل مختلفی به طور گسترده از کیسه‌های پلاستیکی استفاده می‌کنند^{۸۵}. این دلایل عبارتند از: ارزان بودن، ضد آب بودن، وزن کم و در عین حال بادوام بودن همچنین برای جابه جایی مواد غذایی بهداشتی و مقرون به صرفه هستند^{۸۵}. میزان تولید کیسه‌های پلاستیکی در کشور بیش از ۱۷۷ هزار تن در سال تخمین زده می‌شود که این رقم معادل ۴۹۰ تن در روز است^{۸۶}. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که هر خانوار ایرانی به طور متوسط روزانه حداقل از ۳ کیسه پلاستیکی استفاده می‌کند که در مجموع به ۴۵ میلیون کیسه در روز در سراسر کشور می‌رسد^{۸۷}. آمارهای غیررسمی حاکی از آن است که روزانه ۵۰۰ تن کیسه پلاستیکی تنها در تهران و ۳۰۰۰ تن در سراسر کشور مصرف می‌شود^{۸۷}.

۸-۱۳ بازیافت در ایران

در ایران تنها در سال ۲۰۱۵، ۱۲۰ تا ۱۸۸ تن بطری دور ریختنی تولید شد^{۸۸}. قانون مدیریت پسماند در ایران در سال ۱۳۸۳ توسط دولت پیشنهاد و به تصویب مجلس رسید. طبق بند ۱۲ دستورالعمل اجرایی مندرج در این قانون، کلیه تولیدکنندگان و واردکنندگان مواد پلیمری از جمله پلاستیک و لاستیک باید پسماندهای خود را بازیافت کنند^{۸۸}. در غیر این صورت باید ۰/۰۵ درصد ارزش کالاهای تولیدی/وارداتی را به صندوق ویژه ای پرداخت کنند که برای بازیافت زباله‌ها استفاده شود^{۸۸}. همانطور که در تبصره بند ۱۲ دستورالعمل اجرایی آمده است، شرکت‌هایی که مسئولیت خود را نمی‌پذیرند، باید جریمه مالی بپردازند^{۸۸}. در مقابل، شرکت‌هایی که از مواد بازیافتی در فرآیندهای تولید خود استفاده می‌کنند، به همراه تولیدکنندگان/واردکنندگانی که به‌طور داوطلبانه محصولات را در پایان عمر مفید خود دریافت می‌کنند یا محصولات خود را صادر می‌کنند، معافیت دارند^{۸۸}. وزارت بهداشت و آژانس ملی حفاظت محیط زیست مسئول اجرای صحیح این قانون هستند^{۸۸}. اما این قانون به درستی و به طور کامل برای بازیافت زباله‌های پلی اتیلن ترفتالات و بطری‌های آب اجرا نشده است^{۸۸}.

مدیریت پسماند در ایران بر عهده وزارت کشور، شهرداری‌ها و دهیاری‌ها است و سازمان محیط زیست بر این کار نظارت می‌کند. اکنون برای جمع آوری زباله‌های قابل بازیافت مراکزی تعبیه شده اند که میتوان زباله‌های تفکیک شده را به این مراکز تحویل داد^{۸۹}. به علاوه در سطح شهر سطل‌هایی برای تفکیک زباله نیز قرار داده شده تا شهروندان بتوانند زباله‌های خشک از جمله شیشه، پلاستیک و کاغذ را به سطل‌های جداگانه بریزند. اما میزان و فراوانی این سطل‌های تفکیک در سطح شهرها ناچیز است^{۸۹}. البته این روش‌ها اغلب ناکارآمد هستند زیرا اغلب زباله‌های جمع‌آوری شده تفکیک نمی‌شوند و با سایر زباله‌های شهری مخلوط می‌شوند که در نهایت به جای بازیافت دفن می‌شوند^{۸۹}.

اولین گام برای بازیافت، جمع‌آوری زباله است که یا توسط مصرف‌کنندگان در محل باید صورت پذیرد یا پس از آن در مراکز انجام شود^{۹۰}. البته جمع آوری زباله‌های قابل بازیافت توسط مصرف‌کنندگان کم هزینه‌تر خواهد بود و آلودگی زباله را کاهش می‌دهد^{۹۰}.

البته در ایران از ۳ راه این جمع‌آوری صورت می‌گیرد:

الف- جمع آوری از درب منازل بدون پرداخت هزینه

ب- جمع آوری توسط خود شهروندان و ریختن زباله‌ها در سطل‌های مخصوص

ج- مراکز خرید زباله

به نظر میرسد مورد آخر با تشویق اقتصادی شهروندان برای افزایش نرخ بازیافت میتواند موثر باشد. در این روش مبلغی پول یا کالا به ازای هر وزن از زباله خشک که تحویل داده شود در نظر گرفته می‌شود.

۱۴- راهکارهای کاهش مصرف پلاستیک

امروزه با گسترش گفت‌وگوهای مربوط به کاهش مصرف پلاستیک شاهد راهکارها و ابتکاراتی در این زمینه هستیم. درحقیقت هر کدام از افراد در قبال کاهش تولید زباله‌ی پلاستیکی وعدم رها کردن آن در محیط زیست مسئول هستند از آنجایی که یکی از منابع تولید زباله‌های پلاستیکی، کیسه‌های پلاستیکی هستند که در هنگام خرید یا جابه‌جایی اجناس از آن‌ها استفاده می‌شود در زیر به چندین راهکار برای کاهش مصرف آن‌ها اشاره شده است.

۱- تسهیل دسترسی به کیسه‌های قابل استفاده مجدد^{۹۱}

۲- تشویق مصرف کنندگان به آوردن ساک‌های پارچه ای از منزل^{۹۲}.

۳- آموزش فروشگاه‌ها برای استفاده موثر از کیسه‌ها و در نظر گرفتن تخفیف فروشگاه‌ها برای مشتریانی که کیسه‌های پارچه ای خود را به همراه می‌آورند^{۹۴}.

۴- دریافت هزینه یا مالیات اجباری برای کیسه‌های پلاستیکی و اجرای کمپین‌های آموزشی^{۹۵}.

با این حال، توجه کمی به درک و نگرش شهروندان در مورد خطرات پلاستیک و استفاده از جایگزین برای کیسه‌های پلاستیکی شده است^{۹۶}. علیرغم تولید فراوان مواد پلاستیکی، هیچ محدودیت قانونی یا مالیاتی برای استفاده از کیسه‌های پلاستیکی در ایران وجود ندارد^{۹۶}. این کیف‌ها به صورت رایگان توسط فروشگاه‌ها در دسترس عموم قرار می‌گیرند^{۹۶}. امروزه بخشی از پلاستیک‌های تولید شده مربوط به بسته بندی مواد غذایی می‌باشد، برای تولید زباله پلاستیکی کمتر در این زمینه می‌توان:

- از مواد غذایی مانند غلات به صورت باز(غیر بسته بندی) استفاده نمود^{۹۳}.

- استفاده از ظروف غذای شیشه‌ای به جای ظروف یکبار مصرف^{۹۳}

- حذف بسته‌بندی‌های غیرضروری (مانند بسته‌بندی دوگانه)، برچسب‌گذاری، آگاهی، آموزش، و ارائه جایگزین‌های سازگار با محیط زیست برای پلاستیک^{۶۱}

یکی از موارد دیگر که تولید پلاستیک را افزایش می‌دهد، مواد شوینده است. برای این منظور می‌توان به جای استفاده از شوینده‌های مایع در بسته‌بندی پلاستیکی از انواعی استفاده نمود که در بسته‌بندی مقوایی و یا به صورت صابون عرضه می‌شوند^{۹۳}. همچنین میتوان با استفاده از سرکه و دیگر مواد طبیعی شوینده‌های خانگی تولید کرد^{۹۳}. به‌علاوه با راهکارهایی برای کاهش تولید زباله‌های تر، مانند تهیه کمپوست، خشک کردن آن‌ها و یا دفن در خاک میتوان از مصرف کیسه‌های زباله جلوگیری نمود^{۹۳}. همچنین با افزایش تقاضا برای پلاستیک‌های بازیافتی از طریق مزایا، تحریم‌ها یا مالیات بر پلاستیک‌های بکر میتوان شهروندان را تشویق به استفاده کمتر از پلاستیک نمود^{۶۱}.

نتیجه گیری

با بررسی چرخه زندگی پلاستیک مشاهده کردیم که استفاده افسارگسیخته از این کالای محبوب چه اثرات جبران ناپذیری بر تمام جنبه‌های حیات بشری خواهد گذاشت. اساساً پلاستیک‌ها از نظر محیط زیستی، چرخه زندگی پرهزینه‌ای دارند. از منابع فسیلی مورد نیاز برای تولید آن‌ها گرفته تا مسیر تولید و توزیع و در نهایت پایان عمر محصول که همگی بر جنبه‌هایی از محیط زیست و سلامتی تاثیر می‌گذارند. از جمله تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا در مسیر تولید و آلودگی آب‌ها و حاشیه شهرها و در نهایت آسیب به سلامتی انسان و حیات وحش توسط زباله‌های پلاستیکی در پایان عمر آن‌ها. پس چرخه زندگی پلاستیک‌ها باید از طریق یک سیستم مدیریت یکپارچه زباله شامل: کاهش اثرات زیست محیطی آن‌ها و پیروی از سلسله مراتب مدیریت زباله با استفاده از رویکرد چهارگانه (کاهش، استفاده مجدد، بازیافت و بازیابی انرژی) بهبود یابد.

اگر در مرحله تولید پیشرفت‌هایی صورت گیرد، بیشتر زباله‌های پلاستیکی را می‌توان بازیافت کرد و تا حدی جایگزین پلاستیک‌های بکر در محصولات جدید شود. پلاستیک‌هایی که قابل بازیافت نیستند را می‌توان برای تولید اجزای شیمیایی (مواد اولیه) یا تولید انرژی (زباله به انرژی) بازیافت کرد.

این موضوع مستلزم اقدامات کنترلی و قانون‌گذاری توسط دولت‌ها، اقدامات داوطلبانه از سوی صنایع و تغییر در رفتار و فرهنگ مصرف کنندگان است. به نظر می‌رسد این تغییر فرهنگ با آموزش و اقدامات تشویقی از سوی سازمان‌ها برای کاهش استفاده از مواد پلاستیکی امکانپذیر باشد. در این تحقیق چند نمونه از راهکارها ارائه شده‌است.

توضیحات واژگان

۱- اختلال متابولیک: اختلالات متابولیکی بیماری‌های ژنتیکی هستند که منجر به مشکلات متابولیسمی می‌شوند. افراد مبتلا به اختلالات متابولیکی ارثی ژن معیوبی دارند که منجر به کمبود آنزیم می‌شود. برای مثال دیابت شایع‌ترین بیماری متابولیکی است.

۲- استرس اکسید کننده: Oxidative stress عدم تعادل بین رادیکال‌های آزاد و آنتی اکسیدان‌ها در بدن است.

۳- استروژن: Estrogen یکی از دو هورمون جنسی زنان است. استروژن مسئول ایجاد صفات فیزیکی زنانه و تولید مثل می‌باشد. مردان نیز این هورمون را در مقادیر کمتری دارند.

۴- اکوسیستم: Ecosystem یا زیست بوم مجموعه‌ای از ارگانسیم‌های زنده و عوامل غیرزنده هستند که با هم در یک محیط معین تعامل دارند.

۵- الاستومرها: Elastomer یا پلیمر الاستیک به پلیمرهای الاستیک یا شبه پلاستیک گفته می‌شود که خاصیت ارتجاعی دارند. قابلیت ارتجاعی باعث می‌شود که در صورت اعمال نیرو، تغییر شکل الاستیک از خود نشان دهند. همچنین با حذف نیرو پس از کشیده یا فشرده شدن، با گذشت زمان کوتاهی دوباره به حالت اولیه خود بر می‌گردند. به بیان دیگر، الاستومر یک پلیمر مهندسی شده است که خاصیت الاستیسیته دارد.

۶- آفت‌کش‌های کلردار: این آفت‌کش‌ها به نام هیدروکربن‌های هالوژنه نیز نامیده می‌شوند؛ آن‌ها در ساختمان خود حاوی کربن، هیدروژن و کلر و احیاناً اکسیژن می‌باشند. مهمترین ویژگی آنها تجمع پذیری در محیط بوده و بر سیستم اعصاب مرکزی حشرات تاثیر می‌گذارند.

- ۷- بی فنیل پلی کلرین : Polychlorinated biphenyl (PCB) یک ترکیب شیمیایی است که از ترکیب کلر (chlorine) با بی فنیل (biphenyl) بوجود می آید. یک ترکیب عادی از بی فنیل پلی کلرین ها می تواند شامل ۱۰۰ نوع ماده باشد و عموماً مایعی بیرنگ و چسبناک است. بی فنیل پلی کلرین ها در آب حل نمی شوند، در دمای بالا پایدار هستند و یک نارسای خوب به شمار می روند. با توجه به خواصی که ذکر شد، بی فنیل پلی کلرین ها به طور گسترده در روان کننده ها، مایعات، عایق ها و همچنین مایع عایق مقاوم در برابر حرارت در ترانسفورماتورها و خازن ها استفاده می شد.
- ۸- بیسفنول آ: Bisphenol A که به اختصار BPA نامیده می شود؛ یک ترکیب مصنوعی آلی با فرمول شیمیایی $(CH_3)_2C(C_6H_4OH)_2$ است که برای ساخت پلاستیک پلی کربنات استفاده می شود.
- ۹- پلی الفین: Polyolefin (POF) یکی از بزرگترین و پرکاربردترین ترموپلاستیک ها در صنعت می باشند که به واسطه خواص فیزیکی و شیمیایی از قبیل وزن سبک، مقاومت مطلوب در برابر محیط های اسیدی، بازی و خورنده مورد توجه قرار گرفته است و باعث شده مقدار تولید این ماده پلیمری از تمام مواد پلیمری دیگر بیشتر باشد. معروفترین پلی الفین ها پلی اتیلن و پلی پروپیلن هستند.
- ۱۰- پلی کربنات: Polycarbonate از خانواده پلیمرهای ترموپلاستیک است؛ و به گستردگی در زمینه های قالب سازی و تغییرات حرارتی کاربرد دارد. این نوع پلاستیک ها به گستردگی در صنایع شیمیایی نوین کاربرد دارند.
- ۱۱- پلیمر: Polymer یک درشت مولکول است که از تعدادی واحد کوچکتر به نام مونومر تشکیل شده است که به صورت زنجیره ای به هم متصل می شوند.
- ۱۲- ترموپلاست: مواد پلیمر مصنوعی است که از به هم وصل شدن زنجیره های پلیمری، به دست آمده از نفت، ساخته می شوند. این ماده پلیمری هنگام حرارت دیدن، بدون اینکه در ساختار شیمیایی آنها تغییر به وجود آید، به راحتی ذوب میشود.
- ۱۳- ترموپلاستیک: نوعی پلاستیک است که از زربین های پلیمری تشکیل شده است و هنگام گرم شدن به یک ماده نرم تبدیل می شود و هنگام سرد شدن، سخت می شود. پلیمر ترموپلاستیک خیلی راحت بازیافت می شود و هرچقدر هم که سرد و گرم شود، بازهم خاصیت شیمیایی خود را از دست نمی دهد.
- ۱۴- ترموست: گرماسخت یا Thermoset ویژگی نوعی پلاستیک است که در نتیجه گرما دیدن ترکیب شیمیایی و شکل ظاهری آن تغییر می کند.
- ۱۵- تستسترون: testosterone یکی از هورمون های اصلی بدن است که در مردان توسط بیضه ها و در زنان توسط تخمدان ها تولید می شود. که به آن هورمون جنسی اولیه مردانه نیز میگویند. تستسترون بر روی ویژگی های جنسی مردان، رشد ماهیچه ها و موی بدن تاثیر دارد. همچنین وجود تستوسترون در تولید اسپرم در مردان و تخمک گذاری در زنان نیز ضروری است.
- ۱۶- تولید ناخالص داخلی: Gross Domestic product که به اختصار GDP نیز نامیده میشود؛ که عبارت است از ارزش بازاری (ارزش پولی) تمامی کالاها و خدمات نهایی تولید شده در داخل مرزهای یک کشور طی دوره زمانی خاص.
- ۱۷- دی اکسین: Dioxins گروهی از ترکیبات شیمیایی سمی بوده که تقریباً در همه جای دنیا وجود دارند. این مواد شیمیایی و سمی برای بدن مضر محسوب می شوند. آنها باعث ایجاد عوارض و مشکلاتی در تولید مثل، رشد و سیستم ایمنی می شوند. دیوکسین ها نوعی آلاینده آلی دیرپا (POP) بوده به همین دلیل در محیط باقی می ماند.
- ۱۸- دی کلرودی فنیل تری کلرو اتان: این ترکیب معمولاً با نام DDT شناخته می شود، یک ترکیب شیمیایی کریستالی بی رنگ،

- بی مزه و تقریباً بدون بو و یک ارگانوکلر است. این ماده در اصل به عنوان یک حشره کش تولید می شد.
- ۱۹- رزین پلیمری: **Polymetic Resins** رزین ها ترکیبات آلی مصنوعی و یا طبیعی می باشند که ویسکوزیته بالایی دارند. معمولاً در الکل قابل حل هستند اما در آب حل نمی شوند. رزین طبیعی از گیاهان بدست می آید. در اکثر موارد پلیمرها با رزین های مصنوعی ساخته می شوند.
- ۲۰- رزین های اپوکسی: **Epoxy Resin** رزین اپوکسی یک ماده شیمیایی متشکل از دو جزء رزین و سخت کننده (**Hardner**) است. این دو جزء دارای مشخصات و نقش های متفاوتی هستند. برای اینکه رزین بتواند در معرض هوا خشک شود قطعاً به حضور سخت کننده نیاز دارد.
- ۲۱- سنتز: **Synthesis** برای انجام یک یا چند واکنش شیمیایی منظور تولید یک یا چند فرآورده استفاده می شود.
- ۲۲- سوخت فسیلی: **Fossil fuel** از باقی مانده گیاهان و حیوانات ریزی که میلیون ها سال پیش زندگی کرده و مرده اند ساخته شده است. اصلی ترین نوع سوخت های فسیلی عبارتند از: زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی.
- ۲۳- فتالات: فتالات ها گروهی از مواد شیمیایی هستند که برای انعطاف پذیری پلاستیک و شکستن آن استفاده می شوند. آن ها اغلب نرم کننده نامیده می شوند.
- ۲۴- فوران: **Furan** از نظر شیمیایی یک ترکیب اتری حلقوی است. این ماده از نظر آزمایشگاهی ترکیبی فرار، اشتعال پذیر، شفاف، بدون رنگ و نامحلول در آب است. فوران معمولاً به عنوان ماده ی شیمیایی حد واسط در تولید ترکیباتی همچون رزین، لاک، ضد آفت ها و داروها مورد استفاده قرار می گیرد. مطالعات حیوانی بیانگر تاثیرات سرطان زایی این ترکیب، خصوصاً در کبد است. تا جایی که آژانس بین المللی تحقیقات سرطان (**IARC**) این ترکیب را در دسته ی کارسینوژن های بالقوه (مواد سرطان زا) برای انسان طبقه بندی کرده است.
- ۲۵- فولیکول: فولیکول ها کیسه های کوچکی از مایع و حاوی تخمک های نابالغ هستند که در لایه بیرونی تخمدان ها یافت می شوند. وقتی زمان مناسب فرامی رسد و فولیکول به سایز مناسب می رسد، فولیکول پاره می شود و تخمک بالغی را رها می کند که آماده بارور شدن است.
- ۲۶- کامپوزیت: **Composit** کامپوزیت متشکل از دو یا چند ماده با خواص فیزیکی و شیمیایی نسبتاً متفاوت است که برای دستیابی به هدف مشخصی مانند افزایش استحکام، درخشش یا مقاومت در برابر الکتریسیته، با یکدیگر ترکیب می شوند.
- ۲۷- کمپوست: از واژه لاتین **Compositus** گرفته شده است. کمپوست کردن، عمل پوساندن و تجزیه بقایای گیاهی، حیوانی یا زباله های شهری است که تحت شرایط خاص و روش های گوناگون انجام می گیرد.
- ۲۸- گازهای گلخانه: **Greenhouse gas** شامل دی اکسید کربن، دی نیتروژن اکسید (گاز خنده)، متان، بخار آب و ازن هستند.
- ۲۹- گرمایش جهانی: **Global warming** پدیده ای است که منجر به افزایش میانگین دمای زمین و سطح اقیانوس ها شده است.
- ۳۰- متابولیت: **Metabolite** در علم بیوشیمی مواد شرکت کننده در متابولیسم یا سوخت و ساز سلولی را متابولیت می نامند. در واقع متابولیت ها ترکیبات واسطه یا محصول سوخت و ساز سلول زنده هستند و معمولاً اشاره به مولکول های کوچک شرکت کننده در سوخت و ساز سلولی دارد.
- ۳۱- مونومر: **Monomer** یا تک پار نوعی مولکول است که واحد اصلی پلیمرها را تشکیل می دهد. مونومرها از طریق فرایندی که با عنوان پلیمریزاسیون شناخته می شود، به سایر مونومرها متصل می شوند و مولکول هایی با زنجیره های تکراری را تشکیل

می‌دهند.

۳۲- میکروپلاستیک‌ها: **Microplastics** میکروپلاستیک‌ها قطعات کوچک پلاستیک با کمتر از ۵ میلی متر طول می‌باشند که وجود آن‌ها در اقیانوس‌ها می‌تواند برای زندگی آبزیان مضر واقع شود.

۳۳- نکروز: Necrosis یا بافت مردگی مجموعه‌ای از سلول‌ها و بافت‌های مرده در یک نقطه از بدن است. یک عامل خارجی مانند التهاب، سم باکتری یا یک تروما می‌تواند منجر به نکروز گردد.

۳۴- هالوژن: هالوژن‌ها دسته‌ای از عناصر شیمیایی فعال هستند و می‌توانند با فلزات ترکیب شده و نمک تشکیل دهند. نقطه ذوب و جوش آن‌ها با افزایش عدد اتمی افزایش می‌یابد. در شرایط استاندارد، فلوئور و کلر گاز، برم مایع و ید جامد هستند.

۳۵- هوازدگی: عبارت است از تجزیه سنگ‌ها، خاک و مواد معدنی و همچنین چوب و مواد مصنوعی از طریق تماس با جو زمین، آب و موجودات بیولوژیکی زمین.

۳۶- Ploycyclic Aromatic: هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای که به اختصار PAH نامیده می‌شوند؛ گروه بزرگی از ترکیبات آلی دار و تا هفت حلقه بنزنی می‌باشد. این هیدروکربن‌ها گروه وسیعی از آلاینده‌های زیست محیطی می‌باشند که ناشی از احتراق ناقص مواد آلی نظیر سوخت‌های فسیلی هستند. برخی از آن‌ها دارای خاصیت سرطان‌زایی و جهش‌زایی هستند و خطر جدی برای سلامتی دارند. بدین علت نگرانی در رابطه با وجود آن‌ها در هوای آزاد رو به افزایش است.

۳۷- هیدروکربن‌های فسیلی: به ترکیبات کربن و هیدروژن، هیدروکربن می‌گویند. هیدروکربن‌ها سازنده اصلی سوخت‌های فسیلی هستند؛ به همین دلیل به آن‌ها هیدروکربن‌های فسیلی نیز می‌گویند.

اصطلاحات

۱- اتیلن: Ethylene

۲- ازن: Ozone (O₃)

۳- اکسیدنیتروژن: NO₂

۴- پلی تترافلوئورو اتیلن: Polytetrafluoroethylene (PTFE)

۵- پروپیلن: Propene

۶- پلی اتیلن: Polyethylene (PE)

۷- پلی اتیلن با چگالی بالا: High-Density Polyethylene (HDPE)

۸- پلی اتیلن با چگالی بالا: High-Density Polyethylene (HDPE)

۹- پلی اتیلن ترفتالات: Polyethylene terephthalate (PET)

۱۰- پلی استایرن: Polystyrene (PS)

۱۱- پلی پروپیلن: Polypropylene (PP)

۱۲- پلی وینیل کلراید: Polyvinyl chloride (PVC)

۱۳- دی (۲- اتیل هگزیل) فتالات: DI(2-ETHYLHEXYL) PHTHALATE (DEHP)

۱۴- دی بوتیل فتالات: Dibutyl phthalate (DBP)

۱۵- کربن دی اکسید: CO_2

۱۶- کلروفلئوروکربن: Chlorofluorocarbons (CFC)

۱۷- متان : Methane (CH_4)

- 1- [Muhammad Tamoor](#), Nadia A. Samak, Maohua Yang, "The Cradle-to-Cradle Life Cycle Assessment of Polyethylene terephthalate: Environmental Perspective" volume 27,5.(2022): doi: [10.3390/molecules27051599](https://doi.org/10.3390/molecules27051599)
- 2-Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. Production, "use, and fate of all plastics ever made" 3:e1700782 (2017). doi: 10.1126/sciadv.1700782.
- 3-Spierling S., Röttger C., Venkatachalam V., Mudersbach M., Herrmann C., Endres H.-J. "Bio-based Plastics—A Building Block for the Circular Economy?".69. (2018):573–578. doi: 10.1016/j.procir.2017.11.017.
- 4- Walker S., Rothman R. "Life cycle assessment of bio-based and fossil-based plastic: A review. J. Clean." 261.(2020):121158. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121158.
- 5- Thompson R.C., Moore C.J., vom Saal F.S., Swan S.H." Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends". Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.364:2153–2166.(2009) doi: 10.1098/rstb.2009.0053
- 6-"Why we all should use less plastics" write by Nature Blog. (August 2020).<https://naturbag.com/use-less-plastic>
- 7- Richard C Thompson et al. "Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends" Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 364 (1526): 2153–2166. (Jul 2009)[10.1098/rstb.2009.0053](https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053)
- 8- Jambeck J. R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T. R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K. L., "**Plastic waste inputs from land into the ocean**". Science347, 768–771 (2015)
- 9- Hoornweg D., Bhada-Tata P., Kennedy C.," **Environment: Waste production must peak this century**". Nature502, 615–617 (2013).
- 10- Data published by Our World in Data based on Geyer et al. (2017) and OECD, available here: (ourworldindata.org/plastic-pollution). Data from 1950 to 2015 is taken directly from the work of Geyer et al. (2017), published in the journal Science Advances. <http://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782.full>. The data point for 2019 comes from the work of the OECD Global Plastics Outlook (available here: <https://doi.org/10.1787/efff24eb-en>).
- Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. Production, "use, and fate of all plastics ever made"–11-12-[Tessa Di Grandi](#)," The Construction Industry's Growing Waste Problem"(2022).
- 13- Siddique R., Khatib J., Kaur I. "Use of recycled plastic in concrete: A review. Waste Management."28:1835–1852. (2008).
- 14-Crawford, R.J., Martin, P.J., "Plastics Engineering", Oxford: Butterworth-Heinemann. (2020).
- 15- Fisher, M., Kingsbury, T., Headley, L.," Sustainable electrical and electronic plastics recycling. In: Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment", (2004): 292–297. doi: 10.1109/ISEE.2004.1299732.

- 16-Allcock Harry R.; Lampe Frederick W.; Mark James E, "Contemporary Polymer Chemistry 3 ed", (2003): p. 21. [ISBN 978-0-13-065056-6](#)
- 17-wkmounts," [Plastics vs. Polymers: What's the Difference?](#)" , (16 Jan, 2020). Available in: (<https://omicoplastics.com/blog/plastics-polymers-difference>)
- 18-Ganga P. Karmakar." Regeneration and Recovery of Plastics".(2022):634- 651. [10.1016/B978-0-12-820352-1.00045-6](#)
- Production, use, and fate of all plastics ever " 19-Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. . *Science Advances*, 3(7), e1700782.(2017). Available "made at: <http://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>.
- 20-Jason Hill, "Life Cycle Analysis of Biofuels" University of Minnesota, St Paul, MN, USA.(2013):627-630. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00365-8>
- 21- M.L. Brusseau, [Environmental and Pollution Science, Third Edition](#).(ACADEMIC PRESS, 2019):585-603.
- 22-M. Ashby et al. "Embodied energy and carbon"(2017).
- 23-Grady C, Younos T, "Bottled water technology and its global ramifications: an overview. Int Water Technol J."2:185–94.(2012).
- 24- Venieri D, Vantarakis A, Komninou G, Papapetropoulou M. "Microbiological evaluation of bottled non-carbonated ("still") water from domestic brands in Greece". Int J Food Microbiol. 107(1):68–72. (2006). doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2005.08.013
- Water and wastewater industries: characteristics and energy management "25-Burton F. "opportunities (Burton Engineering). Los Altos, CA: Electric Power Research Institute Report ,(1996).
- 26- Amzan Alsabri, Sami G, Al-Ghamdi, "**Carbon footprint and embodied energy of PVC, PE, and PP piping: Perspective on environmental performance**"[Volume 6,8](#).(2020):364-370. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.173>
- 27- Kamal A., Al-Ghamdi S.G., Koç M. "Role of energy efficiency policies on energy consumption and CO2 emissions for building stock in Qatar"Prod (2019)
- 28- Camaratta R., Volkmer T.M., Osorio A.G."Embodied energy in beverage packaging" J Environ Manage (2020): <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110172>
- 29- Al-Nuaimi S., Banawi A.A.A., Al-Ghamdi S.G." Environmental and economic life cycle analysis of primary construction materials sourcing under geopolitical uncertainties: A case study of Qatar"Sustain, 11 (2019): p. 6000. <https://doi.org/10.3390/su11216000>
- 30- Narita N., Sagisaka M., Inaba A." Life cycle inventory analysis of CO2 emissions: Manufacturing commodity plastics in Japan"Int J Life Cycle Assess (2002). <https://doi.org/10.1007/BF02978888>
- 31- Chen L. R.E.O., Smith T.M."Comparative life cycle assessment of fossil and bio-basedpolyethylene terephthalate (PET) bottles" J Clean Prod (2016). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.094>

- 32-Andrady A. L., Neal M. A, "Applications and societal benefits of plastics", (2009)
:doi:10.1098/rstb.2008.0304
- 33-Koch H. M., Calafat A. M. "Human body burdens of chemicals used in plastic manufacture",
Phil. Trans. R. Soc. B364, 2063–2078. (2009): doi:10.1098/rstb.2008.0208
- 34-vom Saal F. S. "Low-dose BPA: confirmed by extensive literature", Chem. Ind.7, 14–
15.(2005).
- 35-Richard C. Thompson et al," Plastics, the environment and human health: current consensus
and future trends" 364(1526): 2153–2166. (2009):doi:10.1098/rstb.2009.0053
- 36-Mato Yet al, "Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine
environment", Environ. Sci. Technol.35, 318–324.(2001): doi:10.1021/es0010498
- 37-Oehlmann J., et al. " A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife."
Phil. Trans. R. Soc. B364, 2047–2062. (2009): doi:10.1098/rstb.2008.0242
- 38- Rudel R. A, et al. "Identification of selected hormonally active agents and animal mammary
carcinogens in commercial and residential air and dust samples", Assoc.51, 499–513 .(2008).
- 39-Wormuth M., et al, "What are the sources of exposure to eight frequently used phthalic acid
esters in Europeans?" Risk Anal.26, 803–824.(2006): doi:10.1111/j.1539-6924.2006.00770.x
- 40- Law, K. L. " Plastics in the marine environment. *Annual review of marine science*",(2017). 9,
205-229. Available at: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-marine-010816-060409>
- 41-Kühn, S., Rebolledo, E. L. B., van Franeker, J. A. "Deleterious effects of litter on marine life.
In *Marine Anthropogenic Litter* "(2015): 75-116. Available at:
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3_4
- 42- Gall, S. C.,Thompson,, R. C. "The impact of debris on marine life. *Marine pollution
bulletin*, "92(1-2),(2015): 170-179. Available
at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14008571>
- 43- de Stephanis R, Gimenez J, Carpinelli E, Gutierrez-Exposito C, Canadas A. " As main meal for
sperm whales: plastics debris. *Marine Pollution Bulletin*" 69:206–14. (2013).
Ingestion of plastic pollutants by marine birds. In "44- Day RH, Wehle DHS, Coleman FC.
November 6, 27–29"Proceedings of the Workshop on the Fate and Impact of Marine Debris
(1984
- Single and combined effects of "45- Oliveira M, Ribeiro A, Hylland K, Guilhermino L.
"microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby *Pomatoschistus microps*
(Teleostei, Gobiidae). *Ecological Indicators* 34:641–47. (2013).
- 46-Swift G., Wiles D. "Degradable polymers and plastics in landfill sites. *Encyclopedia Polym.*"
Sci. Technol.9, 40–5.(2004)
- 47-Barnes D. K. A., Galgani F., Thompson R. C., Barlaz M. "Accumulation and fragmentation of
plastic debris in global environments", Phil. Trans. R. Soc. B364, 1985–1998.(2009):

- [doi:10.1098/rstb.2008.0205](https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205)
- 48-Hopewell J., Dvorak R., Kosior E. "Plastics recycling: challenges and opportunities", Phil. Trans. R. Soc. B364, 2115–2126.(2009): [doi:10.1098/rstb.2008.0311](https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311)
- 49-Goodship, V, "Introduction to Plastics Recycling. Shrewsbury, Shropshire: Smithers Rapra Technolo Limited Shawbury". (2007).
- 50- Teuten E. L., et al, "Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife", Phil. Trans. R. Soc. B364, 2027–2045. (2009): [doi:10.1098/rstb.2008.0284](https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284)
- 51-Gilpin R., Wagel D., Solch J. "Production, distribution, and fate of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and related organohalogenes in the environment" (2003).
- 52-Jefferson Hopewell, Robert Dvorak, and Edward Kosior, "Plastics recycling: challenges and opportunities", 364(1526): 2115–2126.(2009):[10.1098/rstb.2008.0311](https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311)
- 53-Arvanitoyannis I., Bosnea L."Recycling of polymeric materials used for food packaging: current status and perspectives.Food Rev", Int.17, 291–346.(2001): [doi:10.1081/FRI-100104703](https://doi.org/10.1081/FRI-100104703)
- 54-WBCSD 2000Eco-efficiency: creating more value with less impact. See <http://www.wbcsd.org/includes/getTarget.asp?type=d&id=ODkwMQ> (1 November 2008).
- 55-[Neeti Rustagi](#), [S. K. Pradhan](#),¹ and [Ritesh Singh](#)." Public health impact of plastics: An overview" 15(3): 100–103.(2011):doi: [10.4103/0019-5278.93198](https://doi.org/10.4103/0019-5278.93198)
- 56-Al-Salem S.M., Lettieri P., Baeyens J. "Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. Waste Management"; 29:2625–2643. (2009)
- 57-Ganga P. Karmakar." Regeneration and Recovery of Plastics" 634–651.(2022): [10.1016/B978-0-12-820352-1.00045-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820352-1.00045-6)
- 58-Ragaert K., Delva L., Geem K.V. "Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. .Waste Management", 69:24–58. (2017)
- 59- Kaminsky W. "Chemical recycling of mixed plastics by pyrolysis. Advances in Polymer Technology", 14(4):337–344.(1995).
- 60- Shen L., Worrell E., Patel M.K., "Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling", 55:34–52.(2010).
- 61- Joana C. Prata et al, "Solutions and Integrated Strategies for the Control and Mitigation of Plastic and Microplastic Pollution" Int J Environ Res Public Health. 16(13): 2411. (2019).doi: [10.3390/ijerph16132411](https://doi.org/10.3390/ijerph16132411)
- 62-Author not found, "Economic, Social, And Environmental Sustainability Areas", (2021) available at: <http://www.thesocialripples.com/blog/sustainability/economic-social-and-environmental-sustainability-areas>
- 63- World Commission on Environment and Development ,Oxford University Press, Oxford, (1987): p. 27.
- 64- Griggs, D et al, " Sustainable development goals for people and planet", Nature, 495(7441). (2013): 305-307.
- 65- Harris JM, "Basic principles of sustainable development", Island Press, Washington DC,

- (2001).
- 66- available at: <https://ourworldindata.org/world-population-growth>
- 68- available at: ourworldindata.org/urbanization
- 68- “UN Sustainable Development” available at: <https://iran.un.org/en/sdgs/11>
- 69-available at: ourworldindata.org/fossil-fuels
- ourworldindata.org/renewable-energy: 70-available at
- 71-“UN Sustainable Development”, available at: <https://iran.un.org/en/sdgs/7>
- 72- Jambeck et al, “Plastic waste inputs from land into the ocean”. *Science*, 347(6223), (2015):768-771.
- 73- Ospina Ortiz-Ospina , Max Roser, Available at: ourworldindata.org/government-spending
- 74- Mauro, P., Romeu, R., Binder, A., Zaman, A. , “A modern history of fiscal prudence and profligacy. *Journal of Monetary Economics*”, 76, (2015): 55-70.
- 75- available at: <https://ourworldindata.org/government-spending#total-government-spending>
- 76- world Development Indicators- World Bank, “Demographic and Health Surveys, Multiple Indicator Cluster Surveys, Household surveys, UN Population Division”, (2022.05.26).
- 77- The reports of the Research Center of the Islamic Council, “the situation of the production of disposable containers and the management of waste resulting from them”, news number: 884502, publication date: 02/19/2013
- 78- Collins H, Wright A. “Still sparkling the phenomenon of bottled water—an Irish context”, 2(1). (2014):15–31.
- Survey on the quality of mineral bottled waters in Kerman city in "80-Loloei M, Zolala F. , J Rafsanjan Univ Med Sci ,10(3). (2011):183-92."2009
- Tehran, "Bottled Water, Yes or No?"81-Aghae M, Momeniha F, Borji SH, Mahvi A. Tehran University of Medical Sciences, (2015): 10.
- 82-Laville S, Taylor M. A Million, “Bottles a Minute: World’s Plastic Binge ‘as Dangerous as Climate Change” , *The Guardian*, (2017). Available from: <https://www.theguardian.com/environment/2017/jun/28/a-million-a-minute-worlds-plastic-bottle-binge-as-dangerous-as-climate-change>.
- 83-Hassan Asalani etal, “Tendencies towards bottled drinking water consumption: Challenges ahead of polyethylene terephthalate (PET) waste management” 11(1). (2021): 60–68. doi: [10.34172/hpp.2021.09](https://doi.org/10.34172/hpp.2021.09)
- Conscious consumption: A study on plastic bags’ "84-Avallone IV, Giraldi JM, de Oliveira SV. , *Int J Psychol Stud*, 4. (2012):122."consumers in Brazil
- 85-Gupta K, Somanathan R. “Consumer Responses to Incentives to Reduce Plastic Bag Use: Evidence from a Field Experiment in Urban India: South Asian Network for Development and Environmental Economics.” , (2011)
- 86-Environmental Protection Organization report, "Daily production of about 490 tons of plastic bags in the country" news code: 3c35e95, news date: 3/4/1401
- 87- Available at: <https://financialtribune.com/node/47501>, August 13, 2016

- E-waste management challenges in Iran: presenting some strategies for "88-Taghipour H et al. , Waste Manag Res, 30(11).(2012) :1138–44. "improvement of current conditions. doi: 10.1177/0734242x11420328.
- 89-Hassan Asalani etal, "Tendencies towards bottled drinking water consumption: Challenges ahead of polyethylene terephthalate (PET) waste management" ,11(1).(2021): 60–68. doi: **10.34172/hpp.2021.09**
- 90-** Bing X., Bloemhof-Ruwaard J.M., van der Vorst J.G.A.J. "Sustainable reverse logistics network design for household plastic waste.", Flex. Serv. Manuf. J, 26.(2014):119–142. doi: 10.1007/s10696-012-9149-0.
- 91-Macur BM, Pudlowski ZJ. "Plastic bags – A hazard for the environment and a challenge for contemporary engineering educators.", World Trans Eng Technol Educ, 7.(2009):122–6.
- 92-Larsen J, Venkova S. "The Downfall of the Plastic Bag: A Global Picture." Earth Policy Institute. (2014).
- 93- Margaret Badore." 11 Easy Ways to Reduce Your Plastic Waste Today" (2021). Available at: <https://www.treehugger.com/easy-ways-reduce-your-plastic-waste-today-4858814>
- 94-Adam A, Caroline k, Kemen A, Drew D. "Plastic Bag Externalities and Policy in Rhode Island." .Brown Policy Review Paper. (2006)
- 95-Musa HM etal, "Measures aimed at reducing plastic"
- 96- Fatemeh Akhtari Aghdam atal, "Personal, Social, and Environmental Factors Associated with the Behavior of Plastic Bag Use among Urban Residents: A Study with Socioecological Approach" Int J Prev Med, 10.(2019): 160. 2019. doi: [10.4103/ijpvm.IJPVM_341_17](https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_341_17)