

# پلاستیک ها و محیط زیست

نویسنده:

مهندس فرزاد مهرجو

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# پلاستیک‌ها و محیط زیست



نویسنده:

**مهندس فرزاد مهرجو**

فارغ التحصیل رشته مهندسی منابع طبیعی - محیط زیست، گرایش آلودگی‌های  
محیط زیست

دانشگاه شهید بهشتی تهران - پژوهشکده علوم محیطی - گروه آلودگی‌های محیط  
زیست

|                     |                                 |
|---------------------|---------------------------------|
| سرشناسه             | : مهرجو، فرزاد، ۱۳۶۸-           |
| عنوان و نام پدیدآور | : پلاستیک‌ها و محیط‌زیست        |
| مشخصات نشر          | : گرگان: انتشارات نوروزی، ۱۳۹۴. |
| مشخصات ظاهری        | : ز، ۸۰ ص.                      |
| شابک                | : ۹۷۸-۶۰۰-۳۶۴-۲۹۱-۱             |
| وضعیت فهرست نویسی   | : فیپای مختصر                   |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۳۸۷۰۵۸۲                       |

### پلاستیک‌ها و محیط‌زیست

نویسنده: فرزاد مهرجو

نوبت چاپ: اول-۱۳۹۴

مشخصات ظاهری: ۸۰ ص

قطع: وزیری

شمارگان: ۱۰۰۰

شماره شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۳۶۴-۲۹۱-۱

چاپ و نشر: نوروزی-۰۱۷۳۲۲۴۲۲۵۸

قیمت: ۸۰۰۰ تومان

کلیه حقوق © برای بازنویس و تدوین‌کننده نهایی محفوظ است.



نشانی: گلستان، گرگان، خیابان شهید بهشتی، بازار رضا(ع)، ۰۱۷-۳۲۲۴۲۲۵۸  
 دورنگار: ۰۱۷-۳۲۲۲۰۰۴۷ آدرس الکترونیکی: Entesharate.noruzi@gmail.com  
 سایت انتشارات: www.Entesharate-noruzi.com

تقدیم ہے

ہمہ طبیعت دوستان و دوستداران محیط زیست

## پیشگفتار

سپاس بسیار خداوند بزرگ و متعال که توفیق نگارش این کتاب را به من عطا فرمود. هدف از نوشتن کتاب "پلاستیک‌ها و محیط‌زیست"، ارائه کاربردهای انواع پلاستیک‌ها، اثرات آن‌ها بر محیط‌زیست و انسان و همچنین مدیریت پسماند آن‌ها در محیط‌زیست می‌باشد. مخاطبین این کتاب دانشجویان و فارغ‌التحصیلان رشته‌هایی از جمله محیط‌زیست، مهندسی مواد، مهندسی شیمی، مهندسی پلیمر و رشته‌های مختلف منابع طبیعی و همچنین کلیه کسانی که در زمینه تولید انواع پلاستیک‌ها مشغول هستند، می‌باشد. امروزه پلاستیک‌ها به واسطه ویژگی‌هایی که دارند کاربرد بسیار زیادی در زندگی روزمره ما پیدا کرده‌اند. لذا می‌توانند پسماندهایی را از خود در محیط‌زیست به جای بگذارند که سالیان طولانی در محیط‌زیست باقی بمانند و تجزیه نشوند. این پسماندها اثرات مخربی را بر محیط‌زیست و سلامت انسان می‌توانند داشته باشند. پس ما باید به فکر روش‌هایی برای مدیریت و کاهش این پسماندها باشیم. این کتاب در سه فصل نگارش شد. در فصل اول به بررسی انواع پلاستیک‌ها از لحاظ طبقه‌بندی، خصوصیات و کاربرد آن‌ها پرداخته شد. در فصل دوم بررسی اثراتی که انواع پلاستیک‌ها می‌توانند در محیط‌زیست از خود به جای بگذارند و همچنین تاثیر آن‌ها بر سلامتی انسان شرح داده شد. در فصل سوم به بررسی مدیریت پسماند پلاستیک‌ها و ارائه روش‌هایی برای مدیریت آن‌ها در محیط‌زیست اشاره شد.

بدون شک این کتاب خالی از عیب نمی‌باشد. لذا خالصانه از تمامی صاحب‌نظران در این زمینه به ویژه استادان، محققان، دانشجویان و کلیه کسانی که تجربه‌ای در این زمینه دارند اذعان می‌دارم که هر گونه انتقادی را پذیرا هستم و خواستار راهنمایی‌های شما بزرگواران می‌باشم.

مهندس فرزاد مهرجو

تابستان ۱۳۹۴

## فهرست مطالب

صفحه

عناوین

### فصل اول: انواع پلاستیک‌ها و کاربرد آن‌ها

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| ۱-۱- مقدمه .....                               | ۱  |
| ۱-۲- اجزاء سازنده پلاستیک‌ها .....             | ۲  |
| ۱-۳- طبقه‌بندی پلاستیک‌ها .....                | ۲  |
| ۱-۳-۱- ترموپلاست‌ها .....                      | ۳  |
| ۱-۳-۱-۱- اکریلونیتریل بوتادین استایرن .....    | ۳  |
| ۱-۳-۱-۲- نایلون (پلی‌آمید) .....               | ۴  |
| ۱-۳-۱-۳- پلی‌اتر اتر کتون .....                | ۵  |
| ۱-۳-۱-۴- پلی‌اتیلن .....                       | ۵  |
| ۱-۳-۱-۵- پلی‌اتیلن ترفتالات .....              | ۶  |
| ۱-۳-۱-۶- پلی‌وینیل کلراید .....                | ۷  |
| ۱-۳-۱-۷- پلی‌استایرن .....                     | ۸  |
| ۱-۳-۱-۸- پلی‌پروپیلن .....                     | ۸  |
| ۱-۳-۱-۹- پلی‌بوتیلن ترفتالات .....             | ۹  |
| ۱-۳-۱-۱۰- پلی‌وینیل استات .....                | ۹  |
| ۱-۳-۱-۱۱- پلی‌استال (پلی‌اکسی متیلن) .....     | ۱۰ |
| ۱-۳-۱-۱۲- سلولز استات .....                    | ۱۱ |
| ۱-۳-۱-۱۳- پلی‌لاکتیک اسید .....                | ۱۲ |
| ۱-۳-۱-۱۴- پلی‌تترا فلوئورو اتیلن (تفلون) ..... | ۱۳ |
| ۱-۳-۱-۱۵- پلی‌متیل متاکریلات .....             | ۱۴ |
| ۱-۳-۱-۱۶- پلی‌وینیل الکل .....                 | ۱۴ |
| ۱-۳-۱-۱۷- پلی‌وینیلیدین کلراید .....           | ۱۵ |
| ۱-۳-۱-۱۸- پلی‌وینیل بوتیرال .....              | ۱۶ |
| ۱-۳-۱-۱۹- اتیلن وینیل الکل .....               | ۱۷ |
| ۱-۳-۱-۲۰- اتیلن وینیل استات .....              | ۱۸ |
| ۱-۳-۱-۲۱- پلی‌کربنات‌ها .....                  | ۱۸ |

|         |                                 |
|---------|---------------------------------|
| ۱۹..... | ۲-۳-۱- ترموست‌ها.....           |
| ۲۰..... | ۱-۳-۲-۱- پلی‌استرها.....        |
| ۲۰..... | ۲-۳-۲-۱- اپوکسی‌ها.....         |
| ۲۱..... | ۳-۲-۱- رزین‌های فرمالدئیدی..... |
| ۲۱..... | ۴-۳-۲-۱- پلی‌اورتان‌ها.....     |
| ۲۲..... | ۵-۳-۲-۱- وینیل‌استر.....        |
| ۲۲..... | ۶-۳-۲-۱- سیلیکون‌ها.....        |
| ۲۲..... | ۷-۳-۲-۱- آلکیدها.....           |

## فصل دوم: پسماند پلاستیک‌ها و تأثیر آن‌ها بر محیط‌زیست و سلامت انسان

|         |                                                                                           |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۲۵..... | ۱-۲- مقدمه.....                                                                           |
| ۲۷..... | ۲-۲- مشکلات محیط‌زیستی پسماند پلاستیک‌ها.....                                             |
| ۲۷..... | ۱-۲-۲- پسماند پلاستیک‌ها در محیط‌زیست دریا.....                                           |
| ۲۸..... | ۱-۲-۲-۱- تهدید آلودگی پسماند پلاستیک‌ها برای زیماگان (زندگی گیاهان و جانوران) دریایی..... |
| ۳۲..... | ۲-۲-۱-۲- تجمع Debris های پلاستیکی مسیری ممکن برای تهاجم گونه‌های بیگانه.....              |
| ۳۳..... | ۲-۲-۲- ریزپلاستیک‌ها در اقیانوس‌ها.....                                                   |
| ۳۴..... | ۳-۲-۲- Debris های پلاستیکی در رودخانه‌ها و مصب‌ها.....                                    |
| ۳۵..... | ۴-۲-۲- آسیب پسماند پلاستیک‌ها به حیات وحش.....                                            |
| ۳۵..... | ۱-۲-۲-۴- اثرات پسماند پلاستیک‌ها به زیستگاه‌ها.....                                       |
| ۳۷..... | ۵-۲-۲- اثرات پسماند پلاستیک‌ها در خاک.....                                                |
| ۳۸..... | ۶-۲-۲- تأثیر پسماند پلاستیک‌ها بر آلودگی هوا.....                                         |
| ۳۹..... | ۳-۲- اثرات بهداشتی پسماند پلاستیک‌ها بر انسان.....                                        |

## فصل سوم: مدیریت پسماند پلاستیک‌ها در محیط‌زیست

|         |                                                  |
|---------|--------------------------------------------------|
| ۴۳..... | ۱-۳- مدیریت پسماند.....                          |
| ۴۵..... | ۲-۳- چارچوبی برای مدیریت پسماندهای پلاستیکی..... |
| ۴۶..... | ۱-۳-۲- جمع‌آوری.....                             |
| ۴۶..... | ۲-۳-۲- محل دفن پسماند (لندفیل) پلاستیک‌ها.....   |
| ۴۶..... | ۳-۳-۲- سوزاندن پلاستیک‌ها.....                   |

|         |                                                                                    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ۴۷..... | ۳-۲-۴- باز یافت پلاستیک‌ها                                                         |
| ۴۷..... | ۳-۲-۵- روش‌های باز یافت و کاربردهای ساختاری                                        |
| ۴۷..... | ۳-۲-۵-۱- باز یافت مکانیکی                                                          |
| ۴۸..... | ۳-۲-۵-۲- باز یافت مواد خام یا شیمیایی                                              |
| ۴۹..... | ۳-۲-۵-۲-۱- اصلاح شیمیایی                                                           |
| ۴۹..... | ۳-۲-۵-۲-۲- بازفرآوری حرارتی                                                        |
| ۴۹..... | ۳-۲-۵-۲-۳- پرکننده‌ها                                                              |
| ۵۰..... | ۳-۳- مراحل باز یافت پسماندهای پلاستیکی شهری                                        |
| ۵۰..... | ۳-۳-۱- جمع‌آوری پسماندها                                                           |
| ۵۰..... | ۳-۳-۲- جداسازی پسماندهای پلاستیکی از یکدیگر                                        |
| ۵۱..... | ۳-۳-۳- خرد کردن و شستشوی پسماندهای پلاستیکی                                        |
| ۵۱..... | ۳-۳-۴- آسیاب کردن و مخلوط کردن با مواد نو یا مواد افزودنی                          |
| ۵۲..... | ۳-۴- پلاستیک‌های باز یافتی                                                         |
| ۵۳..... | ۳-۵- استفاده از پلاستیک‌های زیستی به عنوان جایگزین پلاستیک‌های پلیمری              |
| ۵۴..... | ۳-۵-۱- پلاستیک‌های قابل کمپوست                                                     |
| ۵۵..... | ۳-۵-۲- پلاستیک‌های قابل تجزیه زیستی                                                |
| ۵۵..... | ۳-۶- خلاقیت با پسماند پلاستیک‌ها                                                   |
| ۵۵..... | ۳-۶-۱- تولید صندل کفش ژله‌ای از پلی‌وینیل کلراید (PVC)                             |
| ۵۶..... | ۳-۶-۲- کاردستی باز یافتی برای ایام تعطیل: ساعت دیواری پلاستیکی                     |
| ۵۷..... | ۳-۶-۳- صندلی راحتی با استفاده از پلی‌اتیلن (PE) باز یافتی                          |
| ۵۷..... | ۳-۶-۴- تولید قایق پلاستیکی با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)         |
| ۵۷..... | ۳-۶-۵- استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) برای تولید سایه‌بان پارک ماشین |
| ۵۸..... |                                                                                    |
| ۵۹..... | ۳-۶-۶- تولید گلدان با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)                 |
| ۶۱..... | <b>فهرست منابع</b>                                                                 |

## فصل اول: انواع پلاستیک‌ها و کاربرد آن‌ها

### ۱-۱- مقدمه

پلاستیک، مواد مصنوعی ساخته شده توسط انسان که دارای مولکول‌های بزرگ و متشکل از زنجیره‌ای از اتم‌ها می‌باشد. آن‌ها از مواد خام اولیه شیمیایی به نام مونومر به دست آمده‌اند، که به طور عمده امروز در صنعت پتروشیمی ساخته می‌شوند. این پلیمرها همیشه متشکل از اتم‌های کربن در ترکیب با سایر عناصر می‌باشند. شیمی دانان پلیمر فقط از هشت عنصر از بیش از ۱۰۰ عنصر شناخته شده برای ایجاد هزاران پلاستیک مختلف استفاده می‌کنند. این هشت عنصر شامل هیدروژن، کربن، نیتروژن، اکسیژن، فلور، سیلیکون، گوگرد و کلر می‌باشند. بیش از ۵۰ خانواده مختلف از پلاستیک‌ها امروزه در تجارت استفاده می‌شوند و ممکن است ده‌ها تن زیرنوع و تنوع داشته باشند. در حال حاضر حجم پلاستیک مصرفی در هر سال بیشتر از فولاد است. با این طریقه استفاده، پیش بینی شده که همچنان حجمی از پلاستیک مصرفی به سرعت در حال رشد است. آن‌ها به طور کلی دچار خوردگی نمی‌شوند، سبک وزن هستند، اغلب قدرت خوبی نسبت به وزن خود دارند. پلاستیک‌ها به دلیل سهولت و سرعت که می‌توان آن‌ها را به شکل و تولید انبوه در آورد بسیار مقرون به صرفه هستند. آن‌ها عایق‌های الکتریکی خوبی و رنگارنگ می‌باشند. قطعات پلاستیکی به طور معمول توسط فرآیندهای قالب‌ریزی و سازه تولید می‌شود. اما برای تولید مقدار کوچک و یا برای شکل‌های بسیار پیچیده و یا دقیق، ماشین‌کاری ضروری است. مشخصه ماشین‌کاری پلاستیک‌ها به نظر می‌رسد در

درجه اول به خواص مکانیکی، حرارتی و رئولوژیکی آن‌ها بستگی دارد. در نتیجه، هر ارزیابی از ویژگی‌های ماشین کاری باید برای خواص خاصی از مواد که اجازه می‌دهد استفاده شود (Alauddin et al., 1995).

## ۲-۱- اجزاء سازنده پلاستیک‌ها

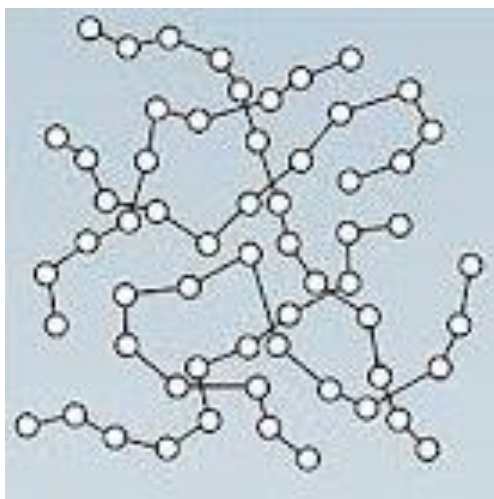
بسیاری از پلاستیک‌ها حاوی موادی علاوه بر مواد پلیمری هستند. به طور معمول رزین‌ها جزء اصلی‌ترین اجزاء پلاستیک‌ها هستند. با این حال مواد دیگری نیز از قبیل چگال‌افزاها (پرکننده‌ها)، روان‌کننده‌ها، حلال‌ها و رنگ‌ها می‌باشند. نقش رزین یا چسب برای اتصال پلاستیک‌ها به هم می‌باشد و انتقال برخی از ویژگی‌های قابل توجه به محصول پایانی می‌باشد. پلاستیک معمولاً توسط رزین‌های درگیر در ساخت آن نام‌گذاری می‌شود. قبل از پردازش محصولات پایانی، در بیشتر پلاستیک‌ها از پرکننده‌ها مانند آرد چوب، تالک، کربنات و سیلیکات برای ظاهر سطحی بسیار خوب و خواص الکتریکی بسیار عالی استفاده می‌شود. همه رزین‌ها برای اولین بار باید مایع و اجزاء ذرات آن‌ها به هم جوش داده شده باشد. برای این منظور از یک حلال استفاده شده است. بیش از ۳۰۰ حلال برای انواع پلاستیک‌های مختلف به کار می‌رود. بسیاری از رزین‌های پلاستیکی دارای غلظت بالا و در شکل نهایی سفت یا سخت نیستند. به همین دلیل، برای کاهش گرانروی در فرآیند دماهای بالا و شکل‌پذیری محصول نهایی استفاده از روان‌کننده‌ها ضروری می‌باشد. مواد افزودنی شیمیایی متفرقه برای اهداف خاصی از قبیل تثبیت پلاستیک در برابر اکسیداسیون، تخریب حرارتی و نور اشعه ماوراء بنفش استفاده می‌شود. از آنجایی که اکثر پلاستیک‌ها در رنگ طبیعی خود ترک نمی‌خورند، غالب بر ۸۰۰ رنگ امروزه در بازار وجود دارد (Alauddin et al., 1995).

## ۳-۱- طبقه‌بندی پلاستیک‌ها

پلاستیک‌ها با توجه به مواد شیمیایی و کارکرد فن‌آوری آن‌ها به دو گروه پلاستیک‌های ترموپلاست یا ترموپلاستیک (گرمانرم) و ترموست (گرماسخت) تقسیم‌بندی می‌شوند (Alauddin et al., 1995).

### ۱-۳-۱- ترموپلاست‌ها

ترموپلاست‌ها یا پلیمرهای خطی وقتی که در تماس با حرارت، سختی و صرف‌نظر از اینکه چگونه فرآیند تکرار شود سرد شوند، نرم می‌شوند. با گرمایش و سرمايش متناوب می‌توان آن‌ها را چند بار شکل داد. در حالت ذوب آن‌ها مایعاتی شبه لاستیک هستند و در حالت جامد شیشه‌ای یا نیمه‌بلورین می‌باشند. در ترموپلاست‌ها، انتها به انتهای اتم‌ها و مولکول‌ها به یک سری از زنجیره طولانی به هم متصل هستند، که هر زنجیره مستقل از دیگری می‌باشد. هنگامی که در معرض حرارت قرار می‌گیرند، زنجیره‌ها با لغزش مجزا و باعث جریان پلاستیک می‌شوند (Alauddin et al., 1995). انواع پلاستیک‌های ترموپلاست به شرح زیر می‌باشد.



شکل ۱-۱- ترموپلاست‌ها (پلیمرهای خطی)

### ۱-۳-۱-۱- اکریلونیتریل بوتادین استایرن<sup>۱</sup>

اکریلونیتریل بوتادین استایرن یک پلیمر مهندسی گرمانرم که متشکل از یک فاز پیوسته آمورف و یک فاز لاستیکی (انعطافی) پراکنده است. خواص این پلیمر از

---

<sup>۱</sup>Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

ترکیب ویژگی‌های فاز لاستیکی و گرمانرم بودن آن گرفته شده است. دارای خواص فرآیندپذیری، مقاومت در برابر حرارت، سختی سطحی و مقاوم در برابر مواد شیمیایی می‌باشد. کاربردهای اصلی آن در صنعت خودرو و الکترونیک می‌باشد (Arostegui et al., 2006). از کاربردهای این پلاستیک می‌توان به کابینت برای دستگاه‌های اداری، کاربرد در تلویزیون و رادیو، بلندگو، تلفن، کامپیوتر، اسباب بازی (آجر ساختمانی و غیره) چمدان، آستر درونی برای یخچال و فریزر و جعبه یخ‌زدگی، کابینت آشپزخانه، لوله، قطعات خودرو، سردوش و درب دستگیره و کابینت به عنوان ابزاری برای ماشین آلات حفاری اشاره کرد (Hansen et al., 2013).

#### ۱-۳-۲- نایلون (پلی آمید)

به گروهی از پلیمرها اطلاق می‌گردد که در مونومر آن‌ها نیتروژن وجود دارد. نایلون‌ها ساختمانی شبیه پلیمرهای پروتئینی داشته و همچنین دارای استحکام بالا می‌باشند. دارای مقاومت به سایش خوب بوده و به علت ضریب استحکاک پایین در قطعات درگیر ماشین مانند ساچمه‌ها و دنده‌ها کاربرد دارند. نایلون‌ها همچنین در تولید الیاف مصنوعی (انواع البسه و جوراب) استفاده می‌شوند و می‌توانند تا ۸ درصد وزن خود رطوبت جذب نمایند. گرچه نایلون ۶۶ و ۶ جز اولین الیاف پلی آمیدی بودند که به بازار عرضه شدند اما پلی آمیدهای دیگری نیز تهیه و به بازار عرضه شدند. ریلسان که به نام نایلون ۱۱ شهرت دارد در فرانسه تهیه شده که ماده اولیه آن روغن کرچک بوده است.

از کاربردهای این پلاستیک می‌توان به چرخ دنده، بلبرینگ، ماشین‌آلات آشپزخانه و وسایل آشپزی برای کاربردهای دمای بالا (چاقوهای پالت)، خطوط و تورهای ماهیگیری، کابینت و دکمه‌های دستگاه‌های الکترونیکی، مخازن سوخت، بطری و ورقه برای کاربردهای بسته‌بندی ویژه اشاره کرد (Hansen et al., 2013).

### ۱-۳-۱- پلی‌اتر اتر کتون<sup>۲</sup>

پلی‌اتر اتر کتون یک پلیمر نیمه‌بلورین با کارایی بالا که دارای پایداری حرارتی، مقاوم در برابر سایش، خواص مکانیکی و مقاومت عالی در برابر مواد شیمیایی می‌باشد. این پلیمر توسط روش‌های مرسوم مانند قالب‌گیری تزریقی، اکستروژن و روش‌های پوشش‌پودری پردازش داده می‌شود. از این‌رو کاربرد این پلیمر در صنعت هوافضا، خودروسازی، سازه، سیم‌کشی با درجه حرارت بالا و کاربردهای پزشکی می‌باشد (Parvaiz et al., 2010).

### ۴-۱-۳-۱- پلی‌اتیلن<sup>۳</sup>

پلی‌اتیلن‌ها از خانواده‌های پلیمری گرمانرم می‌باشند که از طریق پلیمریزاسیون گاز اتیلن ( $C_2H_4$ ) تولید می‌شوند (Hati and Dimari, 2010). این پلیمر بیشترین حجم تولیدی پلاستیک‌ها در دنیا می‌باشد. از طریق کاتالیست و روش پلیمریزاسیون این ماده می‌توان خواص مختلفی همچون چگالی، شاخص جریان مذاب، بلورینگی، درجه شاخه‌ای و شبکه‌ای شدن، وزن مولکولی و توزیع وزن مولکولی را در آن‌ها کنترل کرد. پلیمرهای با وزن مولکولی پائین را به عنوان روان‌کننده به کار می‌برند. پلیمرهای با وزن مولکولی متوسط واکس‌هایی امتزاج‌پذیر (مخلوط‌پذیر) با پارافین می‌باشند و نهایتاً پلیمرهایی با وزن مولکولی بالاتر از ۶۰۰۰ در صنعت پلاستیک بیشترین حجم مصرف را به خود اختصاص می‌دهند. پلی‌اتیلن شامل ساختار بسیار ساده‌ای است، به طوری که ساده‌تر از تمام پلیمرهای تجاری می‌باشد. یک مولکول پلی‌اتیلن زنجیره بلندی از اتم‌های کربن است که به هر اتم کربن دو اتم هیدروژن چسبیده است. در این پلاستیک‌ها به طور کلی با افزایش چگالی، خطی بودن، سفتی، استحکام کششی، استحکام پارگی، دمای نرم شدن، شکنندگی، عمر خمشی، تمایل به ترک برداشتن افزایش می‌یابد.

---

<sup>۲</sup>PolyEther Ether Keton (PEEK)

<sup>۳</sup>PolyEthylene (PE)

پلی‌اتیلن‌ها بسته به چگالی به چهار گونه پلی‌اتیلن با چگالی کم<sup>۵</sup>، پلی‌اتیلن با چگالی کم خطی<sup>۶</sup>، پلی‌اتیلن با چگالی متوسط<sup>۷</sup> و پلی‌اتیلن با چگالی زیاد<sup>۸</sup> تقسیم می‌شوند. پلی‌اتیلن کاربرد فراوانی در تولید انواع لوازم پلاستیکی مورد استفاده در آشپزخانه و صنایع غذایی دارد. از LDPE در تولید ظروف پلاستیکی سبک و همچنین کیسه‌های پلاستیکی استفاده می‌شود. HDPE در تولید ظروف شیر و مایعات و انواع وسایل پلاستیکی آشپزخانه کاربرد دارد. در تولید لوله‌های پلاستیکی و اتصالات لوله‌کشی معمولاً از MDPE استفاده می‌کنند. LLDPE به دلیل بالا بودن میزان انعطاف‌پذیری در تهیه انواع وسایل پلاستیکی انعطاف‌پذیر مانند لوله‌هایی با قابلیت خم شدن کاربرد دارد.

### ۱-۳-۵- پلی‌اتیلن ترفتالات<sup>۹</sup>

پلی‌اتیلن ترفتالات ترموپلاستیکی می‌باشد که از پلیمریزاسیون تراکمی ترفتالیک اسید یا دی‌متیل ترفتالات و اتیلن گلیکول حاصل می‌شود. خصوصیات مطلوب این ترموپلاستیک سبب گسترش فراوان آن در صنایع مختلف گردیده است. از مصارف عمده می‌توان در صنایع نساجی، بسته‌بندی (شامل بطری‌های نوشابه، آب معدنی و غیره)، مواد غذایی، لاستیک‌سازی، خودروسازی، شیمیایی، پزشکی و ساختمان را نام برد (عصاره، ۱۳۹۰).

پلی‌اتیلن ترفتالات پلاستیک صنعتی مفید و کاربردی است که بعضی از خواص مهم آن شامل مقاومت در برابر کربن دی‌اکسید، استحکام کششی زیاد، شفافیت، ماهیت غیرسمی و عدم اثر آن بر طعم مواد غذایی می‌باشد. استفاده از این پلیمر در سال‌های اخیر به عنوان جایگزین شیشه و پلی‌وینیل کلراید افزایش چشمگیری یافته است، به طوری که بیشتر ظروف آب و مواد نوشیدنی از این پلیمر ساخته می‌شوند (شفایی و گلشن ابراهیمی، ۱۳۸۶).

<sup>۵</sup>Low Density PolyEthylene (LDPE)

<sup>۶</sup>Linear Low Density PolyEthylene (LLDPE)

<sup>۷</sup>Medium Density PolyEthylene (MDPE)

<sup>۸</sup>High Density PolyEthylene (HDPE)

<sup>۹</sup>PolyEthylene Terephthalate (PET)

### ۶-۱-۳-۱- پلی‌وینیل کلراید<sup>۱۰</sup>

این پلاستیک سومین پلیمر مصرفی در جهان پس از پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن به شمار می‌رود. پلی‌وینیل کلراید از لحاظ حجم تولید پلاستیک مقام دوم را بعد از پلی‌اتیلن در دنیا دارد. به طور عمده از طریق پلیمریزاسیون محلولی شروع شونده با رادیکال آزاد و هم چنین به وسیله گستره‌ای از روش‌های پلیمریزاسیون توده‌ای یا محلولی تولید می‌شود. پلیمریزاسیون محلولی برای تولید دو نوع متفاوت این نوع پلاستیک به کار می‌رود. نوع اول نیمه‌بلورین بوده و از قسمت‌های کروی تشکیل شده است در حالی که نوع دوم نواحی آمورف (بی‌نظم) دارد. همچنین کنترل پلیمریزاسیون محلولی آسان‌تر است و فقط افت خاصیت شفافیت و عایق بودن بسیار کمی را دارا می‌باشد. این پلاستیک را با خلوص بیشتر به وسیله پلیمریزاسیون توده‌ای و در اتمسفر گاز بی‌اثر جهت جلوگیری از تولید پراکساید تولید می‌کنند.

این پلاستیک دارای خواص‌های خوبی می‌باشد که از جمله این خواص می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- آسانی فراورش به نحوی که می‌توان با اکستروژن، غلتک‌کاری، قالب‌گیری دمشی و تزریقی و پوشش‌دهی به راحتی محصولات نهایی را تهیه کرد.
- دوام و در دسترس بودن به اشکال مختلف: سخت یا انعطاف‌پذیر، شفاف یا کدر
- سبکی وزن و پایداری ابعادی
- خنثی بودن از نظر شیمیایی با خواص عایقی و نفوذناپذیری خوب

موارد استفاده برای این پلاستیک می‌توان به لوله و اتصالات، پروفیل‌ها، فیلم و ورق‌های سخت، لوله و پروفیل انعطاف‌پذیر، ورق انعطاف‌پذیر، کف پوش، ظروف سخت، عایق سیم و کابل، چرم مصنوعی، صفحه‌های گرامافون، لوح فشرده، کاربردهای پزشکی، منسوجات پوشش‌دار و تخت کفش و دمپایی اشاره کرد (فرهنگ‌زاده و جمشیدی، ۱۳۹۰).

۱-۳-۱- پلی‌استایرن<sup>۱</sup>

پلی‌استایرن پس از پلی‌اتیلن و پلی‌وینیل کلراید از لحاظ حجم تولید پلاستیک مقام سوم را در دنیا دارد. پلاستیکی روشن، سخت و شکننده است که از آن اسفنج (استایروفوم) تهیه می‌شود. دارای وزن حجمی کمی بوده و عایق مناسبی به حساب می‌آید که به علت محبوس شدن گازها در آن ضریب هدایت حرارتی پایینی داشته است. نوع بلورین مقاوم در مقابل ضربه متوسط و مقاوم در مقابل ضربه بالا پلی‌استایرن با افزودن تکپارهای دیگر در فرآیند بسپارش ساخته می‌شود.

از کاربردهای این پلاستیک می‌توان به انواع بسته‌بندی‌های استاندارد برای مواد غذایی، کاربرد در داروسازی، لوازم آرایشی، چنگال یکبار مصرف، جعبه‌های سی‌دی و دی‌وی‌دی اشاره کرد (Hansen et al., 2013).

۱-۳-۱-۸- پلی‌پروپیلن<sup>۲</sup>

پلی‌پروپیلن از پلیمریزاسیون پروپیلن در شرایط دما و فشار نسبتاً ملایم و در حضور کاتالیست معروف زیگلر-ناتا انجام می‌شود. وجود این کاتالیست، پلیمری به صورت ایزوتاکتیک را تشکیل می‌دهد که قادر به متبلور شدن تا حدود ۹۰ درصد می‌باشد. مولکول پروپیلن دارای ساختار شیمیایی نامتقارن می‌باشد، از این‌رو فرآیند پلیمریزاسیون آن می‌تواند به سه نوع توالی در ساختار پلیمر حاصل منتهی گردد. به دلیل اثرات ناشی از ممانعت فضایی گروه‌های متیل، توالی سر به دم دارای نظم ساختاری بالاتری نسبت به سایر انواع می‌باشد.

پلی‌پروپیلن دارای خواص مطلوبی مانند سختی، مقاومت شیمیایی، گرمایی و مکانیکی، نفوذ ناپذیری و بی‌اثر بودن بر مواد غذایی است. مجموع این خواص و قیمت مناسب موجب شده است که این پلیمر در مصارف مختلف فرآیند شکل‌دهی گرمایی مثل صنایع بسته‌بندی، خودروسازی، کشاورزی و دارویی به کار رود (محمدیان‌گزاز و همکاران، ۱۳۸۵).

<sup>۱</sup>PolyStyrene (PS)<sup>۲</sup>PolyPropylene (PP)

### ۱-۳-۱- پلی‌بوتیلن ترفتالات<sup>۱۳</sup>

پلی‌بوتیلن ترفتالات یک پلاستیک سنتزی مستحکم با ساختار بسیار بلورین است که با پلیمریزاسیون بوتان دی‌ال و ترفتالیک اسید تولید می‌گردد. ساختار پلی‌بوتیلن ترفتالات با ساختار پلی‌اتیلن ترفتالات مشابه است و تفاوت آن‌ها در تعداد گروه متیلن است.

پلی‌بوتیلن ترفتالات یکی از تجاری‌ترین پلی‌استرهای آروماتیک ترموپلاستیک با ساختار نیمه‌بلورین در دسترس است که ویژگی‌های گوناگونی شامل نسبت بالای بلورین، مقاومت در برابر ضربه بالا و پایداری گرمایی، دمای شکل‌گیری پایین، سختی بالا و ثبات ابعادی، استحکام، مقاومت در برابر سایش و حلال، عایق الکتریکی خوب، سیکل زمانی کوتاه در شکل‌گیری، مقاومت بالا در برابر آب و ظاهر سطحی خوب دارد. این پلیمر به طور قابل توجهی در صنعت خودروسازی، الکترونیک و وسایل پزشکی استفاده می‌شود (پروین‌زاده گشتی و الماسیان، ۱۳۹۱). از دیگر کاربردهای آن می‌توان به قطعات مربوط به درب و پنجره، قطعات مهندسی اتومبیل، بدنه پروژکتورهای استادیوم‌ها و فیلمبرداری‌ها و همچنین در کابل‌های فیبر نوری اشاره کرد.

### ۱-۳-۱-۰ پلی‌وینیل استات<sup>۱۴</sup>

برای تهیه پلی‌وینیل استات نیاز به استات‌وینیل می‌باشد. استات‌وینیل را می‌توان از ترکیب استیلن و اسید استیک و یا از طریق اکسیداسیون اتیلن به دست آورد. از نگاه صنعتی پلیمر شدن تعلیقی وینیل‌استات برای تولید گرانول پلی‌وینیل استات بالاترین اهمیت را دارد. اغلب این گرانول‌ها به پلی‌وینیل الکل با تنوع درجه آب‌کافت و با وزن مولکولی متفاوت تبدیل می‌گردند. در مقیاس آزمایشگاهی کوپلیمر شدن وینیل استات با مونومرهای دیگر شاید با توجه به راحتی عمل و راحتی به وجود آوردن محیط تعلیقی مناسب، مزیت داشته باشد. پلی‌وینیل استات به طور گسترده

---

<sup>۱۳</sup>PolyButylene Terephthalate (PBT)

<sup>۱۴</sup>PolyVinyle Acetate (PVA)

در صنایع چسب کاربرد دارد. به طور مثال در تولید چسب چوب، چسب سفید، چسب نجاری و چسب پلی‌وینیل استات مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان یک امولسیون در آب امولسیون‌های پلی‌وینیل استات به عنوان چسب‌های مصرفی برای مواد متخلخل به طور خاص برای چوب، کاغذ و پارچه و همچنین به عنوان تقویت کننده برای تولید سنگ‌های ساختمانی و متخلخل. به طور خلاصه موارد مصرف پلی وینیل استات را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- به عنوان چسب چوب که با نام‌های چسب سفید یا نجاری زرد هم شناخته می‌شود.
- در پوشش‌های کاغذی به عنوان چسب سریع
- در صحافی و صنایع کتاب به دلیل باندهای قوی و انعطاف‌پذیر و خاصیت غیر اسیدی آن
- جهت تولید صنایع دستی (موکت‌سازی)
- به عنوان حلال، جهت تمیز کردن پلی‌وینیل الکل خشک شده و بسیاری از رنگ‌های امولسیونی

امولسیون‌های پلی‌وینیل استات در پوشش‌های کاغذی، رنگ و دیگر پوشش‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پلی‌وینیل استات همچنین می‌تواند به عنوان پوشش در بسته‌بندی‌های پنیر برای محافظت در برابر رطوبت و کپک‌زدگی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ۱-۳-۱-۱- پلی‌استال (پلی‌اکسی متیلن)<sup>۱۹</sup>

این پلیمر یک پلیمر بلورین است که از پلیمریزاسیون فرمالدئید به دست آمده‌اند، که به طور معمول به آن‌ها پلی‌استال یا هستافرم می‌گویند. معمولی‌ترین پلی‌استال از فرمالدئید تهیه می‌شود که آن را به نام پلی‌اکسی متیلن نیز می‌شناسند. فرمالدئید به

---

<sup>۱۹</sup> PolyOxy Methylene (POM)

کمک آغازگرهای آنیونی نظیر تری‌فنیل فسفین پلیمریزه می‌شود. این ماده به دلیل خصوصیتی که دارد در مواردی می‌تواند جایگزین فلزات غیر آهنی شود.

پلی‌استال پلیمری بسیار سخت با درجه بالاست و از پلاستیک‌های مهندسی به شمار می‌رود. این پلیمر دارای خواص مکانیکی، گرمایی، شیمیایی و الکتریکی است. همچنین دارای استحکام کششی و مقاومت خستگی بسیار زیاد است (محراب‌زاده و رضایی‌علم، ۱۳۷۹).

پلی‌اکسی متیلن کاربردهای زیادی دارد. به عنوان مثال از آن در تولید پمپ‌های بنزین، شناور کاربراتور، بوستر ترمز، جداکننده آب، تیغه‌های دمنده‌ها و جداکننده های حباب استفاده می‌شود. از دیگر کاربردهای آن می‌توان تولید چرخ دنده‌ها، یاتاقان‌ها، فنرها، محورها، صفحه کلید کامپیوتر، جوش‌آور آب، دنده‌ها و غیره را ذکر کرد.

#### ۱-۳-۱- سلولز استات<sup>۱</sup>

سلولز استات از واکنش کرک پنبه (الیاف کوتاه) یا آلفا سلولز (از خمیر چوب) با استیک اسید و یا انیدرید استیک و تشکیل سلولز تری‌استات تولید می‌شود. سلولز تری‌استات را به خاطر داشتن نقطه نرم‌شوندگی خیلی بالا نمی‌توان به راحتی به عنوان گرمانرم مصرف کرد. لذا تری‌استات فوق را تا حدی هیدرولیز کرده و به سلولز استات نوع دوم تبدیل می‌کنند. که در آن تعدادی از گروه‌های استات با گروه‌های هیدروکسیل جایگزین می‌شوند. در عملیات قالب‌گیری همین نوع دوم مصرف می‌شود که با نام پلاستیک سلولز استات معروف است.

سلولز استات به داشتن چقرمگی و استحکام ضربه‌ای بالا معروف است. این پلاستیک همچنین می‌تواند کاملاً سخت باشد. سلولز استات برای رسیدن به خواص ویژه با نرم کننده‌های انتخابی آمیخته می‌گردد. این پلاستیک می‌تواند با شفافیت خوبی تولید شود و رنگ‌پذیری آن عالی است. پلاستیک فوق جلای ظاهری بالایی دارد و تا حدی

---

<sup>۱</sup>Cellulose Acetate (CA)

در مقابل ترک خوردگی و سایش مقاوم است. تا حدودی در برابر روغن و گریس مقاومت می‌کند. همچنین در کاربردهای قالب‌گیری می‌تواند تحت خلأ شکل بگیرد.

از کاربردهای این پلیمر طبیعی اصلاح شده به علت حلالیت خوب در حلال‌های مشترک، وزن مولکولی و خواص ذوب می‌توان به محصولات مصرفی از جمله الیاف نساجی، پلاستیک‌ها، فیلم‌ها و فیلتر سیگار اشاره کرد (Puls et al., 2011).

سلولز استات بوتیرات<sup>۱۷</sup> یک پلیمر مقاوم در مقابل هوازدگی است و برای پوشاندن سطوح به کار می‌رود و گاهی روی آن آبکاری می‌شود. سلولز استات بوتیرات کیفیت اپتیکی خوبی دارد و برای ساختن عینک‌های ایمنی، جعبه‌ها و ظروف مختلف و فرمان اتومبیل به کار می‌رود.

### ۱-۳-۱- پلی‌لاکتیک اسید<sup>۱۸</sup>

پلی‌لاکتیک اسید شباهت زیادی به پلاستیک دارد. این فیلم گرمانرم، زیست تخریب‌پذیر و ترکیبی مشتق شده از منابع تجدید شذنی گیاهی ذرت و چغندر قند است. این پلیمرها کاربردهای گوناگونی در صنایع منسوجات، پزشکی و به ویژه بسته‌بندی و ظروف یکبار مصرف دارد. پلی‌لاکتیک اسید به خانواده پلی‌استرهای آلیفاتیک تعلق دارد که به طور معمول از آلفا هیدروکسی اسیدها ساخته می‌شوند. پلی‌لاکتیک اسید یک گرمانرم با استحکام زیاد است که ماده اولیه آن از منابع تجدیدپذیر مانند سیب‌زمینی و ذرت تولید می‌شود. این پلیمر، به راحتی در دستگاه‌های پلاستیک استاندارد قالب‌گیری می‌شود. از محدود پلیمرهایی است که می‌توان ساختار مولکولی آن را با نسبت ایزومرهای ال و دی کنترل کرد تا پلیمری بلورین یا بی‌شکل با وزن زیاد به دست آید. به عنوان ماده‌ای ایمن برای مواد غذایی شناخته شده است و می‌تواند در تماس با غذا قرار گیرد. این پلیمر بدون احتیاج به وجود کاتالیزور با آبکافت پیوندهای استری تجزیه می‌شود. سرعت

<sup>۱۷</sup>Cellulose Acetate Butyrate (CAB)

<sup>۱۸</sup>PolyLactic Acide (PLA)

تجزیه شدن آن به شکل و اندازه شیء پلیمری، نسبت ایزومر و دمای آبکافت بستگی دارد (اصلاحی نوپاشانی، ۱۳۹۲).

این پلیمر دارای کاربردهای مختلفی از جمله طیفی وسیع از محصولات پزشکی، بسته‌بندی مواد غذایی، فیلم‌های مورد استفاده در کشت و صنعت، تولید الیاف، به عنوان کامپوزیت در کاربردهای فنی مانند دستگاه‌های الکترونیکی، الکتریکی، مکانیکی و یا قطعات خودرو می‌باشد (داداشی و همکاران، ۱۳۹۲).

#### ۱-۳-۱-۱۴ پلی‌تترا فلورو اتیلن<sup>۱</sup> (تفلون)

پلی‌تترا فلورو اتیلن (تفلون) پلیمری خطی مشابه با ساختار پلی‌اتیلن بوده که تنها تفاوت آن جانشینی اتم فلوروژن به جای هیدروژن در ساختار مولکولی پلیمر است. تفلون از مونومر تترافلورو اتیلن تحت فشار و در حضور کاتالیزور پراکساید به روش افزایشی رادیکال آزاد پلیمریزه می‌شود. تفلون دارای بلورینگی بسیار بالا حدود ۹۴ درصد است. قالب‌گیری این ماده پس از ذوب به دلیل دارا بودن گرانشی مذاب بالا (حالت ژله‌ای) بسیار مشکل است.

از این‌رو برای شکل‌دهی، آن را در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار بالا شکل‌دهی می‌کنند که به این روش زینتر کردن می‌گویند. این پلیمر به دلیل قرارگیری اتم‌های بزرگ فلوروژن در زنجیره آن بسیار قطبی است. در سال ۱۹۵۹ مطالعه‌ای بر روی انواع ظروف انجام شد. این مطالعه نشان داد که گازهای ایجاد شده در هنگام داغ کردن ظروف خشک با پوشش تفلون کمتر از گازهای ایجاد شده توسط روغن‌های داغ سمی هستند. از ویژگی‌های این پلاستیک می‌توان به غیر قابل حل بودن در بسیاری از حلال‌ها، غیر چسبنده بودن، استحکام ضربه‌ای بالا و عایق الکتریسیته بسیار خوب اشاره کرد.

از کاربردهای این پلاستیک می‌توان به کاربرد برای مواد شیمیایی، الکتریکی و خواص حرارتی و با ضریب اصطکاک پایین اشاره کرد. از دیگر کاربردها می‌توان به کاربرد در هواپیما و ربات، مهر و موم، فیلترها، سینی‌های باری، سینی‌های آشپزخانه ضد لغزش،

---

<sup>۱</sup> PolyTetra Fluoro Ethylene (PTFE)

ورقه و پوشش سطحی در دستگاه‌های شیمیایی اشاره کرد ( Hansen et al., ۲۰۱۳).

#### ۱-۳-۱- پلی‌متیل متاکریلات<sup>۲۰</sup>

برای تهیه پلی‌متیل متاکریلات از مونومر متیل متاکریلات استفاده می‌شود که این مونومر در طی فرآیند پلیمریزاسیون رادیکالی آزاد به پلیمر تبدیل می‌شود. برای تهیه این پلیمر می‌توان از تمام روش‌های پلیمریزاسیون استفاده نمود. در روش پلیمریزاسیون توده‌ای که اغلب برای تهیه پلی‌متیل متاکریلات از طریق ریخته‌گری به کار می‌رود، سعی می‌شود که مرحله پلیمریزاسیون و مرحله قالب‌گیری ادغام گردد.

این پلاستیک دارای خاصیت استثنائی شفافیت نوری و مقاومت در برابر تشعشعات خارجی است. در مقابل قلیاها، مایع‌های پاک‌کننده، روغن‌ها و اسیدهای رقیق پایدار است. اما بسیاری از حلال‌ها روی آن اثر می‌گذارند. خاصیت ویژه و منحصر به فرد آن، یعنی انعکاس داخلی نور به طور صد در صد موجب کاربرد آن در ساخت علائم خبری، تبلیغاتی و مصارف پزشکی شده است (سزاوار و همکاران، ۱۳۹۱).

از دیگر کاربردهای مهم پلی‌متیل متاکریلات می‌توان به کاربرد در شیشه پنجره، حفاظت از چراغ‌های عقب اتومبیل، لامپ برای محیط داخلی و خارجی، شیشه‌های محافظ، لنزها و عینک اشاره کرد (Hansen et al., 2013).

#### ۱-۳-۱- پلی‌وینیل الکل<sup>۲۱</sup>

پلی‌وینیل الکل یک پلیمر پلی‌هیدروکسی است که بیشترین حجم تولید رزین مصنوعی از نوع محلول در آب است که در جهان تولید می‌شود. به صورت تجارتي از هیدرولیز پلی‌وینیل استات تولید می‌شود. زیرا وینیل الکل مونومر، نمی‌تواند با درجه

<sup>۲۰</sup>PolyMethyl MethAcrylate (PMMA)

<sup>۲۱</sup>PolyVinyl ALcohol (PVAL)

خلوص و هیدرولیز بالا تبدیل به پلی‌وینیل الکل شود. پایداری شیمیایی و خواص فیزیکی بسیار خوب رزین‌ها، کاربرد آن را در مصارف صنعتی زیر موجب شده است.

امروزه این پلیمر به طور عمده در صنایعی نظیر آهارزنی منسوجات و کاغذ، چسب‌ها، تهیه کلوئیدهای محافظ برای پلیمرشدن امولسیون، تهیه الیاف و پلی‌وینیل بوتیرال مصرف می‌شود. خواصی نظیر زیست‌سازگاری، انحلال‌پذیری در آب، مقاومت کششی زیاد، مقاومت شیمیایی در محیط‌های قلیایی، نفوذپذیری کم در برابر گازها و خواص نوری مطلوب از علل عمده استفاده این پلیمر در صنایعی نظیر نساجی، کاغذسازی، بسته‌بندی و پزشکی است (زینالی و همکاران، ۱۳۹۳).

پلی‌وینیل الکل یک ترکیب غیرسمی، ارزان قیمت و قابل حل در آب است. دارای خواص شیمیایی، فیزیکی و قابلیت فیلم‌دهی بسیار خوبی می‌باشد. این پلیمر به روش شیمیایی (با استفاده از گلو تا رالیدیید و کربوکسیل اسیدهای چند جزئی) و یا روش رادیوشیمیایی نظیر تابش گاما و همچنین روش فوتوشیمیایی شبکه‌ای می‌شود. استفاده از پلی‌وینیل الکل شبکه‌ای شده در بسیاری از کاربردها نظیر صنایع بهداشتی و بسته‌بندی مواد غذایی رایج است. در جداسازی مخلوط‌های مایع با نقاط جوش نزدیک به هم، محلول‌های آلی ازئوتروپ، ایزومرها و ترکیبات خطرناک و حساس به گرما نیز از آن استفاده می‌شود (شیخ و کیان‌فر، ۱۳۸۸).

### ۱-۳-۱- پلی‌وینیل‌دین کلراید<sup>۲۲</sup>

پلی‌وینیل‌دین کلراید توسط پلیمریزاسیون امولسیونی و سوسپانسیونی وینیل‌دین کلراید تولید می‌شود. در تولید کفش‌های مخصوص جنگ برای نیروهای مسلح و همچنین کفی کفش، در بسته‌بندی مواد دارویی و غذایی مانند مرغ و گوشت، مواد غذایی خشک، بیسکویت و غیره کاربرد دارد. همچنین در پوشش دادن پشت فرش‌ها، تابلوهای چوبی و چوب پنبه، برای مقاوم ساختن آن‌ها در مقابل آب و آتش و تهیه ورقه‌های سلوفان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

---

<sup>۲۲</sup>PolyVinylidene Chloride (PVDC)

### ۱-۳-۱- پلی‌وینیل بوتیرال<sup>۲۳</sup>

پلی‌وینیل بوتیرال را می‌توان از دو فرآیند محلول و آبی تهیه کرد. در فرآیند آبی پلی‌وینیل الکل در آب یا محلول آبی حاوی یک اسید قوی به عنوان کاتالیزور حل شده و با بوتیر آلدهید واکنش می‌دهد. طی واکنش استال‌دار شدن، پلی‌وینیل بوتیرال از مخلوط واکنش رسوب می‌کند (حاجیان و راستگو، ۱۳۸۸).

این پلیمر در شاخه ترموپلاستیک‌ها (گرم‌انرم‌ها) تقسیم‌بندی می‌شود، از این‌رو با روش‌های فرآیندی معمول این شاخه می‌توان آن را به شکل‌های متفاوت در آورد، اما تنها فیلم این پلیمر کاربرد صنعتی دارد. از فیلم نازک تولید شده از آن به دلیل چسبندگی با لایه شیشه، چقرمگی، پایداری نوری، شفافیت و عدم حساسیت به رطوبت به عنوان لایه میانی شیشه ایمنی استفاده می‌شود. این ماده همچنین در پوشش فلزات و منسوجات و فرمول‌های چسب نیز کاربرد دارد که در تمام موارد پودر پلیمر به صورت مستقیم بدون تغییر شکل در فرمولاسیون نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این گونه کاربردها محصول نهایی به صورت مایعی لزج (با گرانیروی بالا) عرضه می‌شود. رزین‌های پلی‌وینیل بوتیرال که برای کاربردهای غیرفیلم به کار می‌روند، وزن مولکولی پایین‌تری دارند و درجه بوتیراسیون متفاوتی دارند. از نظر صنعتی - اقتصادی باید توجه داشت که کمتر از ۱۰ درصد وزنی پلی‌وینیل بوتیرال تولید شده برای کاربردهای غیرفیلم مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد اصلی آن در تهیه شیشه ایمنی است که در آن لایه نازکی از پلیمر نرم‌شده را بین دو صفحه شیشه‌ای قرار می‌دهند. این ماده کشسان و سفت است و به خوبی به شیشه می‌چسبد و دارای عملکرد قابل توجهی در این زمینه است. شیشه‌های مقاوم شده با فیلم پلی‌وینیل بوتیرال با توجه به ویژگی‌هایی که دارند، دامنه وسیعی از کاربردها را پوشش می‌دهند. که از جمله آن می‌توان به صنایع خودرو، ساختمان، قطار و وسایل حمل و نقل ریلی، کشتی و هواپیما اشاره کرد.

---

<sup>۲۳</sup>PolyVinyl Butyral (PVB)

### ۱-۳-۱- اتیلن وینیل الکل<sup>۲۴</sup>

رزین اتیلن وینیل الکل یک کوپلیمر تصادفی از مونومرهای اتیلن و وینیل الکل می باشد. این ماده یک پلیمر بلورین بوده و مقاومت آن در برابر نفوذ گازها، بیش از هر پلیمر دیگری است. کیفیت محصولات غذایی در اثر وجود اکسیژن افت پیدا می کند. لذا استفاده از این رزین در بسته بندی مواد غذایی موجب جلوگیری از نفوذ اکسیژن به داخل بسته شده و در نتیجه به حفظ کیفیت و طعم مواد غذایی کمک شایانی می کند. علاوه بر این، در بسته بندی هایی که با گازهایی از قبیل نیتروژن یا دی اکسید کربن پر شده اند، استفاده از این رزین در ساختار بسته بندی موجب حفظ گاز درون بسته و جلوگیری از خروج آن می گردد.

به طور خلاصه ویژگی های زیر را می توان برای مواد اتیلن وینیل الکل برشمرد:

- مقاومت بسیار عالی در برابر نفوذ گاز
- مقاومت بسیار خوب در برابر انواع روغن و حلال های آلی
- حفظ عطر و طعم مواد
- چاپ پذیری بسیار خوب
- مقاومت عالی در برابر عوامل جوی
- براق بودن و شفافیت فوق العاده بالا
- فرآیند پذیری بسیار عالی در کلیه فرآیندهای تولید متداول

کوپلیمرهای اتیلن وینیل الکل به طور گسترده در بسته بندی مواد غذایی، صنایع پزشکی و داروئی به دلیل خواص عالی آن ها که مانعی برای گازها، هیدروکربن ها و حلال های آلی می باشد، کاربرد دارند (Urquiza et al., 2010).

---

<sup>۲۴</sup> Ethylene Vinyl alcOHol (EVOH)

### ۱-۳-۱-۲۰- اتیلن وینیل استات<sup>۲۵</sup>

اتیلن وینیل استات کopolymer اتیلن و وینیل استات است. این ماده پلیمری است که از نظر نرمی و انعطاف‌پذیری همانند مواد الاستومر بوده ولی از نظر قابلیت فرآوری مشابه با مواد ترموپلاستیک است. در بسیاری از کاربردهای الکتریکی قابل رقابت با مواد لاستیکی و وینیلی می‌باشد. علاوه بر این، به دلیل ویژگی‌های خود مانند وزن کم، نداشتن بوی زیاد، شکل‌پذیری در قالب، شفافیت و قیمت پایین‌تر در مقایسه با لاستیک طبیعی کاربردهای گسترده‌ای پیدا کرده است.

از کاربردهای آن می‌توان به صنعت چسب، انواع کفش‌ها (کفش فوتبال)، کلاه ایمنی، وسایل ورزشی، تجهیزات ماهیگیری و کاربردهای پزشکی اشاره کرد.

### ۱-۳-۱-۲۱- پلی کربنات‌ها<sup>۲۶</sup>

پلی کربنات یک ترموپلاست است که از پلیمریزاسیون دی فنیل کربنات و بی فنول ای همراه با فسفوژن بدست می‌آید.

پلی کربنات یکی از مهم‌ترین پلاستیک‌های مهندسی با طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی با توجه به خواص عالی مکانیکی، مقاومت بالا به ضربه، مقاومت در برابر حرارت و همچنین با توجه به تعادل عالی خود از لحاظ چقرمگی، وضوح، مقاومت حرارتی و شفافیت بالا می‌باشد (Ronkay, 2013).

بیشترین کاربرد پلی کربنات در تولید وسایل الکتریکی و الکترونیکی، دیسک‌های سی‌دی، دی‌وی‌دی، بطری‌های دستگاه‌های آب سردکن، تجهیزات آزمایشگاهی، لنزهای چراغ، عینک‌های آفتابی و طبی، تلویزیون، موبایل، کیسه‌های محافظ، تجهیزات هوایمایی، تجهیزات ورزشی، تجهیزات نظامی، صنعت اتومبیل، چراغ‌های اتومبیل، صنعت تبلیغات، علائم و نشانه‌ها، محفظه‌های پوستر، دیوارهای صوتی، پنل‌های محافظ، پنل‌های سایبان، کلاهک‌های محافظ ضد شورش و از جمله کاربردهای

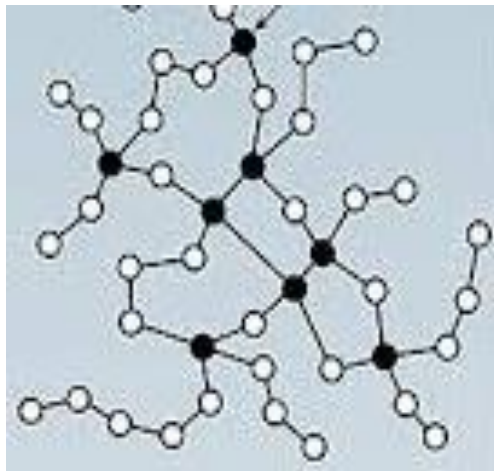
<sup>۲۵</sup>Ethylene Vinyl Acetate (EVA)

<sup>۲۶</sup>PolyCarbonate (PC)

پلی‌کربنات به عنوان جایگزین شیشه پنجره‌های اتومبیل، پنجره‌های سکوریت و معمولی، شیشه‌های ضدگلوله می‌باشد.

### ۱-۳-۲- ترموست‌ها

تنظیم مواد جامد این پلیمرها پس از ذوب شدن به حالت مایع توسط حرارت می‌باشد. فرآیند جامد شدن به پخت موسوم است. به هنگام پخت همه مولکول‌های کوچک شیمیایی در ارتباط با یکدیگر به شکل یک مولکول شبکه‌ای غول‌پیکر می‌شوند. از این‌رو، آن‌ها از پلیمرهای خطی (ترموپلاست‌ها) متمایز می‌شوند و به پلیمرهای شبکه‌ای موسوم هستند. ساختار این پلاستیک‌ها زنجیره‌ای مانند و قبل از قالب‌ریزی و سازه است که بسیار مشابه ترموپلاست‌ها می‌باشد. پخت شامل تقاطع بین مولکول‌های مجاور و در نتیجه تشکیل یک شبکه بین متصلی پیچیده می‌شود (Alauddin et al., 1995). انواع پلاستیک‌های ترموست به شرح زیر می‌باشد.



شکل ۱-۲- ترموست‌ها (پلیمرهای شبکه‌ای)

### ۱-۳-۲- پلی‌استرها

از واکنش بین الکل و اسید تولید شده که به صورت اشباع شده و اشباع نشده وجود دارند. داکرون و ترلین دو نوع از الیاف مهم پلی‌استرها هستند که در صنایع نساجی کاربرد دارند. پلی‌استرها گاه در قطعات تقویت شده با پشم شیشه که به نام فایبر گلاس مشهورند کاربرد داشته و محصولاتی از جمله پال‌های ساختمانی، بدنه تجهیزات حمل و نقل، قایق و کشتی‌سازی، وان حمام، لوله، مخازن، کابین تراکتور و غیره کاربرد دارند.

### ۱-۳-۲- اپوکسی‌ها

رزین‌های اپوکسی پیش پلیمرهایی هستند که در ساختار آن‌ها بیش از یک حلقه اکسیران وجود دارد. این رزین‌ها پس از پخت به پلاستیک‌های گرماسخت یا شبکه ای شده تبدیل می‌شوند. اهمیت این رزین‌ها به جهت پایداری گرمایی، شیمیایی و ابعادی زیاد و انبساط گرمایی کم آن‌ها می‌باشد. مقاومت گرمایی این رزین‌ها با عواملی چون ساختار رزین، نوع عامل پخت، محتوای کلر و واکنش پخت در ارتباط است. با توجه به نیاز مبرم بسیاری از صنایع از جمله صنایع هوافضا به رزین‌های گرمامقاوم، رزین‌های اپوکسی در بازارهای جهانی مورد توجه قرار گرفته‌اند (باجقلی و همکاران، ۱۳۹۲). امروزه خانواده بزرگ رزین‌های اپوکسی دارای بالاترین کارایی‌ها در بین رزین‌های موجود در صنعت می‌باشد. اپوکسی‌ها عموماً در مقاومت‌های شیمیایی و از هم پاشیدگی‌های ناشی از عوامل محیطی و خواص مکانیکی، بالاتر از اکثر انواع رزین‌های دیگر می‌باشند که در نتیجه موجب مصرف تقریباً انحصاری این رزین‌ها در قطعات سازه‌های هوایی گردیده است. از دیگر سو به دلیل چسبندگی بالای این رزین‌ها و مقاومتشان در برابر از هم پاشیدگی ناشی از تماس با آب از آن‌ها به عنوان رزین ایده‌آل برای مصارفی چون تجهیزات صنایع هوافضا و بالستیک، چند سازه‌ای‌های پیشرفته، صنایع دفاعی، نفت و گاز، دریایی، خودروسازی، برق و الکترونیک، تجهیزات ورزشی، و غیره استفاده می‌شود. همچنین امروزه از اپوکسی‌ها در مصارفی دیگر مانند چسب‌ها، خمیرهای درزگیر، ترکیبات ریخته‌گری و سیل کننده‌ها (آب‌بندی کننده‌ها)، لعاب، پوشش‌های کف و رنگ‌ها استفاده می‌گردد.

### ۱-۳-۲-۳- رزین‌های فرمالدئیدی

از سخت‌ترین مواد پلاستیکی بوده که همگی شکننده و شامل موارد زیر می‌باشند.

الف) فنل فرمالدئید: از اولین و ارزان‌ترین رزین‌های مصنوعی به شمار می‌رود. نام تجاری آن باکالیت است که در تولید کلید، پریز، پایه لامپ، پیچ رادیو، لنت ترمز، زیرسیگاری و نیز به عنوان چسب جهت تخته چند لایه کاربرد دارد.

ب) اوره فرمالدئید: کاربردی شبیه فنل فرمالدئید دارد.

ج) ملامین فرمالدئید: پلاستیکی سخت و مقاوم که از آن در تهیه ظروف غذاخوری آشپزخانه استفاده می‌شود.

از دیگر کاربردهای ملامین فرمالدئید می‌توان به سطح روکش شده در تراشه‌های مورد استفاده برای کابینت، قفسه‌ها، درب‌ها، میز کابینت آشپزخانه و در تهیه لوازمی مانند قاشق، کاسه و سینی اشاره کرد (Hansen et al., 2013).

### ۱-۳-۲-۴- پلی‌اورتان‌ها<sup>۲۷</sup>

پلی‌اورتان‌ها پلیمرهایی هستند که از واکنش‌های پلی‌اول‌ها با ایزوسیانات‌ها تهیه می‌شوند. گروه عاملی ایزوسیانات با هر مولکولی که دارای یک هیدروژن فعال باشد واکنش می‌دهد. این پلیمرها دامنه‌ای گسترده از مواد سخت، خشک و فشرده را شامل می‌شوند. از کاربردهای پلی‌اورتان‌ها می‌توان به کاربرد در منسوجات، تولید جلادهنده‌ها، چسب‌ها و کاربرد در پزشکی اشاره کرد. پلی‌اورتان‌ها می‌توانند به صورت پلاستیک‌های گرمانرم نیز باشند (کوره‌پزان مفتخر، ۱۳۹۰).

---

<sup>۲۷</sup>PolyURethane (PUR)

۵-۲-۱- وینیل استر<sup>۲۸</sup>

رزین‌های وینیل استر از معروف‌ترین پلیمرهای گرماسخت به حساب می‌آیند. وینیل استرها اپوکسی‌های متاگرولات شده‌ای هستند که از واکنش اسید متاگرلیک با یک رزین اپوکسی بیسفنل ای تولید می‌شود. وینیل استرها به دلیل عدم حضور پیوندهای استری در زنجیره اپوکسی، دارای مقاومت شیمیایی خوبی هستند (دهقان بانیانی، ۱۳۹۳).

وجود زنجیره اپوکسی در ساختار وینیل استر، موجب پیدایش چقرمگی و ازدیاد طول کششی بالاتر این رزین‌ها نسبت به رزین‌های پلی‌استر می‌شود. همچنین وینیل استرها دارای مقاومت بالایی در برابر خوردگی و هیدرولیز می‌باشند. رزین‌های وینیل استر جهت ساخت انواع قطعات کامپوزیتی با بالاترین خواص فیزیکی و شیمیایی از جمله لوله‌ها، مخازن ذخیره و ساخت شناورها استفاده می‌شود و همچنین رزین وینیل استر در صنایع لایه‌گذاری دستی و پالتروژن به کار می‌رود.

## ۱-۳-۲-۶- سیلیکون‌ها

سیلیکون‌ها دارای مقاومت حرارتی بسیار خوبی هستند. خواص مکانیکی با تغییر درجه حرارت تغییر کمی می‌کند. یکی از مواد تشکیل دهنده این ماده سیلیسیم است که دیگر پلاستیک‌ها چنین نیستند. سیلیکون‌ها به عنوان ترکیبات قالب گیری، رزین‌های ورقه‌ای و به عنوان عایق در موتورهای برقی استفاده می‌شود، اما مقاومت آن‌ها در مقابل مواد شیمیایی کم است.

## ۱-۳-۲-۷- آلکیدها

آلکیدها پلی‌استرهای اصلاح‌شده به وسیله اسید چرب و سایر مواد هستند. این مواد از پلی‌اول‌ها و دی‌کربوکسیلیک اسیدها و کربوکسیلیک اسید انیدریدها مشتق می‌شوند. عبارت آلکید در واقع مخفف دو کلمه اسید و الکل است. استفاده

---

<sup>۲۸</sup>Vinyl Ester (VE)

## فصل اول: انواع پلاستیک‌ها و کاربرد آن‌ها ۲۳

از اسید چرب به خاطر حالت انعطاف‌پذیر آن می‌باشد. آلکیدها هم در زمینه رنگ کاربرد دارند و هم در زمینه ریخته‌گری. این مواد در پوشش‌های پایه روغنی برای تولید رزین نیز به کار می‌روند.

در این فصل به بررسی طبقه‌بندی، تولید، خصوصیات و کاربردهای انواع پلاستیک‌ها پرداخته شد که در جدول ۱-۱ خلاصه‌ای از طبقه‌بندی پلاستیک‌ها با کدبندی آن‌ها آورده شده است.

جدول ۱-۱- خلاصه‌ای از طبقه‌بندی پلاستیک‌ها

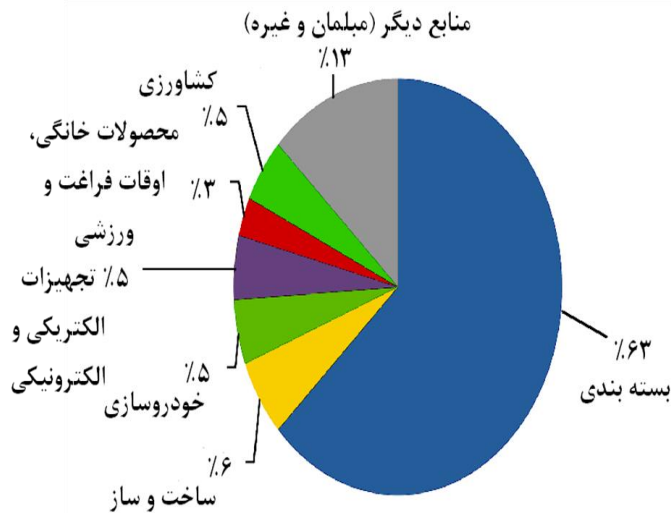
| انواع پلاستیک‌ها با کدبندی           |                                   |                                        | طبقه‌بندی پلاستیک‌ها       |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|
| پلی‌اتر اتر کتون<br>(PEEK)           | نایلون (پلی‌آمید) (PA)            | اکریلونیتریل بوتادین<br>استایرن (ABS)  | ترموپلاست‌ها (گرم‌انرم‌ها) |
| پلی‌اتیلن با چگالی کم<br>خطی (LLDPE) | پلی‌اتیلن با چگالی کم<br>(LDPE)   | پلی‌اتیلن (PE)                         |                            |
| پلی‌اتیلن ترفتالات<br>(PET)          | پلی‌اتیلن با چگالی زیاد<br>(HDPE) | پلی‌اتیلن با چگالی<br>متوسط (MDPE)     |                            |
| پلی‌پروپیلن (PP)                     | پلی‌استایرن (PS)                  | پلی‌وینیل کلراید<br>(PVC)              |                            |
| پلی‌استال (پلی‌اکسی<br>متیلن) (POM)  | پلی‌وینیل استات (PVA)             | پلی‌بوتیلن ترفتالات<br>(PBT)           |                            |
| پلی‌لاکتیک اسید<br>(PLA)             | سلولز استات بوتیرات<br>(CAB)      | سلولز استات (CA)                       |                            |
| پلی‌وینیل الکل<br>(PVAL)             | پلی‌متیل متاکریلات<br>(PMMA)      | پلی‌تترا فلورو اتیلن<br>(PTFE) (تفلون) |                            |
| اتیلن وینیل الکل<br>(EVOH)           | پلی‌وینیل بوتیرال<br>(PVB)        | پلی‌وینیل‌دین کلراید<br>(PVDC)         |                            |
| -                                    | پلی‌کربنات‌ها (PC)                | اتیلن وینیل استات<br>(EVA)             |                            |
| رزین‌های فرمالدئیدی                  | اپوکسی‌ها                         | پلی‌استرها                             | ترموست‌ها (گرم‌سخت‌ها)     |
| سیلیکون‌ها                           | وینیل استر (VE)                   | پلی‌اورتان‌ها (PUR)                    |                            |
| -                                    | -                                 | آلکیدها                                |                            |



## فصل دوم: پسماند پلاستیک‌ها و تأثیر آن‌ها بر محیط‌زیست و سلامت انسان

### ۲-۱- مقدمه

در طی سال‌های اخیر تقاضای جهانی سالانه برای پلاستیک‌ها به طور مداوم رو به افزایش یافته است و در حال حاضر به حدود ۲۴۵ میلیون تن رسیده است. پلاستیک‌ها به علت تنوع، سبکی، استحکام و شفافیت برای کاربردهای مختلف مناسب می‌باشند (Andrady, 2011). در حال حاضر مواد پلاستیکی کاربرد گسترده‌ای در منابع مختلفی مانند بسته‌بندی، تولید مواد ساختمانی، خودروسازی، کشاورزی، مبلمان، محصولات خانگی، اوقات فراغت، ورزشی، تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی دارند که در فصل اول به بررسی آن‌ها در انواع پلاستیک‌ها پرداخته شد و هر کدام پسماندهایی را در محیط‌زیست از خود به جای می‌گذارند (شکل ۲-۱) (Science for Environment Policy, 2011).



شکل ۲-۱- منابع پسماندهای پلاستیک در محیط‌زیست

ازدیاد مصرف این ماده طی دو دهه اخیر به طور فزاینده‌ای در جهان محسوس است. براساس برآوردهای صورت گرفته همه ساله بیش از ۱۰۰ میلیون تن پلاستیک در دنیا تولید می‌شود. که علت آن می‌توان توسعه صنایع پتروشیمی و نفت و تغییر در الگوهای مصرف بشر دانست. کشور ما نیز به خاطر داشتن منابع نفتی و تولیدات پتروشیمی فراوان، یکی از عمده تولیدکنندگان مواد پلاستیکی به شمار می‌رود. در ایران سالیانه مقادیر زیادی لوازم پلاستیکی تولید می‌شود. که بی‌شک یکی از نتایج آن تولید پسماندهای پلاستیکی است که یکی از بزرگ‌ترین معضلات محیط‌زیستی را در جهان امروزه به وجود آورده است. پلاستیک‌های متداول که غالباً حاصل از نفت و مشتقات آن هستند، به آسانی قابل تجزیه نبوده و پایداری آن‌ها در محیط‌زیست از جمله مشکلات جدی جهان امروز می‌باشد. در حقیقت مواد پلاستیکی در دو جهت در حال تخریب حیات بشری هستند. از سویی ناسازگاری با محیط‌زیست و از سوی دیگر تأثیرات سوئی که بر سلامت انسان‌ها می‌گذارند و راه ابتلا به بیماری‌های کشنده مانند سرطان را هموار می‌سازند. همچنین مواد پلاستیکی و پلیمری به علت ساخته شدن از منابع نفتی و دارا بودن مواد پایه نفتی از یک طرف سبب مصرف و کاهش منابع تجدیدناپذیر نفتی و از طرف دیگر به علت خاصیت تجزیه‌ناپذیری، در

خاک باقی می‌مانند و به این ترتیب مواد شیمیایی آن‌ها به تدریج از طریق خاک وارد زنجیره غذایی انسان می‌شود (حیدری و حیدری، ۱۳۹۲).

## ۲-۲- مشکلات محیط‌زیستی پسماند پلاستیک‌ها

مهم‌ترین مشکل محیط‌زیستی پسماندهای پلاستیکی مربوط به تجزیه‌ناپذیری آن‌ها در طبیعت است. این ماده مخرب بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ سال طول می‌کشد تا اینکه تجزیه شود. این مواد ممکن است سمومی را وارد چرخه حیات کنند که در نهایت بدن انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند و می‌توانند اکوسیستم را از شکل طبیعی خارج کنند. حضور ظروف پلاستیکی در طبیعت و محیط‌زیست به مرور منابع آبی و خاکی، دریاها، رودخانه‌ها و حیات جانداران و گیاهان را تهدید می‌کنند (حیدری و حیدری، ۱۳۹۲). در ادامه این فصل به بررسی این تهدیدها در محیط‌زیست پرداخته می‌شود.

## ۲-۲-۱- پسماند پلاستیک‌ها در محیط‌زیست دریا

در صنعت بسته‌بندی، پلاستیک‌ها با طراحی مناسب جایگزین مواد مرسوم می‌مانند شیشه، فلز و چوب (به علت گران بودن) شده‌اند. اینکه از ۷۵ تا ۸۰ میلیون تن بسته‌بندی‌های پلاستیکی مصرفی در سراسر دنیا سالانه چه مقدار به محیط‌های آبی راه پیدا می‌کنند، تخمین دقیقی در اختیار نیست. انواع پلاستیک‌هایی که از صنعت بسته‌بندی به طور معمول وارد محیط‌زیست دریا می‌شوند می‌توان به پلی اتیلن (PE)، پلی پروپیلن (PP)، پلی استیرن (PS)، پلی اتیلن ترفتالات (PET)، پلی وینیل کلراید (PVC)، سلولز استات (CA)، پلی آمید یا نایلون (PA)، پلی اتیلن با چگالی کم (LDPE)، پلی اتیلن با چگالی کم خطی (LLDPE) و پلی اتیلن با چگالی زیاد (HDPE) اشاره کرد. ماهیگیری گسترده، تفریحی یا صنعتی، همچنین افزایش مهاجرت به نواحی ساحلی اثر بسزایی بر ورود پسماندهای پلاستیکی به دریاها می‌توانند داشته باشند. به بقایای پسماندهای پلاستیکی در محیط آبی Debris گفته می‌شود. پسماندهای ساحلی در حدود ۸۰ درصد Debris را شامل می‌شوند. امروزه تمام کشتی‌های ماهیگیری از قرقره‌های پلاستیکی استفاده می‌کنند و بعضی از این قرقره‌ها در حین استفاده با بی‌دقتی به دریا رها می‌شوند. پلاستیک‌های نایلون،

پلی‌اتیلن (PE) و پلی‌پروپیلن (PP) در ابتدا در ساختار قرقه‌های ماهیگیری به کار می‌رفتند. حدود ۱۸ درصد از Debris های یافت شده در محیط دریا متعلق به صنعت ماهیگیری بوده و بقیه متعلق به پسماندهای سواحل است. رزین‌های حاصل از ترکیبات پسماندها از راه نقل و انتقالات دریایی و فرآیندهای تخریب وارد اقیانوس‌ها می‌شوند. تخمین زده شد که منشأ پلاستیک‌های موجود در رسوبات و پلاستیک‌های غوطه‌ور از پسماندهای پلاستیکی شناور می‌باشد. برای آنکه پلاستیک‌های شناور در آب قابل دیدن باشند، باید چگالی مخصوصی بیش از آب دریا (۱/۰۲۵) داشته باشند. پلاستیک‌های سنگین‌تر مثل نایلون‌ها تمایل دارند که در عمق آب شناور باشند یا حتی به رسوبات برسند (پیرامون‌مقدم و کارخانه یوسفی، ۱۳۹۱).



شکل ۲-۲- Debris های پلاستیکی در دریا

۲-۲-۱-۱- تهدید آلودگی پسماند پلاستیک‌ها برای زیباگان<sup>۹</sup> (زندگی گیاهان و جانوران) دریایی

## فصل دوم: پسماند پلاستیک‌ها و تأثیر آن‌ها بر محیط‌زیست و سلامت انسان ۲۹

هنوز اطلاعات نسبتاً کمی در مورد تأثیر آلودگی پلاستیک‌ها در اکوسیستم اقیانوس‌ها وجود دارد. با این وجود اطلاعات زیادی در مورد اثرات زیان‌آور آن‌ها روی زیگان دریایی وجود دارد. تهدید زندگی دریایی عمدتاً مکانیکی و به دلیل خوردن Debris ها و گرفتاری در طناب‌ها و تورهای پلاستیکی انباشته شده می‌باشد. از آنجایی که استفاده از پلاستیک‌ها رو به افزایش است، بنابراین آلودگی پلاستیک‌ها در محیط زیست دریا نیز افزایش یافته است. روبرد و همکاران در سال ۱۹۹۵ محتوای روده هزاران پرنده را در دو مطالعه جداگانه مورد بررسی قرار دادند و متوجه شدند که مصرف پلاستیک توسط پرندگان دریایی به طور قابل توجهی در فاصله ۱۵-۱۰ سال بین مطالعات افزایش یافته بود. یک مطالعه انجام شده در اقیانوس آرام شمالی نشان داد که محتویات شکم ۸ از ۱۱ گونه پرنده دریایی مطالعه شده را ذرات پلاستیکی شامل می‌شود.



شکل ۲-۳- Debris های پلاستیکی در داخل بدن پرنده دریایی

فهرست گونه‌های آسیب دیده نشان داد که Debris های دریایی تعداد قابل توجهی از گونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. آن‌ها بر حداقل ۲۶۷ گونه در سراسر جهان از جمله ماهی‌ها، ۸۶ درصد از تمامی لاک‌پشت‌های دریایی، ۴۴ درصد از تمامی

پرندگان دریایی و ۴۳ درصد از تمامی گونه‌های پستانداران دریایی تأثیر می‌گذارند. این تهدید محیط‌زیستی ممکن است به دلیل غرق شدن بسیاری از قربانیان و خورده شدن توسط شکارچیان دست‌کم گرفته شده باشد. همچنین خطر بالقوه در اکوسیستم دریا از تجمع Debris های پلاستیکی در کف دریا وجود دارد. تجمع Debris ها در کف دریا می‌تواند تبادل گازی میان آب‌های پوشاننده و آب‌های منافذ رسوبات را مهار کند. که نتیجه آن کم اکسیژنی<sup>۱</sup> یا فقدان اکسیژن<sup>۲</sup> می‌شود که در اعماق دریا می‌تواند باعث تداخل در عملکرد طبیعی اکوسیستم و تغییر آرایش زندگی در اعماق دریا شود. علاوه بر این، موجودات اعماق دریا همانند موجودات سطح‌زی<sup>۳</sup> ممکن است گرفتار Debris ها و خوردن آن‌ها شوند (Derraik, 2002). نرخ گرفتاری موجودات دریایی در Debris ها و خوردن آن‌ها توسط این موجودات رو به افزایش است. گرفتار شدن در Debris ها و خوردن آن‌ها توسط موجودات دریایی موجب اختلال در حرکت و تغذیه، کاهش تولیدمثل، جراحت، زخم و مرگ آن‌ها می‌شود (Thompson et al., 2015). در جدول ۱-۲ لیستی از گونه‌های دریایی در سراسر جهان که گرفتار Debris ها می‌شوند و یا آن‌ها را می‌خورند نشان داده شده است (European Commission (DG Environment), 2011).

---

<sup>۱</sup>Hypoxia  
<sup>۲</sup>Anoxia  
<sup>۳</sup>Pelagic

فصل دوم: پسماند پلاستیک‌ها و تأثیر آن‌ها بر محیط‌زیست و سلامت انسان ۳۱

جدول ۲-۱- تعداد و درصد گونه‌های دریایی سراسر جهان برای خوردن و گرفتار شدن در Debris ها

| تعداد و درصد گونه‌ها برای خوردن Debris ها | تعداد و درصد گونه‌های گرفتار در Debris ها | تعداد کل گونه‌های سراسر جهان | گروه گونه‌ها         |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|----------------------|
| ۶ (۸۶ درصد)                               | ۶ (۸۶ درصد)                               | ۷                            | لاک‌پشت‌های دریایی   |
| ۱۱۱ (۳۶ درصد)                             | ۵۱ (۱۶ درصد)                              | ۳۱۲                          | پرندگان دریایی       |
| ۲۶ (۲۳ درصد)                              | ۳۲ (۲۸ درصد)                              | ۱۱۵                          | پستانداران دریایی    |
| ۳۳                                        | ۳۴                                        | -                            | ماهی‌ها              |
| ۰                                         | ۸                                         | -                            | سخت‌پوستان           |
| ۱                                         | ۰                                         | -                            | اسکویدها (ماهی مرکب) |
| ۱۷۷                                       | ۱۳۱                                       | -                            | تعداد کل گونه‌ها     |



شکل ۲-۴- لاک‌پشت دریایی گرفتار Debris



شکل ۲-۵- پستاندار دریایی گرفتار Debris

## ۲-۱-۲-۲- تجمع Debris های پلاستیکی مسیری ممکن برای تهاجم گونه‌های بیگانه

معرفی گونه‌های بیگانه می‌تواند پیامدهای عمده برای اکوسیستم‌های دریایی داشته باشد. معرفی گونه‌های بیگانه به دلیل گسترش فعالیت‌های انسانی به یک تهدید بالقوه برای تنوع زیستی دریایی گونه‌های بومی شده است. براساس برخی برآوردها در جهان، موجب کاهش ۵۸ درصد از تنوع زیستی گونه‌های دریایی به دلیل تهاجم گونه‌های بیگانه شده است. یکی از راه‌های معرفی گونه‌های بیگانه به اکوسیستم‌های دریایی تجمع Debris های پلاستیکی می‌باشد. آن‌ها می‌توانند طیف وسیعی از موجودات دریایی را به محیطی خاص معرفی کنند که تا حالا در آن محیط وجود نداشته‌اند. ورود ناخواسته و تهاجم گونه‌های بیگانه می‌تواند موجب اختلال در خط ساحلی و جزر و مد شود (Derraik, 2002).

## ۲-۲-۲- ریز پلاستیک‌ها<sup>۳۲</sup> در اقیانوس‌ها

یافته جالبی که اخیراً درباره قطعات ریز Debris پلاستیکی مورد توجه است، ریز پلاستیک‌ها هستند. این خرده‌ها در سراسر دنیا در اقیانوس‌ها به وجود می‌آیند، به گونه‌ای که این مواد حتی در قطب جنوب نیز دیده شده‌اند. ریز پلاستیک‌ها، که نوعی آلاینده بشرساز می‌باشند، بیش از حداقل چهار دهه است که در اقیانوس‌ها تجمع یافته‌اند. نمونه‌برداری از آب‌های سطحی یا ماسه سواحل نشان می‌دهد، این جزء از آلاینده‌ها شامل دانه‌های رزین اصلی، پلت مستریج مرکب‌شده و اجزای پلاستیکی مشتق از Debris های پلاستیکی بزرگ‌تر می‌باشند (Andrady, ۲۰۱۱). پژوهشگران تعاریف مختلفی برای ریز پلاستیک‌ها و ریز آلاینده‌ها ارائه کرده‌اند. ریز آلاینده‌ها ذرات ریز قابل رؤیتی هستند که از الک ۵۰۰ میکرومتر عبور می‌کنند، اما روی الک ۶۷ میکرومتر باقی می‌مانند (قطری بین ۰/۰۶ تا ۰/۵ میلی‌متر). ذرات بزرگ‌تر از این مقدار مزو آلاینده گفته می‌شود. سایر پژوهشگران ریز پلاستیک‌ها را ذراتی با محدوده اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر تعریف کرده‌اند. ذرات پلاستیکی با قطری تا ۵ میلی‌متر معمولاً در آب دریا وجود دارند. خرده پلاستیک‌های در محدوده اندازه مزبور ریز پلاستیک‌ها در نظر گرفته شده و به ذرات بزرگ‌تر مزو پلاستیک‌ها اطلاق می‌شود. آلاینده‌های آلی پایدار<sup>۳۴</sup> در آب‌های سراسر دنیا با غلظت بسیار کم وجود دارند، به وسیله مزو یا ریز پلاستیک‌ها حمل می‌شوند. آلاینده‌های آلی پایدار آب‌گریز موجب می‌شود تا غلظت این دسته از مواد در مزو یا ریز آلاینده‌ها چند برابر غلظت این مواد در آب اقیانوس باشد (پیرامون مقدم و کارخانه‌یوسفی، ۱۳۹۱). از جمله آلاینده‌های آلی پایدار در اقیانوس‌ها که به طور مداوم در طول Debris های پلاستیکی یافت می‌شوند، می‌توان به مواد شیمیایی سمی مانند بی‌فنیل‌های پلی‌کلرینه<sup>۳۵</sup>، ثانیل فنول<sup>۳۶</sup>، آفت‌کش‌های آلی مانند دی‌کلرو دی‌فنیل تری‌کلرو اتان<sup>۳۷</sup>، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای<sup>۳۸</sup>، پلی‌برومینتد

---

<sup>۳۲</sup>Microplastics

<sup>۳۳</sup>Persistent Organic Pollutants (POPs)

<sup>۳۴</sup>Poly Chlorinated Biphenyls (PCBs)

<sup>۳۵</sup>Nonyl Phenol (NP)

<sup>۳۶</sup>Dichloro Diphenyl Trichloroethane (DDT)

<sup>۳۷</sup>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

بی‌فنیل اتر<sup>۳۹</sup> و بیسفنل ای<sup>۴۰</sup> اشاره کرد (Webb et al., 2013). وقتی این پلاستیک‌های آلوده توسط گونه‌های مختلف دریایی بلعیده شوند، مسیر اینکه چگونه آلاینده‌های آلی پایدار وارد شبکه غذایی می‌شوند، آشکار می‌شود. گستردگی زیست دسترس‌پذیری به آلاینده‌های آلی پایدار حل شده در ریزپلاستیک‌ها تا موجودات زنده و زیست بزرگ‌نمایی بالقوه آن‌ها در شبکه غذایی هنوز به طور مفصل بررسی نشده است. ریزپلاستیک‌ها برخلاف اجزای بزرگ‌تر با چشم غیرمسلح قابل رؤیت نیستند. حتی رزین‌های مخلوط شده با ماسه‌ها نیز به آسانی قابل تشخیص نیستند. با نمونه‌برداری معمولی نمی‌توان ریزپلاستیک‌ها را جمع‌آوری کرد و هیچ روش استاندارد یا به حال برای جمع‌آوری این مواد در آب یا ماسه ارائه نشده است (پیرامون مقدم و کارخانه‌یوسفی، ۱۳۹۱).

## ۲-۲-۳- Debris های پلاستیکی در رودخانه‌ها و مصب‌ها

بررسی پسماندهای پلاستیکی در رودخانه و مصب می‌تواند در تلاش برای شناسایی منابع مفید باشد. براون و همکاران در سال ۲۰۱۰ ترکیبی از Debris های پلاستیکی را در مصب در دو قسمت سطح آن و ۳ سانتی‌متر از رسوبات آن را مورد بررسی قرار دادند. خارج از ۹۵۲ موارد یافت شده، ریزپلاستیک‌های (کمتر از یک میلی‌متر) محاسبه شده برای ۶۵ درصد از Debris ها و به طور عمده (۸۰ درصد) شامل پلاستیک‌های فشرده‌تر مانند پلی‌وینیل کلراید (PVC)، پلی‌استر و پلی‌آمید (PA) می‌باشند. درشت‌پلاستیک‌ها<sup>۴۱</sup> تمایل کمتری به متراکم شدن دارند. توضیحاتی احتمالی برای این مسئله وجود دارد. برای مثال، آن‌ها پلاستیک‌های فشرده‌تری هستند و در تماس با ذرات ساینده در رسوبات رنج بیشتری از هوازدهی را تحمل می‌کنند، یا اینکه ریزپلاستیک‌ها متراکم‌تری هستند و به راحتی در رسوبات شناسایی می‌شوند و به نظر می‌رسد که فراوان هستند. یکی از منابع Debris ها می‌تواند تخلیه تصفیه فاضلاب که ممکن است حاوی الیاف‌ها و ریزپلاستیک‌ها باشد. گالگانی و همکاران در سال ۲۰۰۰ پیشنهاد دادند که جریان‌های قوی در رودخانه‌های

<sup>۳۹</sup>Poly Brominated Diphenyl Ethers (PBDEs)

<sup>۴۰</sup>Bisphenol A (BPA)

<sup>۴۱</sup>Macroplastics

فصل دوم: پسماند پلاستیک‌ها و تأثیر آن‌ها بر محیط‌زیست و سلامت انسان ۳۵

بزرگ ممکن است باعث انتقال Debris ها شوند. در حالی که در رودخانه‌های کوچک‌تر که جریان ضعیف‌تری دارند، Debris ها گرایش به تبدیل شدن به ساحل مصب‌ها را دارند.

مور و همکاران در سال ۲۰۱۱ مقدار و نوع Debris های پلاستیکی را از دو رودخانه شهری به آب‌های ساحلی و سواحل جنوب کالیفرنیا را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها در طول ۷۲ ساعت با استفاده از شبکه‌ها در رودخانه‌ها، ۲/۳ میلیارد قطعه پیدا کردند که ۳۰۵۰۰ کیلوگرم وزن داشت. اکثر آن را اسفنج‌هایی مانند پلی‌استایرن (PS) شامل ۷۱ درصد، پس از آن قطعات متفرقه شامل ۱۴ درصد، پلت‌های پیش تولید شامل ۱۰ درصد و موارد دیگر را شامل می‌شد. ۸۱ درصد از پلاستیک‌ها بین یک و ۴/۷۷ میلی‌متر بودند که در کالیفرنیا به عنوان پسماند شناخته می‌شوند ( Science for Environment Policy, 2011).

#### ۲-۲-۴- آسیب پسماند پلاستیک‌ها به حیات وحش

اگرچه تحقیقات کمی از اثرات خاص پسماندهای پلاستیکی در حیات وحش زمینی وجود دارد، نگرانی که در این مورد می‌توانیم داشته باشیم می‌تواند به دفن نادرست پسماندهای پلاستیکی در محل دفن آن‌ها باشد. دفن نادرست آن‌ها می‌تواند به خروج شیرابه که حاوی مواد شیمیایی مرتبط با پلاستیک هستند را منجر شود. علاوه بر این، روش بازیافت غیررسمی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، می‌تواند موجب انتشار مواد شیمیایی به حیات وحش شود. برای مثال سوزاندن سیم‌هایی با پوشش پلاستیکی برای استخراج فلز می‌تواند موجب انتشار مواد شیمیایی به حیات وحش شوند که موجب آسیب به حیات وحش را فراهم می‌کنند ( Science for Environment Policy, 2011).

#### ۲-۲-۴-۱- اثرات پسماند پلاستیک‌ها به زیستگاه‌ها

به عنوان یک تأثیر فیزیکی مستقیم بر روی حیات وحش دریایی و انسانی، پسماندهای پلاستیکی بر هر دو زیستگاه زمینی و دریایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

تصور می‌شود که پسماندهای پلاستیکی یک مشکل برای زیستگاه انسان‌ها باشد، اما اثرات قابل توجهی بر روی زیستگاه‌های حیات وحش دارند. بیشترین اثرات این پسماندها بر روی محیط‌زیست دریایی می‌باشد و شواهد کمی در مورد تأثیرات احتمالی بر روی زیستگاه‌های زمینی وجود دارد. اگرچه اغلب پلاستیک شناور است، می‌تواند توسط برخی از جریان‌های پایین رونده، جبهه‌های اقیانوسی و یا رسوب گذاری سریع و سنگین در اعماق دریا غرق شود. یک احتمالی که وجود دارد، اینکه ممکن است پسماندهای پلاستیکی در بستر دریا موجب تغییر در عملکرد اکوسیستم شود. گلدبرگ در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد کرده است که ورقه‌های پلاستیکی می‌توانند مانند یک پتو عمل کنند و تبادل گاز را مهار کنند که منجر به فقدان و کمبود اکسیژن می‌شوند. پسماندهای پلاستیکی نیز می‌توانند زمین‌های سخت مصنوعی ایجاد کنند و دفن موجودات را با مشکل مواجه کنند. این پسماندها بر روی سواحل نیز تأثیر می‌گذارند. اغلب پسماندهای پلاستیک یا Debris ها بر روی ساحل انباشته می‌شوند و می‌توانند برای زیستگاه موجوداتی از قبیل گونه‌های مهره‌داران یا بی مهرگان و به خصوص پرندگان مشکلاتی را ایجاد کند. قطعات پلاستیکی به نظر می‌رسد که موجب افزایش نفوذپذیری ساحل می‌شوند و به طوری که حجم بیشتری از آب می‌تواند از آن عبور کند. که باعث می‌شود آب ساحل با مواد مغذی غنی‌سازی و به طور بالقوه موجب تغییر در اکوسیستم شوند. قطعات پلاستیکی موجب می‌شود که ساحل با سرعت کندتری گرم شود و حداکثر درجه حرارت پایین بیاید. این موضوع می‌تواند پیامدهایی برای حیات وحش ساحل ایجاد کند، به خصوص برای لاک‌پشت دریایی که تخم‌های خود را درون رسوبات دفن می‌کند و رابطه جنسی فرزندان بستگی به درجه حرارت شن و ماسه ساحل دارد ( Science for Environment Policy, 2011).



شکل ۲-۶- Debris های پلاستیکی در ساحل دریا

#### ۵-۲-۲- اثرات پسماند پلاستیک‌ها در خاک

بیشترین خطرات ناشی از پسماندهای پلاستیکی در واقع به سبب مواد افزودنی آمیخته با آن‌ها است. تجزیه آرام و کند برخی انواع پلاستیک‌ها در محل‌های دفن می‌تواند سبب تشکیل شیرابه و نفوذ آن به آب‌های زیرزمینی شود. این شیرابه شامل ترکیباتی نظیر فلزات سنگین و سایر ترکیبات خطرناک است که جزء ترکیبات زیان‌آور برای محیط‌زیست می‌باشند. مواد پلاستیکی و پلیمری به علت دارا بودن مواد نفتی و خاصیت تجزیه‌ناپذیری در خاک باقی می‌مانند و به این ترتیب مواد شیمیایی آن به تدریج از طریق خاک وارد زنجیره غذایی انسان می‌شود. پلاستیک سبک و نازک به هیچ وجه و در هیچ کجای دنیا قابل بازیافت نیست و پس از مصرف به عنوان پسماند وارد خاک می‌شوند. وقتی این مواد به صورت پسماند در خاک باقی می‌مانند، به شکل عایق عمل می‌کنند، به عبارتی این مواد از تبادل هوا میان مولکول‌های خاک جلوگیری کرده و مانع تنفس طبیعی خاک می‌شوند. بنابراین هر چه از نفوذ این مواد به خاک بیشتر جلوگیری شود، به همان میزان خاک نیز بهتر حفاظت خواهد شد. در غیر این صورت حتی اگر تجزیه هم شوند، مواد نفتی به عنوان یک ماده اضافی در خاک باقی مانده و ترکیب طبیعی

خاک را به هم می‌زند. ورود این مواد به داخل جوی آب و نهرها در داخل شهرها و هدایت آنان به فاضلاب شهری، ظروف مصرفی همراه با فاضلاب حرکت خود را به سمت مناطق شهری ادامه داده و باعث نشر آلودگی در سطح شهر می‌شوند. در ادامه مسیر این مواد همراه با فاضلاب وارد زمین‌های کشاورزی شده و در سطح زمین کشاورزی پخش می‌گردند که این پسماندها با طول عمر زیاد در زمین‌های کشاورزی باعث آلودگی خاک کشاورزی و کم شدن حاصلخیزی خاک زمین‌های کشاورزی می‌شوند و همچنین آلودگی حاصل از این مواد در محصولات کشاورزی می‌تواند وارد چرخه غذایی انسان گردد (ستاد محیط‌زیست و توسعه پایدار شهرداری تهران، ۱۳۹۱).

#### ۶-۲-۲- تأثیر پسماند پلاستیک‌ها بر آلودگی هوا

سوزاندن کنترل نشده پسماندهای پلاستیکی نیز از نظر اکولوژیکی غیر قابل قبول است و سبب آلودگی هوا و انتشار بخارات سمی به هوا خواهد شد. بیشترین اثرات محیط‌زیستی ناشی از سوزاندن این مواد به افزودنی‌های موجود در آن‌ها مربوط است. به خصوص اینکه پسماندهای پلاستیکی دارای اجزای فلزات سنگین می‌باشند. کوره‌های سوزاننده پسماندها همچنین قادرند مقادیر زیادی گازهای سمی و زیانآور تولید کنند. آلاینده‌های اساسی مربوط به سوزاندن پسماندهای پلاستیکی عبارتند از: فلزات سنگین (مثل کادمیوم، سرب، قلع، آنتیموان، روی)، اسیدهای خطرناک (مثل کلرید هیدروژن، فلورید هیدروژن)، دیوکسین‌ها، فوران‌ها، ذرات گرد و غبار ریز، دی اکسید گوگرد و غیره (ستاد محیط‌زیست و توسعه پایدار شهرداری تهران، ۱۳۹۱).



شکل ۲-۷- سوزاندن پسماندهای پلاستیکی و آلودگی هوا

### ۳-۲- اثرات بهداشتی پسماند پلاستیک‌ها بر انسان

در شرایطی که در تمام دنیا استفاده از پلی‌وینیل کلراید (PVC) صنعتی برای مصارف غذایی و بسته‌بندی به طور کامل منسوخ شده است و حتی اخیراً در تولید لوازم منزل و اسباب‌بازی نیز این محدودیت در جهان به وجود آمده است. به گفته کارشناسان، در ایران به رغم نظارت وزارت بهداشت، به دلیل صرفه‌های اقتصادی، گروهی از تولیدکنندگان همچنان از موادی استفاده می‌کنند که تأثیر آن‌ها بر سلامت مردم در درازمدت آشکار می‌شود. ظروف یکبار مصرف (از نوع پلاستیک های پلی‌پروپیلن (PP) و غیره) و کیسه‌های پلاستیکی (از نوع گروه پلی‌اتیلن با چگالی کم (LDPE)) مشکلات بهداشتی را ایجاد می‌کنند. ظروف یکبار مصرف در ایران حاوی پلیمرهایی هستند که اکثراً در اثر حرارت مواد غذایی داغ، اسیدی و چرب رادیکال آزاد تولید می‌کنند. استفاده از این ظروف ممکن است از بروز بیماری‌های عفونی جلوگیری کنند. چون با یکبار مصرف دور انداخته می‌شوند، اما باید توجه داشت که برخی از مواد شیمیایی تشکیل دهنده این ظروف نیز در دراز مدت و در اثر استفاده مکرر این ظروف، منجر به بروز انواع اختلالات گوارشی و ریوی، علاوه بر سرطان و سایر بیماری‌های غیر واگیر می‌شوند. در ساخت ظروف

یکبار مصرف، به منظور جلوگیری از شکنندگی ظروف، از مواد پلاستیکی لایزر استفاده می‌شود. بنابراین اگر درون این ظروف آب جوش یا غذای داغ مانند آش ریخته شود، این مواد حل شده وارد بدن می‌شوند و به دلیل داشتن ترکیبات خاص، در اثر استفاده طولانی مدت از این مواد منجر به بروز سرطان‌های مختلف خواهند شد. علاوه بر این، ظروف یکبار مصرف پلیمری و کیسه‌های پلاستیکی در صورت تماس با مایعات و مواد غذایی بالای ۴۰ درجه، ماده‌ای شیمیایی به نام استایرن از خود خارج می‌کنند که موجب تلخی غذا شده و بیش از ۷۷ نوع بیماری سرطان‌زا را به همراه دارد. چربی‌هایی که روی مایعات داغ داخل لیوان‌های یکبار مصرف پلاستیکی قرار می‌گیرد همان پلی استایرن (PS) سمی خارج شده از پلاستیک است که روی سیستم‌های عصبی، قلب و گوارش انسان تأثیر منفی می‌گذارد. کم‌اشتهایی، عصبانیت و بروز بیماری‌هایی اعم از سرطان، جهش در زنان باردار و بیماری‌های ریوی از مهم‌ترین اثرات استفاده از ظروف یکبار مصرف پلاستیکی در طول زمان می‌باشد. البته باید گفت که این مشکل برای کودکانی که با اسباب بازی های پلاستیکی بازی می‌کنند و بیشتر اوقات آن‌ها را در دهان خود می‌گذارند نیز حائز اهمیت است. همچنین افرادی که پس از خرید نان آن را داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار می‌دهند که گرمای نان باعث شکسته شدن شاخه‌های پلیمری کیسه و مهاجرت مونومر به داخل مواد موجود در آن و در نتیجه ورود به سیستم غذایی و بدن انسان خواهد شد که نهایتاً در دراز مدت منجر به سرطان می‌شود. این پلاستیک‌ها به علت سبکی در هنگام وزش باد به راحتی جا به جا شده و می‌توانند به فضای زمین‌های اطراف مرکز دفن منتقل شوند که با همین امر بسیاری از عوامل میکروبی و پاتوژنی را منتقل می‌نمایند. پلاستیک‌های معمولی نیز دارای مواد کلره هستند و در صورت سوزاندن این مواد، گازهایی از قبیل گاز کلرید، اسید کلریدریک، انواع فوران‌ها و فنیل‌ها و از همه مهم‌تر گاز خطرناک، سمی و سرطان‌زای دیوکسین در محیط منتشر می‌شود و به راحتی استنشاق می‌گردد. دیوکسین از قرار گرفتن مواد پلاستیکی در مجاورت حرارت بالا یا دماهای خیلی پایین (نزدیک به نقطه انجماد) آزاد می‌شود. در واقع همین ظروف مختلف پلاستیکی که هر روزه با آن‌ها سر و کار داریم در صورت قرار گرفتن در معرض حرارت بالا و دماهای خیلی پایین، دیوکسین آزاد می‌کنند. به همین دلیل نوشیدن چای در

## فصل دوم: پسماند پلاستیک‌ها و تأثیر آن‌ها بر محیط‌زیست و سلامت انسان ۴۱

ظروف یکبار مصرف پلاستیکی و همچنین آب یخ زده در داخل این ظروف، در صورت استفاده مداوم در دراز مدت می‌تواند موجب ایجاد سرطان‌های دستگاه گوارش شود. علاوه بر موارد ذکر شده، وجود مواد پلیمری در پسماندها باعث مهیا شدن و تثبیت رطوبت و حفظ مواد غذایی موجود در پسماند می‌شود که این شرایط، مگس‌ها را که ناقل انواع اسهال، حصبه، وبا، سل و غیره هستند و موش‌ها که ناقل تیفوس و طاعون است را اشاعه می‌دهد. همچنین تجمع حیوانات ولگرد (گره و سگ) را در شهر افزایش می‌دهد (ستاد محیط‌زیست و توسعه پایدار شهرداری تهران، ۱۳۹۱).



## فصل سوم: مدیریت پسماند پلاستیک‌ها در محیط زیست

### ۱-۳- مدیریت پسماند

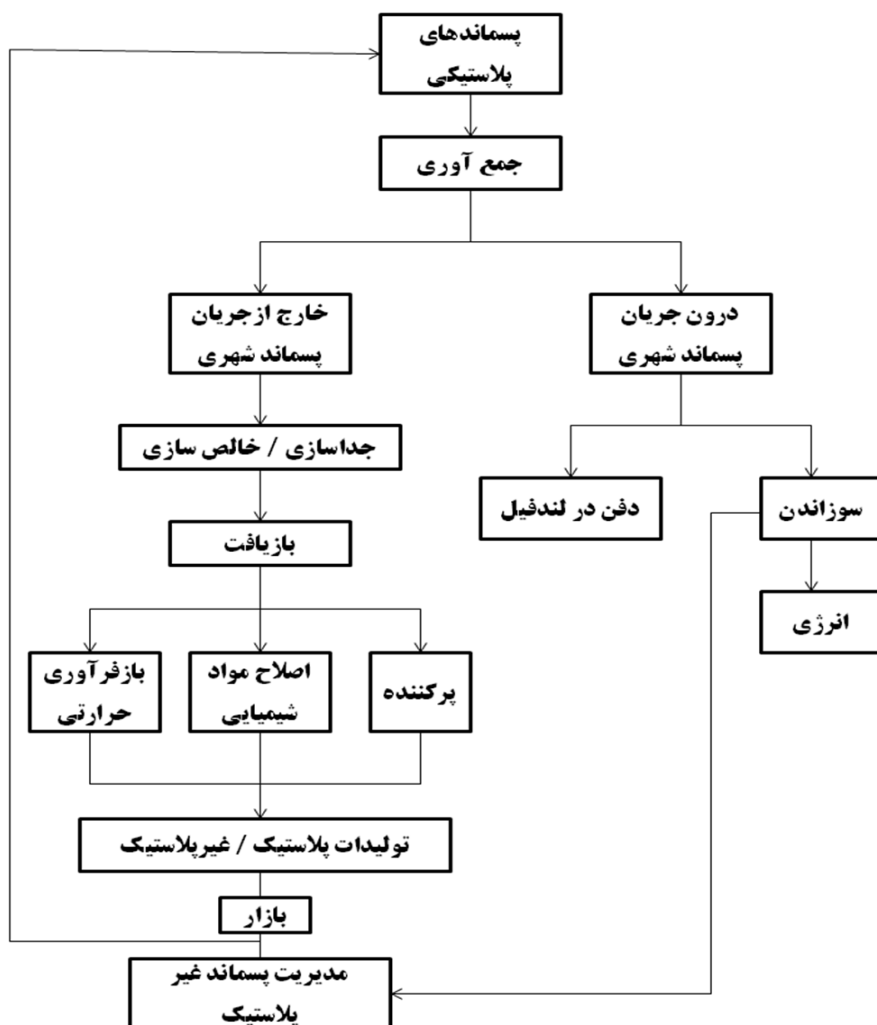
سیستم مدیریت پسماند شهری به معنای امروزی آن، در دهه ۱۹۳۰ در کشورهای صنعتی پدید آمد. تا دهه ۱۹۷۰ پسماند به عنوان «دورریز» نگاه می‌شد. در این شیوه‌ها معایب متعدد بهداشتی، محیط‌زیستی، اقتصادی و زیباشناختی وجود داشت، که در سایه تحولات تکنولوژی و افزایش آگاهی‌های عمومی سیستم‌های جدید مدیریت پسماند در کشورهای صنعتی و سایر کشورهای دنیا به تدریج توسعه یافت. در این دگرگونی‌ها توجه به مسائل محیط‌زیستی و شرایط سیاسی و اقتصادی آن، مسائلی نظیر صرفه‌جویی در مصرف مواد و انرژی و بازیافت آن‌ها از پسماند شهری به طور جدی مورد توجه قرار گرفت و به مرور زمان فرآیند پردازش و بازیافت پسماند جایگاه کلیدی‌تری در مدیریت پسماند پیدا کرد. در دهه هشتاد و نود میلادی، مسئله «توسعه پایدار» مطرح شد و صاحب‌نظران به این نتیجه رسیدند که بدون لحاظ کردن سه جنبه اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی، نمی‌توان امید داشت که منابع محدود کره زمین پاسخ‌گوی نیازهای نسل‌های بعدی نیز باشد (نورپور و همکاران، ۱۳۹۲).

شروع مدیریت پسماند در ایران را می‌توان مصادف با تأسیس اولین شهرداری در کشور در سال ۱۲۹۰ دانست. بدیهی است که در آن زمان در ایران نیز همانند سایر نقاط دنیا، پسماند ماده‌ای «زائد» تلقی می‌شد که تنها لازم بود از محیط زندگی انسان‌ها دور شود؛ بنابراین در نقاط پرجمعیت ایران مشکلاتی مشابه آنچه ذکر شد به وضوح مشاهده می‌شد. از اوایل دهه ۱۳۶۰ با فعالیت‌هایی که شهرداری‌ها در شهرهای بزرگ برای گسترش و توسعه خدمات شهری آغاز کردند، نشانه‌هایی از تحول در سیستم مدیریت پسماند در ایران مشاهده شد. پس از آن و تا به امروز گرچه تلاش‌های فراوانی برای ارتقای شیوه‌های مدیریتی و تشکیلاتی و سازماندهی انجام گرفته است و پیشرفت‌های مشهودی در همه زمینه‌ها مشاهده می‌شود، اما هنوز با سیستم‌های مدیریت پسماند در کشورهای صنعتی دنیا فاصله قابل توجهی وجود دارد (نورپور و همکاران، ۱۳۹۲).

اجزای اصلی یک سیستم مدیریت جامع پسماند امروزی به طور کلی شامل کاهش منابع، استفاده مجدد، بازیافت، دفع و استفاده از پسماند برای انرژی می‌باشد (Siddique et al., 2013). تفکیک، پردازش و بازیافت در هر مرحله از مدیریت جریان پسماند ممکن است انجام گیرد. طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم جامع و پایدار مدیریت پسماند نیازمند بررسی ویژگی‌های مختلف پسماند در منطقه (نرخ تولید، کمیت و کیفیت، منبع و غیره) و خصوصیات خود شهر (زیرساخت‌های موجود، توان اقتصادی، توپوگرافی، شرایط آب و هوایی، وضعیت معابر شهری، فرهنگ، سبک زندگی مردم و غیره) به صورت جزئی است (نورپور و همکاران، ۱۳۹۲). در این فصل به بررسی مدیریت پسماند پلاستیک‌ها و روش‌هایی برای کاهش، بازیافت، استفاده مجدد، مواد جایگزین و غیره آن‌ها می‌پردازیم.

### ۳-۲- چارچوبی برای مدیریت پسماندهای پلاستیکی

شکل کلی از فرآیند مدیریت پسماندهای پلاستیکی در شکل ۳-۱ نشان داده شده است (Siddique et al., 2013).



شکل ۳-۱- فرآیند مدیریت پسماند پلاستیک

## ۳-۲-۱- جمع‌آوری

پسماندهای پلاستیک را می‌توان به دو روش بازیابی کرد. روش اول شامل جمع‌آوری پلاستیک‌ها پس از ورود آن‌ها به جریان پسماند شهری می‌باشد. روش دوم نیز شامل جمع‌آوری پلاستیک‌ها قبل از ورود آن‌ها به جریان پسماند شهری می‌باشد. بیشتر پسماندهای روش اول پس از مصرف کردن در نهایت وارد جریان پسماندهای شهری می‌شوند. این پسماندها بسیار آلوده و خطرناک هستند که یا در لندفیل دفن می‌شوند و یا برای کاهش حجم و بازیابی محتوای انرژی آن‌ها سوزانده می‌شوند. در مقابل پسماندهای پلاستیکی جمع‌آوری شده خارج از جریان پسماندهای شهری به نسبت تمیز هستند و پس از برخی فرآیندهای جداسازی و خالص‌سازی بازیافت می‌شوند (Siddique et al., 2013).

## ۳-۲-۲- محل دفن پسماند (لندفیل) پلاستیک‌ها

دفع پلاستیک در محل دفن پسماند برخی نگرانی‌ها از جمله تنزل بسیار آرام مواد را افزایش می‌دهد. تخریب پلاستیک‌ها موضوعی است که در محل دفن پسماند تأثیر کمی در ظرفیت دفن می‌گذارد. پسماندهای پلاستیکی مشکلاتی در عملیات دفن پسماند ایجاد نمی‌کنند. تجزیه زیستی پلاستیک‌ها با استفاده از مواد افزودنی مانند نشاسته به پلاستیک می‌تواند یک روشی برای کنترل پسماندهای پلاستیکی در لندفیل باشد. برای این کار باید نور، هوا، رطوبت کافی و مواد مغذی برای حفظ عمل میکروبی و تجزیه زیستی وجود داشته باشند (Siddique et al., 2013).

## ۳-۲-۳- سوزاندن پلاستیک‌ها

محتوای گرما را می‌توان با سوزاندن از پسماندهای پلاستیک بازیابی کرد. پسماندهای پلاستیکی به دلیل اینکه دارای اکثر زیرین‌ها هستند می‌توانند یک منبع سوخت خوب باشند که ارزش حرارتی آن به طور تقریبی معادل زغال‌سنگ است. علاوه بر ارائه یک منبع جذاب از انرژی‌های جایگزین، حفظ منابع طبیعی و به حداقل رساندن

تأثیر وابستگی به انرژی، سوزاندن نیز تا حد زیادی ۹۰ تا ۹۵ درصد حجم پسماندها را کاهش می‌دهد. اما به دلیل انتشار گازهای سمی مقاومت‌های برای سوزاندن این پسماندها وجود دارد (Siddique et al., 2013).

### ۳-۲-۴- بازیافت پلاستیک‌ها

بازیافت پلاستیک در هر برنامه مدیریت پسماندهای پلاستیکی در نظر گرفته شده است. بازیافت علاوه بر کاهش مقدار پسماند در محل دفن، می‌تواند به طور قابل توجهی به حفاظت از محصولات پتروشیمی خام و همچنین صرفه‌جویی انرژی کمک کند. چند محدودیت فنی و اقتصادی برای بازیافت کامل و کارآمد از پسماندهای پلاستیکی به محصولات مفید وجود دارند که عبارتند از: (۱) آلودگی پسماندهای پلاستیکی با مواد دیگر مانند خاک و فلزات که می‌تواند به تجهیزات مورد استفاده برای پردازش مجدد پسماند آسیب برساند. (۲) پلاستیک‌ها شبیه آلومینیوم یا کاغذ مواد همگن نیستند، اما شامل درجات زیادی از ساختارهای مولکولی و خواص هستند و هر جزء پلاستیکی در پسماند مخلوط دارای رفتار متفاوت ذوب، رئولوژی و پایداری حرارتی می‌باشد. (۳) معمولاً مخلوط‌های پلاستیکی غیر قابل حل و حالت پیوسته دارند. (۴) مواد اولیه پسماند پلاستیک معمولاً در طول زمان یکسان نیست. (۵) پسماندهای پلاستیکی دارای چگالی نسبتاً کمی هستند. بنابراین به منظور کاهش هزینه‌های حمل و نقل و تا قبل از حمل و نقل آن‌ها را فشرده می‌کنند (Siddique et al., 2013).

### ۳-۲-۵- روش‌های بازیافت و کاربردهای ساختاری

#### ۳-۲-۵-۱- بازیافت مکانیکی

بازیافت مکانیکی پلاستیک به فرآیندهایی شامل ذوب کردن، خرد کردن و یا ریز کردن پسماندهای پلاستیکی اشاره می‌کند. پلاستیک‌ها قبل از بازیافت مکانیکی باید طبقه‌بندی شده باشند. فناوری‌هایی که برای طبقه‌بندی و مرتب‌سازی پلاستیک‌ها به طور خودکار وجود دارد که می‌توان به استفاده از فن‌آوری‌های مختلف از جمله

فلورانس اشعه ایکس، مادون قرمز و طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک، الکترواستاتیک و شناورسازی اشاره کرد. پس از مرتب‌سازی، پلاستیک‌ها یا به طور مستقیم ذوب می‌شوند و شکل جدیدی به خود می‌گیرند و یا پس از خردشدن به تکه‌های ریز به گرانول‌ها پردازش داده می‌شوند و سپس ذوب می‌شوند. پس از این مراحل پلاستیک‌ها را به صورت همان فرآورده‌های اولیه‌شان در می‌آیند. از مطالعات صورت گرفته در این روش می‌توان به بازیافت پسماند پلاستیک‌های ترموپلاست از جمله PE, PVC, PA, LDPE و HDPE اشاره کرد. مطالعات نشان دادند که مواد حاصل شده از بازیافت مکانیکی این پسماندها کیفیت مواد اولیه را داشته بودند (Siddique et al., 2013). یک نمونه از این بازیافت را می‌توان به بازیافت پلی‌آمید از لاستیک‌های قراضه به عنوان مواد مخلوط و کامپوزیت اشاره کرد (Ferreira et al., 2013).

### ۳-۲-۵- بازیافت مواد خام یا شیمیایی

توصیف بازیافت مواد خام یک طیف وسیعی از فن‌آوری‌های بازیابی پلاستیک می‌باشد که با شکستن پلیمر به مونومر تشکیل دهنده آن‌ها به نوبه خود می‌توان آن‌ها را در پلایشگاه‌ها به پلاستیک تبدیل کرد. طیف وسیعی از فن‌آوری‌های بازیافت مواد خام در حال حاضر وجود دارد. این روش‌ها شامل تجزیه حرارتی (پیرولیز)، تبدیل به هیدروژن<sup>۲</sup>، تبدیل به گاز<sup>۳</sup> و فروشکست حرارتی می‌باشند. بازیافت شیمیایی دارای انعطاف‌پذیری و مقاومت به ناخالصی بیشتری نسبت به بازیافت مکانیکی می‌باشد. با این وجود این بازیافت نیاز به سرمایه و پلاستیک‌های استفاده شده زیادی برای بازپردازش آن‌ها که به لحاظ اقتصادی قابل دوام باشد، دارد (Siddique et al., ۲۰۱۳).

### ۳-۲-۵-۱- اصلاح شیمیایی

پلاستیک‌ها را می‌توان با اصلاح شیمیایی و پلیمریزاسیون دوباره بازیافت نمود. برای پلیمریزاسیون دوباره دو روش شامل تجزیه شیمیایی (هیدرولیز) و تجزیه حرارتی (پیرولیز) وجود دارد. به عنوان مثال پلاستیک‌های PET را می‌توان به صورت اصلاح شیمیایی به پلی‌استرهای غیر اشباع تبدیل کرد. فن‌آوری پلیمریزاسیون دوباره برای پلیمرهای تک تراکمی مانند PET، اورتان‌ها، نایلون و PMMA بسیار آسان است. با این حال برای اصلاح شیمیایی پلاستیک‌های مخلوط به تولید مفید و مواد اولیه شیمیایی بسیار پیچیده است (Siddique et al., 2013).

### ۳-۲-۵-۲- بازفرآوری حرارتی

این روش شامل حرارت دادن ترموپلاست‌ها در دمای بسیار بالا و ساخت جریان پلاستیک است. سپس پلاستیک بعد از اینکه سرد شد به یک محصول جدید تبدیل می‌شود. این روش شامل اصلاح ترکیب شیمیایی از پلاستیک نمی‌باشد. به عنوان مثال پلاستیک‌های PET و پلی‌استرهای ترموپلاست بعد از حرارت دادن می‌توانند به پانل‌های ساختمان، دیوارهای حصار و الیافی برای فرش تبدیل شوند. این روش را نمی‌توان به صورت نامحدود تکرار کرد و چنانچه بازفرآوری حرارتی تکرار شود اثرات نامطلوبی بر خواص پلاستیک می‌گذارد. این روش برای پلاستیک‌های گرماسخت یا ترموست‌ها کاربرد ندارد، به دلیل اینکه آن‌ها نمی‌توانند در دمای بالا نرم شوند. اگر از مخلوط ترموپلاست‌ها استفاده شود این روش بیشتر درگیر می‌شود. پس می‌بایست پلاستیک‌های مختلف را از هم جدا کرد. جداسازی پلاستیک‌ها بسته به منبع پسماندها می‌تواند آسان و یا پیچیده باشد (Siddique et al., 2013).

### ۳-۲-۵-۳- پرکننده‌ها

پسماندهای پلاستیکی نیز می‌توانند با رزین‌های دست نخورده و یا مواد دیگری مانند بتن به عنوان مواد پرکننده در ساخت و ساز جاده‌ای استفاده شوند. به طور کلی در

چنین کاربردهای پلاستیک‌ها، ترکیب شیمیایی آن‌ها معنی‌دار نمی‌باشد. این روش یک راه آسان برای بازیافت ترموست‌ها و پلاستیک‌های آلوده می‌باشد. پسماندهای پلاستیک نیز ممکن است به عنوان جایگزین بخشی از مصالح معدنی در کاربردهای بتن برای کاهش وزن بی‌کاربرد ساختار آن‌ها مورد استفاده قرار گیرد. مزایای استفاده از لاستیک بازیافت شده به مخلوط آسفالت شامل افزایش مقاومت ترمز تحت شرایط یخ زدن جاده، بهبود انعطاف‌پذیری و مقاومت در برابر ترک خوردگی و همچنین کاهش سر و صدای ترافیک اشاره کرد (Siddique et al., 2013). از جمله این پرکننده‌ها می‌توان به آمیخته شدن پلی‌پروپیلن (PP) بازیافتی با قیرهای دمیده و نرم برای تولید آسفالت اشاره کرد (حدادی و همکاران، ۱۳۸۶). مثال دیگر می‌توان به بررسی استفاده از پلی‌وینیل کلراید (PVC) بازیافتی به همراه پوره چوب پهن‌برگان در ساخت چندسازه چوب - پلاستیک اشاره کرد (رنگ‌آور و همکاران، ۱۳۹۲).

### ۳-۳-۳- مراحل بازیافت پسماندهای پلاستیکی شهری

مراحل بازیافت پسماندهای پلاستیکی شهری به شرح زیر می‌باشد:

#### ۳-۳-۱- جمع‌آوری پسماندها

جمع‌آوری پسماندهای پلاستیکی بستگی به موقعیت جغرافیایی، اجتماعی، اقتصادی و قوانین حاکم بر آن جامعه دارد. در اکثر جاها پسماند پلاستیک‌ها همراه با سایر مواد جامد مانند شیشه، آهن، پسماندهای درختی و برگ‌ها، کاغذ، مقوا، مواد غذایی، وسایل ساختمانی و غیره جمع‌آوری می‌شوند. اما هم اکنون با تشویق‌های صورت گرفته توسط شهرداری‌ها، پسماندها توسط شهروندان به صورت جداگانه در خانه‌ها تفکیک می‌شوند. این عمل می‌تواند کمک خیلی بزرگی به مراحل بعدی بازیافت کند (حاجیان و همکاران، ۱۳۷۹).

#### ۳-۳-۲- جداسازی پسماندهای پلاستیکی از یکدیگر

معمولاً وقتی پسماندهای جامد به محل بازیابی انتقال داده می‌شود، پلاستیک‌های مختلف از دو جهت از یکدیگر جداسازی می‌شود. یکی از لحاظ ماهیت آن‌ها و

حساسیتی که در مقابل حرارت دارند که مربوط می‌شود به پلاستیک‌های گرمانرم یا ترموپلاست‌ها و دیگری پلاستیک‌هایی که در اثر حرارت خمیر نمی‌شوند که از نوع پلاستیک‌های گرما سخت یا ترموست‌ها هستند. بازیافت ترموست‌ها بدین صورت است که پس از عملیات جداسازی، خرد کردن، شستشو و خشک کردن آسیاب شده و به عنوان مواد تقویت کننده در پلاستیک‌ها در لاستیک‌سازی به کار برده می‌شوند. نوع دیگر جداسازی پلاستیک‌ها علاوه بر حالت قبلی از لحاظ رنگ آن‌ها می‌باشد. به طوری که پلاستیک‌ها با رنگ‌های زرد، آبی، قرمز، سبز از رنگ‌های سفید و بی‌رنگ جدا می‌شوند (حاجیان و همکاران، ۱۳۷۹).

### ۳-۳-۳- خرد کردن و شستشوی پسماندهای پلاستیکی

اصولاً هر چه جمع‌آوری پسماندها انتخابی‌تر باشد درجه خلوص فرآورده‌های نهایی حاصل از بازیافت دارای کیفیت بهتری است. معمولاً پلاستیک‌های جمع‌آوری شده دارای آلودگی‌های زیادی هستند. آسان‌ترین روش پاک‌سازی آن‌ها از آلودگی، شستشوی آن‌ها در حوضچه‌های آب است. آلودگی‌هایی که همراه پسماندها هستند به صورت آلودگی‌های محلول در آب و یا نامحلول می‌باشند. آلودگی نامحلول در آب معمولاً در ته حوضچه ته‌نشین می‌شوند. در ابتدای حوضچه‌های شستشو در قسمت میانی خردکننده‌های قیفی‌شکل تیغه‌های عمود برهم دوار وجود دارد که پلاستیک را در داخل دهانه قیفی‌شکل می‌ریزند. فعالیت پلاستیکی به صورت تکه کوچک در می‌آید و با عمل به هم‌زنی که در حوضچه قرار دارد و با توجه به تعدادی از مواد پاک کننده در ظروف مایعات پاک‌کننده عمل شستشو به خوبی انجام می‌شود. سپس تکه‌های خردشده پلاستیک از سرریز حوضچه‌ها وارد ظروف خشک‌کننده می‌شود. در این ظروف بر اثر نیروی گریز از مرکز پسماندهای پلاستیکی خشک می‌شوند (حاجیان و همکاران، ۱۳۷۹).

### ۳-۳-۴- آسیاب کردن و مخلوط کردن با مواد نو یا مواد افزودنی

این مراحل را عمل‌آوری پسماندها نیز می‌گویند. به طور معمول پسماندهای آسیاب شده که مخلوطی از پلاستیک‌های هم‌رنگ و ترموپلاست می‌باشد بیشتر جهت تهیه

فرآورده‌های نامرغوب و کیسه‌های پلاستیکی انجام می‌شود. اگر بخواهند از آن پسماندها مواد مرغوب‌تری تهیه نمایند بایستی با استفاده از مواد نو و یا مواد افزودنی مخلوط و عمل فرآوری روی آن انجام شود. به طور مثال در مورد پسماندهایی که به صورت مخلوط‌هایی از پلی‌اتیلن سبک و پلی‌اتیلن سنگین باشد، به کار بردن حدود ۱۰ درصد از پلی‌اتیلن سبک خطی با تقویت خواص مکانیکی آن‌ها شده است. اگر پسماندها به صورت یک پلاستیک همگن باشد مانند پسماندهایی که از بازیافت بطری‌های نوشابه از جنس پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)، اضافه کردن ۸۰ درصد از ماده نو خواص کاملاً مشابهی با مواد اولیه دارد (حاجیان و همکاران، ۱۳۷۹).

### ۳-۴- پلاستیک‌های بازیافتی

تمام پلاستیک‌های تولید شده، به لحاظ ساختاری قابل بازیافت نمی‌باشند. پلاستیک‌های بازیافت شده قابل مصرف در صنایع مختلف را می‌توان با علامت بازیافت آن‌ها در شکل ۳-۲ نشان داد. پلاستیک‌های بازیافتی شامل پلاستیک‌های گرمانرم یا ترموپلاست‌ها می‌باشند.



شکل ۳-۲- پلاستیک‌های بازیافتی و علامت بازیافتی آن‌ها

۵-۳- استفاده از پلاستیک‌های زیستی به عنوان جایگزین پلاستیک‌های پلیمری به منظور رفع مشکلات حاصل از پلاستیک‌ها، محققان علوم زیستی در پی تولید پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر<sup>۴</sup> از منابع تجدید شونده مثل ریزسازواره‌ها و گیاهان می‌باشند. از جمله این منابع می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) مواد پایه سلولزی: معمولاً سلولز استر (سلولز استات و نیترو سلولز) می‌باشند.

ب) مواد بر پایه اسید لاکتیک: مانند پلی‌لاکتیک اسید (PLA) که یک پلاستیک شفاف است و از ساقه نیشکر و یا گلوکز تولید می‌شود. این ماده به صورت گرانول (دانه) عرضه می‌گردد.

ج) زیست‌پلیمرها: مانند Poly (3-PHB) نوعی پلی‌استر هستند که از یک نوع باکتری به دست می‌آیند و خاصیت آن خیلی شبیه پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن‌ها می‌باشد.

د) پلی‌آمید ۱۱ (PA 11): یک نوع زیست‌پلیمر است که از روغن طبیعی به دست آمده است. همچنین یک نوع پلاستیک مهندسی است که به پلی‌آمید ۱۲ بسیار شباهت دارد (توکلی، ۱۳۹۰).

واژه زیست تخریب‌پذیر یا به معنی موادی است که به سادگی توسط فعالیت موجودات زنده به زیر واحدهای سازنده خود تجزیه شده و بنابراین در محیط باقی نمی‌مانند. استانداردهای متعددی برای تعیین زیست تخریب‌پذیری یک محصول وجود دارد که به طور کلی به تجزیه ۶۰ تا ۹۰ درصد از محصول در مدت دو تا شش ماه محدود می‌گردد. این استاندارد در کشورهای مختلف متفاوت است. اما دلیل اصلی زیست تخریب‌پذیر نبودن پلاستیک‌های معمول، طویل بودن طول مولکول پلیمر و پیوند قوی بین مونومرهای آن‌ها بوده که تجزیه آن را توسط موجودات تجزیه کننده با مشکل مواجه می‌کند. در این بین تولید پلیمرهای زیستی جایگاه خاصی دارند. تولید این نوع پلیمرها توسط طیف وسیعی از موجودات زنده مثل گیاهان،

---

<sup>۴</sup>Biodegradable

جانوران و باکتری‌ها صورت می‌گیرد. چون این مواد اساس طبیعی دارند، بنابراین توسط سایر موجودات نیز مورد مصرف قرار می‌گیرند و تجزیه‌کنندگان از جمله مهم‌ترین این موجودات زنده می‌باشند. برای بهره‌برداری از این پلیمرها در صنعت دو موضوع باید مورد توجه قرار بگیرد:

الف) دید محیط‌زیستی: این مواد باید سریع در محیط مورد تجزیه قرار گیرند، بافت خاک را برهم نزنند و به راحتی با برنامه‌های مدیریتی پسماند و بازیافت مواد از محیط خارج شوند.

ب) دید صنعتی: این مواد باید خصوصیات مورد انتظار صنعت را از جمله دوام و کارائی را داشته باشند و از همه مهم‌تر، پس از برابری و یا بهبود کیفیت نسبت به مواد معمولی قیمت تمام شده مناسبی داشته باشد.

نکته‌ای که نباید از نظر دور داشت این است که علی‌رغم قیمت بالاتر تولید پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر، چه بسا قیمت واقعی آن‌ها بسیار کمتر از پلاستیک‌های سنتی باشد. چرای که بهای تخریب محیط‌زیست و هزینه بازیافت از تولید هیچ‌گاه مورد محاسبه قرار نمی‌گیرد (حیدری و حیدری، ۱۳۹۰).

### ۳-۵-۱- پلاستیک‌های قابل کمپوست

پلاستیک قابل کمپوست نوع جدیدی از پلاستیک‌ها هستند که قابل تجزیه زیستی و کمپوست شدن می‌باشند. آن‌ها عموماً از مواد خام قابل بازیافت مثل نشاسته (به طور مثال در سیب‌زمینی و ذرت)، سلولز، پروتئین سبوس، اسید لاکتیک و غیره ساخته شده‌اند. این پلاستیک‌ها در حین تولیدشان از مواد سمی و خطرناک استفاده نشده و در حین تجزیه شدن آن‌ها به آب، دی‌اکسید کربن و بیومس نیز به مواد سمی و خطرناک تولید نمی‌شوند. برخی از پلاستیک‌های قابل کمپوست ممکن است از مواد قابل بازیافت مشتق نشده باشند و در عوض آن‌ها از نفت مشتق شده می‌باشند یا توسط باکتری در حین فرآیند تخمیر میکروبی، تولید شده باشند. پلاستیک‌های قابل کمپوست ۱۰۰ درصد قابل تجزیه زیستی بوده و می‌توانند به کود تبدیل شده که برای گیاهان پس از تجزیه شدن مناسب خواهند بود. اخیراً انواع مختلفی از رزین‌های

پلاستیک قابل کمپوست در بازار در دسترس بوده و مقداری نیز هر روزه تولید شده و وارد بازار می‌شود. رایج‌ترین ماده خام استفاده شده برای ساخت پلاستیک قابل کمپوست نشاسته ذرت است که می‌تواند به یک پلیمر با ویژگی‌های مشابه مانند یک محصول معمولی پلاستیکی تبدیل شود (حیدری و حیدری، ۱۳۹۰).

### ۳-۵-۲- پلاستیک‌های قابل تجزیه زیستی

پلاستیک‌های قابل تجزیه زیستی پلاستیک‌های هستند که در محیط‌های هوازی طبیعی (شرایط کمپوست‌سازی) و بی‌هوازی (لندفیل) تجزیه می‌شوند. استفاده از ترکیبات زیست‌فعال ترکیب‌شده با عناصر و عوامل ایجاد تورم مطمئن می‌سازد که زمانی که آن‌ها با حرارت و رطوبت ترکیب می‌شوند ساختار مولکولی پلاستیک را گسترش داده (منبسط کرده) و اجازه می‌دهند که ترکیبات زیست‌فعال متابولیزه شده و پلاستیک را خنثی سازند. پلاستیک‌های قابل تجزیه زیستی عموماً به شکل سرویس‌های قابل عرصه غذا و فیلم‌ها می‌باشند. معمولاً در بسته‌بندی میوه‌های ارگانیک و مجموعه‌ای از انواع کیسه‌ها برای برگ‌ها و مالچ کشاورزی کاربرد دارند (حیدری و حیدری، ۱۳۹۰).

### ۳-۶- خلاقیت با پسماند پلاستیک‌ها

یکی از روش‌های مدیریت پسماندهای پلاستیکی ایده‌های ابتکاری و کارهای خلاقانه از آن‌ها می‌باشد که در زیر به بررسی چند مورد از آن‌ها می‌پردازیم.

#### ۳-۶-۱- تولید صندل کفش ژله‌ای از پلی‌وینیل کلراید (PVC)

در شکل ۳-۳ تصویر یک صندل ژله‌ای تولید شده از پسماندهای پلی‌وینیل کلراید (PVC) را می‌بینیم.



شکل ۳-۳- صندل کفش ژله‌ای از پلی وینیل کلراید (PVC)

۲-۶-۳- کاردستی بازیافتی برای ایام تعطیل: ساعت دیواری پلاستیکی  
در شکل ۳-۴ تصویر یک ساعت دیواری پلاستیکی را از پلاستیک‌های بازیافت شده مشاهده می‌کنیم.



شکل ۳-۴- ساعت دیواری پلاستیکی با پلاستیک‌های بازیافتی

۳-۶-۳- صندلی راحتی با استفاده از پلی‌اتیلن (PE) بازیافتی  
در شکل ۵-۳ یک صندلی پلاستیکی را مشاهده می‌کنیم که مواد تشکیل دهنده آن به طور کامل از پلی‌اتیلن‌های بازیافتی می‌باشد.



شکل ۵-۳- صندلی راحتی با استفاده از پلی‌اتیلن (PE) بازیافتی

۳-۶-۴- تولید قایق پلاستیکی با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)  
در شکل ۶-۳ تولید یک قایق پلاستیکی با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) را مشاهده می‌کنیم.



شکل ۳-۶- قایق پلاستیکی با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)

### ۳-۶-۵- استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) برای تولید سایه‌بان پارک ماشین

در شکل ۳-۷ یک سایه‌بان برای پارک کردن ماشین را با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) را مشاهده می‌کنیم.



شکل ۳-۷- سایه‌بان پارک ماشین با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)

۳-۶-۶- تولید گلدان با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)  
در شکل ۳-۸ گلدان‌هایی را با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)  
مشاهده می‌کنیم.



شکل ۳-۸- گلدان با استفاده از بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)

روش‌های خلاقانه بسیاری وجود دارد که از جمله می‌توان به استفاده از پلاستیک‌های  
بازیافتی برای تولید جامدادی، تزئینات، آب‌پاش، اسباب‌بازی، لانه پرندگان، لوستر و  
ساخت بسیاری از موارد دیگر اشاره کرد.



## فهرست منابع

اصلاحی نوپاشانی، ا. لطفی، م. قادری نسب، ا. ۱۳۹۲. مروری بر تولید پلی لاکتیک اسید (PLA) از زیست توده، فصلنامه علمی - ترویجی بسپارش، سال سوم، شماره ۳، ۶۶-۷۵.

باجقلی، س. سعادت، ک. نادری، ق. بوهندی، ح. ۱۳۹۲. رزین‌های اپوکسی گرماقوام، فصلنامه علمی - ترویجی بسپارش، سال سوم، شماره ۱، ۱۱-۳.

پروین زاده گشتی، م. الماسیان، آ. ۱۳۹۱. تأثیر ذره‌های نانوسیلیکا بر ویژگی‌های سطحی نانوکامپوزیت پلی‌بوتیلن ترفتالات / سیلیکا، نشریه پژوهش‌های کاربردی در شیمی، سال ششم، شماره ۳، ۵۶-۴۵.

پیرامون مقدم، ش. کارخانه یوسفی، م. ۱۳۹۱. ریزپلاستیک‌ها در محیط زیست دریا، فصلنامه پژوهشی - آموزشی بسپارش، سال دوم، شماره ۱، ۵۱-۳۲.

توکلی، م. ۱۳۹۰. بررسی روند غیر اصولی بازیافت پلاستیک‌ها و اثرات محیط‌زیستی آن‌ها، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، انجمن مهندسی محیط‌زیست ایران.

حاجیان، م. راستگو، م. ۱۳۸۸. تهیه فیلم پلی‌وینیل بوتیرال و بررسی خواص مکانیکی و شفافیت نوری آن، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال بیستم و دوم، شماره ۲، ۱۳۱-۱۲۵.

حاجیان، م. موثقی، ک. قرآنی، ا. آرزومندی، م. ۱۳۷۹. نقش بازیافت ضایعات پلاستیکی در حفظ بهداشت محیط زیست، سومین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمان.

حدادی، و. یوسفی، ع. ا. تقی گنجی، م. خسروی، م. ۱۳۸۶. خواص مکانیکی آمیخته پلی‌پروپیلن بازیافتی با قیرهای دمیده و نرم، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال بیستم، شماره ۶، ۵۵۰-۵۳۹.

حیدری، ر. حیدری، م. ۱۳۹۲. بررسی و مطالعه فواید جایگزینی پلاستیک‌ها با بیوپلاستیک‌ها در حفاظت از محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان واحد سنندج، آلودگی‌های محیط‌زیست و روش‌های کنترل آن.

داداشی، س. موسوی، م. امام جمعه، ز. ارومیه‌ای، ع. ۱۳۹۲. خواص حرارتی، نفوذپذیری نسبت به بخار آب و مورفولوژی بیونانوکامپوزیت‌های پلی‌لاکتیک اسید (PLA)، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد چهاردهم، شماره ۴، ۴۰-۲۵.

رنگ‌آور، ح. ارومیه‌ای، ع. صفرپور، ا. قلی‌پور، ط. ۱۳۹۲. بررسی استفاده از پلی‌وینیل کلراید (PVC) بازیافتی در ساخت چندانوسازه چوب - پلاستیک، فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، جلد ۲۸، شماره ۱، ۴۷-۳۵.

دهقان‌بانیانی، د. جنابعلی‌جهرمی، ا. زبرجد، م. ۱۳۹۳. بررسی نقش نانولوله‌های کربنی بر روی رفتار کششی نانوکامپوزیت زمینه وینیل استر، فصلنامه علمی - پژوهشی فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، سال هشتم، شماره ۲، ۶۴-۵۸.

زینالی، م. ا. نظری، م. سلطانی، ص. ۱۳۹۳. عوامل مؤثر بر بلورینگی پلی (وینیل الکل) تهیه شده در شرایط واکنش مختلف، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال بیستم و هفتم، شماره ۴، ۳۱۱-۲۹۹.

ستاد محیط‌زیست و توسعه پایدار شهرداری تهران، ۱۳۹۱. پلاستیک بزرگ‌ترین آلاینده قرن، بخش محیط‌زیست روزنامه هدف و اقتصاد.

سزاوار، آ. زبرجد، م. سجادی، ع. ۱۳۹۱. تأثیر نیرو نانو ذرات آلومینا بر مکانیزم‌های ایجاد آسیب ناشی از خراش نانوکامپوزیت زمینه پلی‌متیل متاکریلات، مجله مواد نوین، جلد دوم، شماره ۳، ۴۹-۳۹.

شفایی، ش. گلشن ابراهیمی، ن. ۱۳۸۶. تولید الیاف پلیمری از آمیخته بطری‌های PET بازیافتی و PP، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال بیستم، شماره ۱، ۵۸-۴۹.

شیخ، ن. کیان‌فر، ش. ۱۳۸۸. تهیه فیلم‌های جاذب پلی وینیل الکل: مقایسه فیلم‌های شبکه‌ای شده شیمیایی و پرتوی، مجله علوم و فنون هسته‌ای، شماره ۵۰، ۲۰-۱۴.

عصاره، م. ۱۳۹۰. مروری بر فرآیند تولید پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) و بررسی روش‌های مختلف بازیافت، سومین همایش ملی تحقیقات نوین در شیمی و مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر.

فرهنگ‌زاده، س. جمشیدی، ه. ۱۳۹۰. بازیافت مکانیکی پلی (وینیل کلرید) - بخش اول، فصلنامه پژوهشی - آموزشی بسپارش، سال اول، شماره ۱، ۱۲-۳.

کوره‌پزان مفتخر، م. ۱۳۹۰. تنوع ساختار و تعداد کاربرد دنیای پلی‌اورتان‌ها، فصلنامه رشد آموزش شیمی، دوره بیست و پنجم، شماره ۱، ۲۵-۲۳.

محراب‌زاده، م. رضائی‌علم، د. ۱۳۷۹. بررسی خواص فیزیکی مکانیکی، رفتار گرمایی و شکل‌شناسی آلیاژ پلی‌استال و الاستومر گرمانرم پلی‌اورتان، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال سیزدهم، شماره ۳، ۱۴۷-۱۳۹.

محمدیان‌گزاز، س. عزیزی، ح. کرابی، م. قاسمی، ا. ۱۳۸۵. بررسی خواص پلی‌پروپیلن پرشده با کلسیم کربنات برای استفاده در فرآیند شکل‌دهی گرمایی، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال نوزدهم، شماره ۳، ۲۰۱-۱۹۵.

نورپور، ع. افراسیابی، ه. داودی، م. ۱۳۹۲. بررسی فرآیند مدیریت پسماند در جهان و ایران، گزارش شماره ۲۰۷، مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران.

Alauddin, M., Choudhury, I.A., El Baradie, M.A., Hashmi, M.S.J. 1995. **Plastics and their machining: a review**, *Journal of Materials Processing Technology*, **54**: 40-46.

Andrady, A., 2011. Microplastics in the marine environment, *Marine Pollution Bulletin*, **62**: 1596-1605.

Arostegui, A., Sarrionandia, M., Aurrekoetxea, J., Urrutibeascoa, I. 2006. **Effect of dissolution**-based recycling on the degradation and the mechanical properties of acrylonitrilebutadiene styrene copolymer, *Polymer Degradation and Stability*, **91**: 2768-2774.

Derraik, J.G.B. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review, *Marine Pollution Bulletin*, **44**: 842-852.

European Commission DG Environment, 2011. Plastic Waste in the Environment, Revised final report, Institute European Environmental Policy (IEEP).

Ferreira, C.T., Perez, C.A.B., Hirayama, D., Saron, C. 2013. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **1**: 762-767.

Hati, S.S., Dimari, G.A. 2010. Polyethylene Plastics (PEP): Considerations for Its Classification as a New Type of Persistent Organic Pollutants (POPs) from a Developing Country's Perspective, *The Pacific Journal of Science and Technology*, Volume **11**. Number 1, 592-597.

Hansen, E., Sorensen, P.L., Nilsson, N.H. **2013**. Hazardous substances in plastic materials, Report Prepared by COWI in cooperation with Danish Technological Institute.

Parvaiz, R.M., Mohanty, S., Nayak, S.K., Mahanwar, P.A. **2010**. Polyetheretherketone (PEEK) Composites Reinforced with Fly Ash and Mica, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. **9**, No.1,25-41.

Puls, J., Wilson, S.A., Holter, D. **2011**. Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: A Review, J Polym Environ, **19**: 152-165.

Ronkay, F. **2013**. Effect of Recycling on the Rheological, Mechanical and Optical Properties of Polycarbonate, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. **10**, No. **1**, 209-220.

Science for Environment Policy, **2011**. Plastic Waste: Ecological and Human Health Impacts, DG Environment New Alter Service, In-depth Reports.

Siddique, R., Khatib, J., Kaur, I. **2008**. Use of recycled plastic in concrete: A review, Waste Management, **28**: 1835-1852.

Thompson, R.C., Moore, C.J., Saal, F.S.V., Swan, S.H. **2015**. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends, Phil. Trans. R. Soc. B, **364**: 2153-2166.

Urquiza, E.F., Santana, O.O., Gamez-Perez, J., Martinez, A.B., MasPOCH, M.L. **2010**. Influence of processing on the ethylene-vinyl alcohol (EVOH) properties: Application of the successive self-nucleation and annealing (SSA) technique, eXPRESS Polymer Letters Vol.4, No.3: 153-160.

Webb, H.K., Arnott, J., Crawford, R.J., Ivanova, E.P. **2013**. Plastic Degradation and Its Environmental Implications with Special Reference to Poly (ethylene terephthalate), Polymers, **5**: 1-18.

## ABBREVIATIONS

|       |                                   |
|-------|-----------------------------------|
| ABS   | Acrylonitrile Butadiene Styrene   |
| CA    | Cellulose Acetate                 |
| CAB   | Cellulose Acetate Butyrate        |
| DDT   | Dichloro Diphenyl Trichloroethane |
| EVOH  | Ethylene Vinyl alcOHol            |
| EVA   | Ethylene Vinyl Acetate            |
| HDPE  | High Density PolyEthylene         |
| LDPE  | Low Density PolyEthylene          |
| LLDPE | Linear Low Density PolyEthylene   |
| MDPE  | Medium Density PolyEthylene       |
| NP    | Nonyl Phenol                      |
| PA    | PolyAmide                         |
| PEEK  | PolyEther Ether Keton             |
| PE    | PolyEthylene                      |
| PET   | PolyEthylene Terephthalate        |
| PVC   | PolyVinyl Chloride                |
| PS    | PolyStyrene                       |
| PP    | PolyPropylene                     |
| PBT   | PolyButylene Terephthalate        |
| PVA   | PolyVinyle Acetate                |

|      |                                  |
|------|----------------------------------|
| POM  | PolyOxy Methylene                |
| PLA  | PolyLactic Acide                 |
| PTFE | PolyTetra Fluoro Ethylene        |
| PMMA | PolyMethyl MethAcrylate          |
| PVAL | PolyVinyl ALcohol                |
| PVDC | PolyVinyliDene Chloride          |
| POP  | Persistant Organic Pollutants    |
| PCB  | Poly Chlorinated Biphenyls       |
| PAH  | Polycyclic Aromatic Hydrocarbons |
| PVB  | PolyVinyl Butyral                |
| PBDE | Poly Brominated Diphenyl Ethers  |
| PC   | PolyCarbonate                    |
| PUR  | PolyURethane                     |
| VE   | Vinyl Ester                      |

# Plastics and the Environment

By:

**Farzad Mehrjo**

Graduated of String Natural Resources Engineering -  
Environment, the Tendency of Environmental Pollutions

Shahid Beheshti University of the Tehran - Environmental  
Science Research Institute (ESRI) - Department of  
Environmental Pollutants