

پلاستیکهای زیست تخریب پذیر (Compostable Plastics)

جواد عابدینی طرهبه^۱ _ علی آدینه نیا^۲ _ فاطمه عباسی^۳
سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری مشهد^{۱،۲}
اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی خراسان رضوی^۳
abedini_chem@yahoo.com

چکیده

اولین پلاستیک سنتزی، رزین فنل - فرمالدهید بود که در سال ۱۹۰۷ طی یک واکنش پلیمریزاسیون تراکمی تولید شد و از آن پس سنتز پلاستیک های متنوع افزایش یافت بطوریکه امروزه کاربرد پلاستیک ها در زندگی روزمره جایگاه ویژه ای یافته و استفاده از آنها رو به گسترش است. با توجه به عدم تجزیه این مواد پلیمری در طبیعت، پیامدهای استفاده بی رویه از آنها به یک مفصل زیست محیطی تبدیل شده است. لذا استفاده از پلاستیک های تخریب پذیر که عمدتاً منبع گیاهی دارند در کنار توجه به مباحث مدیریت پسماند، صنایع تبدیلی و تفکیک از مبداء قابل بحث است. یکی از این پلیمرهای زیستی پلی هیدروکسی آلکانوات (PHA) است که عموماً از زیر واحد بتا هیدروکسی آلکانوات بواسطه مسیر بیوسنتزی ساده با ۳ آنزیم از استیل کوآنزیم A ساخته می شود. در این مقاله به بررسی چنین پلیمرهایی پرداخته شده و تاریخچه، ویژگیها، تجزیه پذیری و کاربرد آنها مورد بحث قرار گرفته است. در ایران استاندارد در زمینه ویژگیهای این نوع پلاستیک ها در حال گردآوری و تدوین است که در این تحقیق به مطالب اصلی آن نیز اشاره شده است. در این استاندارد تعاریف و اصطلاحات مرتبط، حد مجاز فلزات سنگین در کشورهای مختلف و شرایط تجزیه پذیری بررسی شده است. استانداردهای مختلف دیگری در این زمینه قابل بررسی است که مهمترین آنها عبارتند از: ISO 16929، ISO 20200، ASTM D 5338، ISO 472، و ASTM 6400 و هدف خروجی از این تحقیق بررسی و امکان سنجی تولید گسترده چنین پلاستیک هایی است که جایگزین مناسبی برای پلاستیک های معمول بوده و قابل تبدیل به کمپوست می باشند.

واژه های کلیدی

پلاستیک، پلیمر، تخریب پذیر، پلی هیدروکسی آلکانوات، استاندارد

مقدمه

امروزه پلاستیک ها در صنعت جایگاه ویژه ای دارند و بدلیل ویژگیهای خاص نظیر سهولت شکل پذیری ، استحکام، مقرون به صرفه بودن، مقاومت در برابر خوردگی و...جانشین بسیاری از مواد شده اند . در انواع صنایع بسته بندی بویژه از نظر کاهش هزینه، حجم ضایعات و مصرف انرژی جانشین خوبی برای فلزات اند. اطرافمان انباشته از پلاستیک شده است. هر کاری که انجام می دهیم و هر محصولی را که مصرف می کنیم، از غذایی که می خوریم تا لوازم برقی به نحوی با پلاستیک سرو کار داشته و حداقل در بسته بندی آن از این مواد استفاده شده است. در کشوری مثل استرالیا سالانه حدود یک میلیون تن پلاستیک تولید می شود که ۴۰ درصد آن صرف مصارف داخلی می گردد. در همین کشور هر ساله حدود ۶ میلیون بسته یا کیسه پلاستیکی مصرف می شود. اولین پلاستیک سنتزی ، رزین فنل- فرمالدئید بود که در تلاش برای ساخت مواد پلیمری کاملاً سنتزی ، در سال ۱۹۰۷ لئو بلکنند موفق شد از متراکم کردن فنل با فرمالدئید ، رزین فنل فرمالدئید را که بعدها تحت عنوان بالکیت (بعنوان محصول نهایی) نامیده شد، تولید کند. این رزین هم در محیطهای اسیدی و هم قلیایی قابل تهیه است. گرچه بسته بندی پلاستیکی با قیمتی نازل امکان حفاظت عالی از محصولات مختلف خصوصاً مواد غذایی را فراهم می کند ولی متأسفانه معضل بزرگ زیست محیطی حاصل از آن گریبانگیر بشریت شده است. اکثر پلاستیک های معمول در بازار از فرآورده های نفتی و ذغال سنگ تولید شده و غیر قابل بازگشت به محیط هستند و تجزیه آنها و برگشت به محیط چند هزار سال طول می کشد. طبق آمار بدست آمده در سال ۱۹۹۳ در اروپای غربی تقریباً ۲۶ میلیون تن پلاستیک مصرف شده که ۱۴ میلیون تن آن ضایعات بوده است . در ایران نیز براساس آمار پتروشیمی در سال ۱۳۷۶ بیش از ۶۰۰ هزار تن از انواع پلاستیک مصرف شده که مسلماً امروزه خیلی بیشتر خواهد بود. به منظور رفع این مشکل، محققان علوم زیستی در پی تولید پلاستیک های زیست تخریب پذیر از منابع تجدید شونده مثل ریزسازواره ها و گیاهان می باشند.

واژه زیست تخریب پذیر یا Biodegradable به معنی موادی است که بسادگی توسط فعالیت موجودات زنده به زیر واحدهای سازنده خود تجزیه شده و بنابراین در محیط باقی نمانند. استانداردهای متعددی برای تعیین زیست تخریب پذیری یک محصول وجود دارد که عمدتاً به تجزیه ۶۰ تا ۹۰ درصد از محصول در مدت دو تا شش ماه محدود می گردد. این استاندارد در کشورهای مختلف متفاوت است. اما دلیل اصلی زیست تخریب پذیر نبودن پلاستیک های معمول، طویل بودن طول مولکول پلیمر و پیوند قوی بین مونومرهای آن بوده که تجزیه آن را توسط موجودات تجزیه کننده با مشکل مواجه می کند. این کیسه های زیست تخریب پذیر پس از باز شدن و استفاده، ضایعات ارگانیک محسوب میشوند. این کیسه ها مشابه کیسه های پلاستیکی معمولی است، قابل استفاده مجدد و قابل بازیافت است و میتوان از آنها کمپوست (کود طبیعی) تهیه کرد و تجزیه آنها مواد سمی تولید نمی کند . در ضمن مقاومت از کیسه های معمولی هستند، به همین دلیل تا چندین بار میتوان از آنها استفاده کرد و تا ۱۵ کیلوگرم بار را می توان با آنها جابجا کرد. در خصوص کاربرد این محصول یادآور می شود: از این محصول می توان در صنعت بسته بندی، تولید کیسه های خرید، زباله و ظروف یکبار مصرف نگهدارنده مواد بهداشتی، آرایشی استفاده کرد. باید منتظر بود تا سرانجام شاهد تولید اقتصادی این محصولات دوستدار محیط زیست در آیند های نزدیک بود. با این حال تولید پلاستیک ها با استفاده از منابع طبیعی مختلف، باعث سهولت تجزیه آنها توسط تجزیه کنندگان طبیعی می گردد. برای این منظور و با هدف داشتن صنعتی در خدمت توسعه پایدار و حفظ زیست بوم های طبیعی، تولید نسل جدیدی از مواد اولیه مورد نیاز صنعت بر اساس فرآیندهای طبیعی در دستور کار بسیاری از کشورهای پیشرفته قرار گرفته است.

به طور مثال دولت امریکا طی برنامه ای بنا دارد تا سال ۲۰۱۰، تولید مواد زیستی را با استفاده از کشاورزی و با بهره برداری از انرژی خورشید با درآمد تقریبی ۱۵ تا ۲۰ میلیارد دلار انجام دهد. در این بین تولید پلیمرهای زیستی جایگاه خاصی دارند. تولید اینگونه پلیمرها توسط طیف وسیعی از موجودات زنده مثل گیاهان، جانوران و باکتری ها صورت می گیرد. چون این مواد اساس طبیعی دارند، بنابراین توسط سایر موجودات نیز مورد مصرف قرار می گیرند و تجزیه کنندگان از جمله مهم ترین این موجودات زنده در موضوع مورد بحث ما می باشند.

برای بهره برداری از این پلیمرها در صنعت دو موضوع باید مورد توجه قرار گیرد:

الف) دید محیط زیستی: این مواد باید سریعاً در محیط مورد تجزیه قرار گیرند، بافت خاک را بر هم نزنند و به راحتی با برنامه های مدیریت زباله و بازیافت مواد از محیط خارج شوند.

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

در هر دو بخش، مخصوصاً بخش دوم، استفاده از مهندسی تولید مواد برای دستیابی به اهداف مورد انتظار ضروری است. همانطور که ذکر شد، تولید پلیمرهای تجدید شونده با بهره برداری از کشاورزی، یکی از روش های تولید صنعتی پایدار می باشد. برای این منظور دو روش اصلی وجود دارد:

نخست استخراج مستقیم پلیمرها از توده زیستی گیاه می باشد. پلیمرهایی که از این روش تولید می شوند عمدتاً شامل سلولز، نشاسته، انواع پروتئین ها، فیبرها و چربی های گیاهی می باشند که به عنوان شالوده مواد پلیمری و محصولات طبیعی کاربرد دارند. دسته دیگر موادی هستند که پس از انجام فرآیندهایی مانند تخمیر و هیدرولیز می توانند به عنوان مونومر پلیمرهای مورد نیاز صنعت استفاده شوند. مونومرهای زیستی همچنین می توانند توسط موجودات زنده نیز به پلیمر تبدیل شوند که مثال بارز آن پلی هیدروکسی آلکانوات (PHA)ها می باشند. باکتری ها از جمله موجوداتی هستند که این دسته از مواد را به صورت گرانول هایی در پیکره سلولی خود تولید می کنند. این باکتری به سهولت در محیط کشت رشد داده شده و محصول آن برداشت می شود. رهیافت دیگر جداسازی ژن های درگیر در این فرآیند و انتقال آن به گیاهان می باشد که پروژه هایی در این زمینه از جمله انتقال ژن های باکتریایی تولید PHA به ذرت انجام شده است.

نکته ای که نباید از نظر دور داشت این است که علی رغم قیمت بالاتر تولید پلاستیک های زیست تخریب پذیر، چه بسا قیمت واقعی آنها بسیار کمتر از پلاستیک های سنتی باشد؛ چرا که بهای تخریب محیط زیست و هزینه بازیافت پس از تولید هیچ گاه مورد محاسبه قرار نمی گیرد.

تقریباً تمامی پلاستیک های معمول در بازار از محصولات پتروشیمی که غیر قابل برگشت به محیط می باشند، به دست می آیند. راه حل جایگزین برای این منظور، بهره برداری از باکتری های خاکزی مانند *Ralstonia eutrophus* می باشد که تا ۸۰ درصد از توده زیستی خود قادر به انباشتن پلیمرهای غیر سمی و تجزیه پذیر پلی هیدروکسی آلکانوات (PHA) هستند. PHA ها عموماً از زیرواحد بتا هیدروکسی آلکانوات و به واسطه مسیری ساده با ۳ آنزیم از استیل-کوآنزیم A ساخته شده و معروف ترین آنها پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB) می باشد.

در خلال دهه ۸۰ میلادی شرکت انگلیسی ICI فرآیند تخمیری را طراحی و اجرا کرد که از آن طریق PHB و سایر PHA ها را با استفاده از کشت *E. coli* تراریخته که ژن های تولید PHA را از باکتری های تولید کننده این پلیمرهای دریافت کرده بود، تولید می کرد. متأسفانه هزینه تولید این پلاستیک های زیست تخریب پذیر، تقریباً ۱۰ برابر هزینه تولید پلاستیک های معمولی بود. با وجود مزایای بی شمار زیست محیطی این پلاستیک ها مثل تجزیه کامل آنها در خاک طی چند ماه، هزینه بالای تولید آنها، باعث اقتصادی نبودن تولید تجارتي در مقیاس صنعتی بود. با این وجود بازار کوچک و پرسودی برای این محصولات ایجاد شد و از پلاستیک های زیست تخریب پذیر برای ساخت بافت های مصنوعی بهره برداری گردید. با وارد کردن این پلاستیک ها در بدن، آنها به تدریج تجزیه شده و بدن بافت طبیعی را در قالب پلاستیک وارد شده دوباره سازی می کن (دشکل ۱). در این کاربرد تخصصی پزشکی، قیمت اینگونه محصولات زیستی قابل مقایسه با کاربردهای کم ارزش اقتصادی پلاستیک در صنایع اسباب بازی، تولید خودکار و کیف نمی باشد.



شکل ۱: استفاده از پلاستیک ها در بدن

هزینه تولید PHA ها با تولید آنها در گیاهان تراریخته و کشت وسیع در زمینهای کشاورزی، به نحو قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت. این موضوع باعث شد که شرکت مونسانتو در اواسط دهه ۹۰ میلادی امتیاز تولید PHA را از شرکت ICI کسب نماید و به انتقال ژن های باکتری به گیاه منداب بپردازد. مهیا کردن شرایط برای تجمع PHA ها در پلاستید به جای سیتوسل، امکان برداشت محصول پلیمری را از برگ و دانه ایجاد کرد. مهمترین مشکل لاینحل باقی مانده در بخش فنی این پروژه، نحوه استخراج این پلیمر از بافت های گیاهی با روشی کم هزینه و کارآمد می‌باشد. مشکل دیگر در زمینه PHB می‌باشد که در حقیقت مهم‌ترین گروه از PHA ها بوده ولی متاسفانه شکننده بوده و در نتیجه برای بسیاری از کاربردها مناسب نمی‌باشد. بهترین پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر، کوپلیمرهای پلی هیدروکسی بوتیرات با سایر PHA ها مثل پلی هیدروکسی والرات می‌باشند. تولید اینگونه کوپلیمرها در گیاهان تراریخته بسیار سخت تر از تولید پلیمرهای تک مونومر می‌باشد. در سال ۲۰۰۱ این مشکلات به همراه مسایل مالی شرکت مونسانتو باعث شد تا این شرکت، امتیاز تولید PHA تراریخته را به شرکت Metabolix واگذار کند. شرکت Metabolix در قالب یک پروژه مشارکتی با وزارت انرژی آمریکا به ارزش تقریبی ۱۴/۸ میلیون دلار، برای تولید PHA در گیاهان تراریخته تا پایان دهه ۲۰۱۰ میلادی تلاش می‌کند. گروه های دیگری نیز برای تولید PHA در گیاهانی مثل نخل روغنی تلاش می‌کنند. باید منتظر بود تا سرانجام شاهد تولید اقتصادی این محصولات دوستدار محیط زیست در آینده‌ای نزدیک بود. از این رو در کشورمان نیز اقدامات اولیه ای در خصوص موارد مورد بحث صورت گرفته است که از جمله آنها می توان به تدوین استانداردهایی در این زمینه اشاره کرد .

در ایران به همت محققان پژوهشگاه صنعت نفت، پلی اتیلن با زیست تخریب پذیری مناسب تهیه شده است. محققان با افزودن پلیمرهای طبیعی و سیستم های تسریع کننده تخریب به پلی اتیلن، کیسه هایی با زیست تخریب پذیری مناسب تهیه کرده اند . امکان تهیه محصول زیست تخریب پذیر که قیمت تمام شده آنها ۲۰ تا ۴۰ درصد سایر انواع پلیمرهای زیست تخریب پذیر تجاری معمولی است و تنها ۲/۳ برابر قیمت پلی اتیلن معمولی است یکی از دستاوردهای مهم به شمار می رود نکته ای که نباید از نظر دور داشت این است که علی رغم قیمت بالاتر تولید پلاستیک های زیست تخریب پذیر، چه بسا قیمت واقعی آنها بسیار کمتر از پلاستیک های سنتی باشد؛ چرا که بهای تخریب محیط زیست و هزینه بازیافت پس از تولید هیچ گاه مورد محاسبه قرار نمی گیرد.

بررسی استاندارد پلاستیک های قابل کمپوست شدن - ویژگی ها

هدف ودامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین ویژگی ها و روشهای آزمون برای شناسایی و نشانه گذاری پلاستیک‌ها و محصولات ساخته شده از پلاستیک هایی است که برای بازیافت از طریق تولید کمپوست به روش هوزی مناسبند. در این استاندارد به چهار جنبه زیر اشاره شده است:

الف) زیست تخریب؛

ب) تجزیه^۱ طی فرآیند تولید کمپوست ؛

پ) اثرات منفی بر فرآیند تاسیسات تولید کمپوست ؛

ت) اثرات منفی بر کیفیت کمپوست به دست آمده، شامل حضور سطوح بالای فلزات رده بندی شده و دیگر ترکیبات زیان آور. این استاندارد در بر گیرنده شرایط لازم برای نشانه گذاری محصولات و مواد پلاستیکی شامل بسته بندی های ساخته شده از پلاستیک با عناوین "قابل تبدیل به کمپوست" یا "قابل تبدیل به کمپوست در امکانات شهری و صنعتی تولید کمپوست" یا "زیست تجزیه پذیر در طی فرآیند تولید کمپوست" می باشد (در این استاندارد، این سه اصطلاح معادل در نظر گرفته شده‌اند). به علاوه، این نشانه گذاری باید با تمام قوانین منطقه‌ای، ملی یا محلی مطابقت داشته باشد.

بازیافت پلاستیک‌های قابل تبدیل به کمپوست از طریق تولید کمپوست را می‌توان تحت شرایط موجود در واحدهای صنعتی تولید کمپوست که به خوبی مدیریت می‌شوند، انجام داد. در این واحدها دما، میزان رطوبت، شرایط هوزی، نسبت کربن/ نیتروژن و شرایط عمل‌آوری بهینه‌سازی شده است. چنین شرایطی عموماً در واحدهای صنعتی و شهری تولید کمپوست

وجود دارد. تحت این شرایط، پلاستیک‌های قابل تبدیل به کمپوست با سرعت تجزیه بقایای گیاهی، سبدهای کاغذی و زایدات مواد غذایی، تجزیه و زیست تجزیه می‌شوند.

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در ISO 472 اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود:

پرکننده^۲: ماده جامد تقریباً خنثی که به پلاستیک افزوده می‌شود تا مقاومت، پایداری، خواص عملی یا دیگر جنبه‌های کیفی آن را بهبود بخشد یا هزینه‌ها را کاهش دهد.

پلاستیک قابل کمپوست شدن^۳: پلاستیکی که توسط فرآیندهای زیستی در طی تولید کمپوست، بایک سرعت ثابت، همسان با دیگر مواد شناخته شده قابل تبدیل به کمپوست دستخوش تجزیه شده و به CO₂، آب، مواد معدنی و زیست توده تبدیل می‌شود و هیچگونه پس مانده قابل تشخیص یا سمی بر جای نمی‌گذارد.

تخریب^۴: تفکیک فیزیکی یک ماده به قطعات بسیار کوچک است.

جامدات فرار^۵: مقدار جامدی است که از کسر کردن باقیمانده حجم معینی از ماده آزمون یا کمپوست بعد از سوزاندن در دمای تقریبی ۵۵۰ درجه سلسیوس از کل مواد خشک همان نمونه به دست می‌آید.

زیست تخریب پذیر طی تولید کمپوست^۶: هم‌معنی با "قابل تبدیل به کمپوست"

زیست تخریبی هوازی نهایی^۷: تجزیه یک آمیزه آلی به دی اکسید کربن، آب و نمک‌های معدنی عناصر دیگر موجود (معدنی شدن) به اضافه زیست توده^۸ جدید که به وسیله میکروارگانیسم‌ها و در حضور اکسیژن صورت می‌پذیرد.

کاتالیزور^۹: ماده‌ای که در مقیاس کم استفاده می‌شود و سرعت یک واکنش شیمیایی را افزایش می‌دهد و به طور نظری در پایان واکنش، بدون تغییر شیمیایی باقی می‌ماند.

کل مواد جامد خشک^{۱۰}: مقدار ماده جامد به دست آمده از خشک کردن حجم معینی از ماده آزمون در دمای تقریبی ۱۰۵ درجه سلسیوس تا زمانی که به جرم ثابت برسد.

کمپوست^{۱۱}: اصلاح کننده آلی خاک که از زیست تخریب مخلوطی حاوی عمدتاً باقیمانده گیاهی و گاهی اوقات مواد آلی دیگر به دست می‌آید و مقدار مواد معدنی آن محدود است.

کمپوست شدن^{۱۲}: فرآیند هوازی که برای تولید کمپوست طراحی می‌شود

مقدار نظری دی اکسید کربن آزاد شده^{۱۳}: (ThCO₂) حداکثر مقدار نظری دی اکسید کربن که بعد از اکسید شدن کامل یک آمیزه شیمیایی آزاد می‌شود، با توجه به فرمول مولکولی محاسبه می‌شود و برحسب میلی گرم دی اکسید کربن آزاد شده به ازای هر میلی گرم یا گرم آمیزه آزمون، بیان می‌شود.

هدف از این ویژگی‌ها، پایه‌گذاری استانداردهایی برای شناسایی و نشانه گذاری محصولات و مواد پلاستیکی است

که به طور رضایت بخش در سیستم های تولید کمپوست با مدیریت کارآمد قابل کمپوست شدن می باشند و در آن می توان شرایط نوعی (یک نمونه بارز) تولید کمپوست را همواره ثابت نگاه داشت (مثلاً فاز گرماگیری طولانی مدت، شرایط هوازی، مقدار آب کافی، نسبت کربن/ نیتروژن مناسب و غیره). محصولات که الزامات زیر را برآورده سازند برای نشانه گذاری با عنوان "قابل تبدیل به کمپوست" یا "قابل تبدیل به کمپوست در امکانات شهری و صنعتی تولید کمپوست" یا "زیست تخریب پذیر در طی فرآیند تولید کمپوست" مناسب هستند.

2-Filler

3- Compostable Plastic

4-Disintegration

5-Volatile Solids

6-Biodegradable during Composting

7-Ultimat aerobic biodegradation

8- Biomass

9- Catalyst

10-Total dry solids

11- Compost

12- Composting

13-Theoretical amount of evolved carbon dioxide (ThCO₂)

آزمون مورد استفاده، یک فرآیند تولید کمپوست هوازی قوی را شبیه سازی می کند. در این آزمون موارد زیر اندازه گیری می شود:

(الف) سطح نهایی زیست تخریب هوازی ماده مورد آزمون؛

(ب) درجه تجزیه به دست آمده؛

(پ) هر نوع اثرات منفی بر کمپوست نهایی؛

(ت) حداکثر غلظت فلزات رده بندی شده در کمپوست.

آزمون زمانی پایان می یابد که تجزیه زیستی تا رسیدن به یک فاز ثابت^{۱۴} پیش رفته باشد؛ زمان استاندارد برای خاتمه ۴۵ روز است، اما آزمون می تواند تا شش ماه ادامه یابد.

الزامات اصلی

محصول یا ماده پلاستیکی برای تبدیل شدن به کمپوست به صورت رضایت بخش، باید همه مشخصات ذکر شده را داشته باشند.

تجزیه طی تولید کمپوست: محصول یا ماده پلاستیکی در طی فرآیند تولید کمپوست باید به گونه ای تجزیه شود که در پایان فرآیند بقایای پلاستیک از سایر مواد آلی موجود در کمپوست نهایی، به سهولت قابل تشخیص نباشد. به علاوه، در طول غربالگری و پیش از توزیع نهایی کمپوست، مقادیر زیادی محصول یا ماده پلاستیکی نباید یافت شود.

زیست تخریب هوازی نهایی: سطح نهایی زیست تخریب هوازی باید به وسیله آزمون و تحت شرایط کنترل شده برقرار شود.

عدم وجود عوارض جانبی در قابلیت کمپوست برای کمک به رشد گیاه: هنگامی که محصول یا ماده پلاستیکی آزمون شده با کمپوست شاهد^{۱۵} که هیچگونه ماده مرجع در آغاز آزمون به آن افزوده نشده، مقایسه می شود، نباید هیچگونه عوارض جانبی در قابلیت کمپوست برای کمک به رشد گیاه داشته باشد.

مطابقت با قوانین ملی: بر پایه قوانین مرتبط ملی و/یا منطقه ای، تجزیه محصول یا ماده پلاستیکی نباید سطح فلزات رده بندی شده یا دیگر مواد سمی در محیط زیست را به طور غیر قابل قبول افزایش دهد. این مسئولیت کاربر است که از قوانین ملی و/یا منطقه ای قابل اجرای مربوط به فلزات، دیگر عناصر و مواد سمی موجود در محیط زیست، پیروی کند.

تجزیه طی تولید کمپوست: تجزیه یک محصول پلاستیکی در صورتی رضایت بخش است که پس از یک آزمون تولید کمپوست کنترل شده ۸۴ روزه و بعد از الک کردن به وسیله یک الک ۲/۰ میلی متری، بیش از ۱۰٪ از جرم خشک اصلی آن باقی نماند. این آزمایش باید طبق استانداردهای ISO 16929، ISO 20200، ISO 14855-1، یا ASTM D 5338 و تحت شرایط تبدیل کمپوست گرماگرای بدون تله CO₂ انجام پذیرد.

زیست تخریبی هوازی نهایی: سرعت و سطح زیست تخریبی یک محصول پلاستیکی در صورتی رضایت بخش است که پس از آزمایش طبق استانداردهای ISO 14855-1، ISO 14855-2، یا ASTM D 5338، نسبت تبدیل به دی اکسید کربن (CO₂/ThCO₂) مشخص شده است.

زیست تخریب پذیری هوازی نهایی باید برای تمام ماده و هر جزء تشکیل دهنده آلی که در غلظتی بیش از ۱٪ (در جرم خشک) وجود دارد، تعیین شود. برای اجزاء تشکیل دهنده ای که در غلظت کمتر از ۱٪ وجود دارند نیازی نیست، زیست تخریب پذیری نشان داده شود. با این وجود، جمع مقادیر چنین اجزاء تشکیل دهنده ای نباید از ۵٪ تجاوز کند. ۹۰٪ کربن آلی تمام پلیمرها (نسبت به ماده مرجع کنترل مثبت)، باید در پایان مدت آزمون به دی اکسید کربن تبدیل شده باشد. مدت زمان تبدیل به کمپوست مرجع کنترل مثبت و نمونه آزمون باید به یک اندازه باشد، و نتایج زمانی مقایسه شوند که فعالیت هر دو ثابت شده باشد. مرجع کنترل مثبت استفاده شده باید سلولز میکرو کریستالی باشد. به عنوان یک جایگزین، در پایان آزمون، ۹۰٪ (در شرایط مطلق) کربن آلی باید به دی اکسید کربن تبدیل شده باشد. با وجود اینکه آزمون زیست تخریبی شامل

15- Plateau phase

16-Blank Compost

تبدیل پلیمرها به زیست توده هاو مواد هیومیک^{۱۶} اضافه بر دی اکسید کربن است، هیچ استاندارد روش آزمون یا ویژگی برای بیان کمی این محصولات تبدیلی وجود ندارد. اگر زمانی چنین آزمون ها و ویژگی هایی قابل دسترس شوند، این استاندارد باید تجدید نظر شود. دوره آزمون نباید بیش از ۱۸۰ روز باشد.

عدم وجود عوارض جانبی در قابلیت کمپوست برای کمک به رشد گیاه و مطابقت با قوانین منطقه ای و/ یا ملی

برای تضمین این مطلب که تولید کمپوست محصولات یا مواد پلاستیکی هیچگونه اثرات زیان آور بر کمپوست نهایی یا محیط زیست ندارد و در راستای قوانین منطقه ای و ملی است .

غلظت فلزات رده بندی شده و دیگر مواد سمی در محصولات یا مواد پلاستیکی باید کمتر از ۰.۵٪ مقداری باشد که برای لجن، کود شیمیایی و کمپوستی که در حومه شهر محلی که محصول وارد بازاری می شود یا دفع می شود ، مقرر شده است (به عنوان مثال پیوست الف و فهرست منابع مربوط را ببینید). محصول یا ماده پلاستیکی باید حاوی حداقل ۰.۵٪ جامدات فرار باشد.

سرعت جوانه زنی کمپوست نهایی و زیست توده گیاهی در کمپوست، نباید کمتر از ۹۰٪ کمپوست شاهدهی باشد که هیچگونه ماده آزمایشی یا مرجع در ابتدای آزمایش به آن افزوده نشده، و این باید مطابق راهنمای OECD 208 و اصلاحات تعیین شده در ضمیمه E از EN 13432:2000 باشد.

جدول ۱ : مثال هایی برای حداکثر مقدار غلظت فلزات رده بندی شده و دیگر مواد سمی (برحسب میلی گرم / کیلوگرم در ماده خشک)

عنصر	ASTM D 6400		EN 13432 ^c	ژاپن ^d
	آمریکا ^a	کانادا ^b		
روی	۱۴۰۰	۴۶۳	۱۵۰	۱۸۰
مس	۷۵۰	۱۸۹	۵۰	۶۰
نیکل	۲۱۰	۴۵	۲۵	۳۰
کادمیوم	۱۷	۵	۰/۵	۰/۵
سرب	۱۵۰	۱۲۵	۵۰	۱۰
جیوه	۸/۵	۱	۰/۵	۰/۲
کرم	-	۲۶۵	۵۰	۵۰
مولیبدن	-	۵	۱	-
سلنیوم	۵۰	۴	۰/۷۵	-
ارسنیک	۲۰/۵	۱۹	۵	۵
فلوئور	-	-	۱۰۰	-
کیالت	-	۳۸	-	-

a ماکزیمم غلظت داده شده برای آمریکا ۵۰٪ مقدار تعیین شده در جدول ۳ استاندارد CFR 503.13 40 است. (همانطور که در الزامات استاندارد ASTM 6400 آمده است)

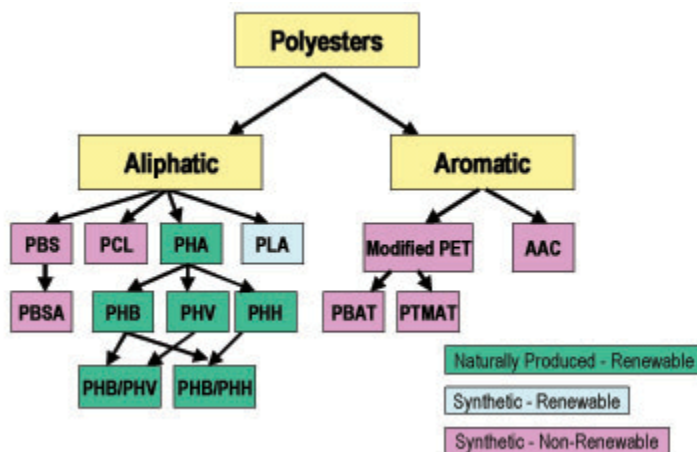
b ماکزیمم غلظت داده شده برای کانادا مطابق بند ۶-۱ استاندارد BNQ 9011-911-1/2007 است

c ماکزیمم غلظت فلزات برای اتحادیه اروپا ۵۰٪ تعیین شده در معیارها و مقررات طبقه بندی بومی بهبود دهنده های خاک (EC OJ L 219, 7.8. 1998, P. 39,) است

d ماکزیمم غلظت فلزات برای ژاپن ۱۰٪ تعیین شده در قوانین کنترل کود شیمیایی (وزارت کشاورزی و جنگلداری و شیلات) و راهنماهای کیفیت کمپوست (اتحادیه مرکزی تعاونی های کشاورزی) است

پلاستیک های متداول حاوی مواد تخریب پذیر آمیزه هایی هستند که در آنها یک ماده تخریب پذیر (مانند نشاسته) به یک پلاستیک متداول (مثل پلی اتیلن) اضافه میشود و تخریب این ماده به افزایش سرعت تخریب پلاستیک کمک می کند. این مواد چند سالی هست که وارد بازار شده اند و با اون که کمک زیادی به کاهش زباله های پلاستیکی کرده اند، اما به دلیل این که اولاً در آنها از همان پلاستیک های متداول تخریب ناپذیر استفاده شده و دوماً استفاده از مقدار زیادی مواد تخریب پذیر در پلاستیک ویژگی ها را تضعیف می کند، موقعیت چندان محکمی ندارند.

پلاستیک های تخریب پذیر ذاتی موادی هستند که به دلیل ساختمان شیمیایی خاصشان به وسیله باکتری ها، آب یا آنزیم ها در طبیعت تخریب می شوند. مهم ترین پلاستیک از این نوع پلی لاکتیک اسید هست که از اسید لاکتیک تهیه میشود. پیش بینی میشود این پلاستیک، که خواص بسیار خوبی هم دارد، در آینده رقیبی بسیار جدی برای پلاستیک های متداول امروزی به خصوص در صنعت بسته بندی باشد. مشکل بزرگ این مواد، گران بودنشان است که در حال حاضر تحقیقات برای توسعه یک روش ارزان برای تولیدشان ادامه دارد. جالب این که منابع اصلی تولید این پلاستیک طبیعی هستند و از محصولات نفتی برای ساخت آنها استفاده نمی شود. در شکل ۲ طبقه بندی خانواده بزرگی از پلاستیک های پلی استیری نشان داده شد. که به اختصار هر یک نامگذاری شده است.



PBS - polybutylene succinate

AAC-Aliphatic-Aromatic copolyesters

PBAT-polybutylene adipate/terephthalate

PBSA-polybutylene succinate adipate

PET- polyethylene terephthalate

PTMAT-polymethylene adipate/terephthalate

شکل ۲ : طبقه بندی پلی استرها

نتیجه گیری

ضایعات و زباله های پلاستیکی به جا مانده از محصولات غذایی همواره در قالب یک معضل بزرگ مطرح بوده است. این پلاستیک های دورریخته شده که در واقع زمانی بسته بندی مواد خوراکی و بهداشتی را تشکیل می داده اند، آلودگی های محیط زیستی وسیعی ایجاد می کنند. با توجه به مصرف روز افزون پلاستیک ها و تولید حجم زیادی از ضایعات زمین یا سوزاندن آنها سبب آسیب های فراوانی که به محیط زیست وارد می شود، منطقی نیست. بنابراین بازیابی آنها می تواند از اهمیت زیادی برخوردار باشد. با توجه به آمارهای بدست آمده در بین پلاستیک ها پلی اولفین ها بیشترین حجم ضایعات را تشکیل می دهند. پلاستیک با ماندگاری حدود ۳۰۰ سال یک ماده تجزیه ناپذیر محسوب می شود. خبر تولید پلاستیک های خوراکی شاید موجبات تعجب بسیاری از افراد را برانگیزد اما واقعیت این است که هم اکنون دنیا به سمت تولید و استفاده از پلاستیک های زیست تخریب پذیر و خوراکی پیش می رود. به همین دلیل در کشورهای صنعتی و پیشرفته تحقیقات گسترده ای روی ساخت پلاستیک های زیست تخریب پذیر آغاز شده است.

امید است، با بررسی کارشناسی و دقیق موضوع توسط مسئولان امر جهت تولید و مدیریت پس از مصرف این مواد (تبدیل به کمپوست) گام مهمی در جهت حفظ محیط زیست سالم و کاهش آلودگی حاصل از ضایعات پلاستیکی برداشته شود.

منابع و مراجع

- [1] ASTM D 5338, Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Controlled Composting Conditions
- [2] ASTM D 6400, Standard Specification for Compostable Plastics
- [3] ASTM Institute for Standards Research (ISR) Degradable Polymers Research Program, Final Report PCN 33-00019-19, Dec. 1996
- Examples of national or regional legislation of relevance to 6.4.1:
- [4] Canada: BNQ 9011-911-I/2007, Compostable Plastic Bags — Certification Program — Part 1: Product Requirements, of the Bureau de normalisation du Québec
- [5] European Directive 94/62/EC on Packaging and Packaging Waste and its amendment European Directive 2004/12/EC
- [6] European Union: Substances identified in ecological criteria for the award of the Community eco-label to soil improvers, Official Journal of the European Communities OJ L 219, 7.8.1998, p. 39, applied in EN 13432
- [7] EN 13432:2000, Packaging- Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation-- Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging
- [8] Japan: Fertilizer Control Law, the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, and Guidelines for quality of composts, The Central Union of Agricultural Co-operatives (available in Japanese only)
- [9] ISO 472: Plastics- Vocabulary
- [10] ISO 14855-1, Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastics materials under controlled composting conditions- Method by analysis of evolved carbon dioxide- Part 1: General method
- [11] ISO 14855-2, Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastics materials under controlled composting conditions--Method by analysis of evolved carbon dioxide-- Part 2: Gravimetric measurement of carbon dioxide evolved in a laboratory- scale test
- [12] ISO 16929, Plastics-- Determination of the degree of disintegration of plastic materials under defined composting conditions in a pilot-scale test
- [13] ISO 20200, Plastics-- Determination of the degree of disintegration of plastic materials under simulated composting conditions in a laboratory- scale test
- [14] OECD Guidelines for the Testing of Chemicals-- Guideline 208: Terrestrial Plants, Growth Test
- [15] United States: Table 3 in 40 CFR Part 503.13, Pollutant limits