International Conference on
Engineering & Applied Sciences
UAE - DUBAI
10 March 2016
کنفرانس بین المللی
مهندسی و علوم کاربردی
امارات - دبی
۲۰ اسفند ۹۴

# بررسی چند نمونه از پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر

**محمدرضا محمدشفیعی**
**فوق دکترای شیمی آلی محیط زیست و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد**
Dr_shafiee@yahoo.com

**امیرحسین محمدشفیعی**
**دانش آموز کالج بلربیس شهر برایتون کشور انگلستان**
Amirshafiee۱۹۹۸@yahoo.com

**فاطمه باقری**
**دانشجوی دکترای بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک**
En.sb۲۰۱۱@yahoo.com

**چکیده**

**پلاستیک‌های معمولی، پلیمرهایی هستند که از مشتقات نفتی بدست می‌آیند و استفاده از آن‌ها در جوامع توسعه یافته و در حال توسعه روز به روز در حال افزایش است و به علت قیمت پایین-تر، مقاومت به خوردگی و در دسترس بودن، جایگزین مواد سنتی همچون کاغذ، شیشه و فلزات برای کاربردهای مرتبط با بسته‌بندی شده‌اند. امروزه استفاده از پلاستیک‌ها نگرانی‌های بسیار زیادی را به جامعه‌ی بشری تحمیل کرده است که بزرگترین مسئله درصد بازیافت این مواد می-باشد به‌طوری که این مواد تنها ۴-۳ درصد قابلیت بازیافت دارند. چگونگی برخورد با زباله‌های پلاستیکی یکی از سوالات کلیدی در مدیریت زباله بوده و از جنبه‌های زیست محیطی، اقتصادی و سیاسی حائز اهمیت است. راه حلی که در حال حاضر برای حل این معضل ارائه گردیده است استفاده از پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر می‌باشد. این بیوپلی‌مرها از منابع تجدیدپذیر کشاورزی یا از میکروب‌ها حاصل می‌گردند. در کنار مزایای فراوانی که این روش دارد باتوجه به اینکه هزینه‌های مربوط به استفاده از آن‌ها نسبت به پلاستیک‌های معمولی بیشتر می‌باشد، محدودیت‌هایی در استفاده از این ترکیبات وجود دارد و به همین دلیل این جایگزینی به‌صورت کامل انجام نمی‌گیرد. و در آینده باید به سمت کاهش هزینه‌های موثر این روش پرداخته شود. در این مقاله سعی بر آن شده با بررسی مطالعاتی که در این حیطه صورت گرفته است انواع پلاستیک‌ها، منابع تامین آن‌ها، مزایا و معایب هر کدام و کاربردهای آن‌ها توضیح داده شود.**

**واژگان کلیدی: پلاستیک، مشتقات نفتی، پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر**

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

در طی سی سال گذشته با رشد جمعیت، پلاستیک‌ها نقش مهمی را در تغییر شکل زندگی مردم ایفا نموده‌اند و مقدار مصرف آن‌ها در جوامع توسعه یافته و در حال توسعه همچنان در حال افزایش است. چنان که در طول سال-های گذشته بسته بندی با پلاستیک‌ها برای غذاهای آماده، غذاهای منجمد شده، لبنیات، نوشابه‌ها، نان و شکلات اهمیت و ضرورت بیش‌تری پیدا کرده است. یکی از بزرگترین مشکلات این مواد، عدم زیست تخریب پذیری آن‌ها و در نتیجه آلودگی محیط زیست می‌باشد(رضایی و همکاران،۱۳۹۰). نسبت پلاستیک‌های تولیدی در ایران بیش از ۳۵۰ هزار تن تخمین زده می‌شود که این رقم معادل حدود ۱۰۰۰ تن در روز است. البته لازم به ذکر می‌باشد با تغییر الگوی مصرف در جامعه و گسترش بیش از پیش ظروف و وسایل یکبار مصرف این رقم به سرعت در حال گسترش می‌باشد و با بررسی‌های به عمل آمده در تولید این محصولات در کشور زباله‌های پلاستیکی روز به روز در حال افزایش می‌باشند. پلاستیک‌ها به دسته‌های گوناگون تقسیم بندی می‌شوند و می‌توانند به شکل فیلم یا فیبر باشند، معمولا به پلاستیک‌ها برای بهبود کارائی یا از لحاظ اقتصادی ترکیبات آلی یا پلیمر اضافه می‌شود. پلاستیک‌ها را براساس ساختار پلیمری، خصوصیات حرارتی، تراکم پذیری و تغییرات دمایی بلور تقسیم بندی می‌کنند(شرکت سانیار توس،۱۳۹۰). اگر ما پلاستیک‌ها را در تمام برنامه‌ها جایگزین کنیم، ۲۲/۴ میلیون تن نفت خام در هر سال نیاز خواهد بود. پیشرفت پایدار در تکنولوژی پلیمر، ادوات فرایندی، علم و هزینه تولید موثر موجب جایگزینی خیلی سریع پلاستیک‌ها در هر بخش می‌شود. افزایش سرعت مصرف پلاستیک در جهان و خصوصا عمر کوتاه استفاده از پلاستیک منجر به تولید حجم زیادی از زباله شده که این خود موجب ایجاد مشکل بزرگی مثل دفع آن‌هاست. پلاستیک‌ها به دلیل حجم بالا و عدم تجزیه شدنشان به یک تهدید تبدیل شده‌اند. وجود زباله‌ها در حجم بالا مشکلات ثانویه‌ای مثل گرفتگی مجراها، از بین بردن مناظر طبیعی و همچنین سلامت حیوانات را به همراه خواهد داشت. تا زمانی که مدیریت کارآمدی برای پایان دادن عمر زباله‌های پلاستیکی وجود نداشته باشد وجود پلاستیک‌ها در زباله‌ها به یک مشکل بسیار جدی تبدیل خواهد داشت. چون پلاستیک‌ها تجزیه ناپذیر هستند، نمی‌توانند به‌راحتی به چرخه‌ی طبیعی کربن برگردند. برای رهایی از زباله‌های پلاستیکی و صنعتی و شهری چند روش وجود دارد، دفن کردن، سوزاندن، بازیافت به مواد مناسب و بازیافت شیمیایی. چگونگی برخورد مناسب با زباله‌های پلاستیکی یکی از سوالات کلیدی در مدیریت زباله بوده و از جنبه‌های انرژی، زیست محیطی، اقتصادی و سیاسی حائز اهمیت است(اسماعیلی و همکاران،۱۳۹۱). بیشترین مقدار ضایعات پلاستیکی توسط دفن(۶۵-۷۰ درصد)، و سوزاندن( ۲۰-۲۵ درصد) دفع می‌شوند، بازیافت تنها حدود ۱۰ درصد می‌باشد. بعلاوه، مشکل ضایعات نمی‌تواند توسط دفن یا سوزاندن حل شود، زیرا انبار کردن مناسب و امن گران قیمت است و سوزاندن نشر گازهای گلخانه‌ای و سمی را افزایش می‌دهد(رضوانی پور و همکاران، ۱۳۹۱). در سال-های اخیر استفاده از پلاستیک‌های خود تخریب حائز اهمیت شده که از سال ۱۹۹۸ وارد بازار مصرف شده است، بازیافت پلاستیک‌ها نقش مهمی در کاهش انتشار گاز دی اکسیدکربن دارند، نتایج تحقیقات انجام گرفته بر روی

Archive of SID

www.SID.ir

چرخه زیست محیطی مواد مختلف نشان می‌دهد که مقدار دی اکسیدکربن ناشی از بازیافت هر تن پلاستیک در مقایسه با سایر روش‌های دفع زباله‌ها از جمله دفن در محل‌های دفن یا بازیافت انرژی ۱/۵ تا ۲ تن کمتر است. این موضوع باتوجه به افزایش میزان مصرف لوازم مصرفی در منازل و میزان بازیافت ضایعات از ۱۹ درصد به ۵۰ درصد در سال ۲۰۲۰ حائز اهمیت فراوان است. کشورهای اروپائی و آمریکائی طیف وسیعی از محصولات را روانه بازار مصرف می‌کنند، که در آنها به نحوی مواد پلاستیکی مصرف می‌شود در سال‌های اخیر توجه کشورها به تولید پلاستیک‌های قابل بازیافت جلب شده و در صنایع اقداماتی در جهت مصرف کمتر پلاستیک‌ها و استفاده مجدد از آنها صورت گرفته است که در صنایعی مانند خودروسازی حائز اهمیت است. استراتژی‌هائی نظیر جایگزین کردن فرآیندهای تولید و عدم استفاده از پلاستیک‌های غیرقابل بازیافت یکی از مهم‌ترین اهداف دولت‌ها در مدیریت مواد زائد جامد است. مهمترین فاکتور قابل توجه در مورد پلاستیک‌ها عدم تجزیه آنها در محیط توسط باکتری-هاست. در کشورهای پیشرفته دنیا، میدان عمل بازیافت با افزایش میزان مصرف پلاستیک‌ها توسط مصرف کننده-ها افزایش می‌یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد از یک تن پلاستیک می‌توان بیش از ۲۰ هزار بطری پلاستیکی به دست آورد و تخمین زده می‌شود که بیش از ۱۰۰ میلیون تن پلاستیک در سال تولید می‌شود، به‌طور متوسط اروپائیان ۳۶ کیلوگرم پلاستیک را در سال تولید می‌کنند که ۴ درصد روغن‌های مصرفی در اروپا برای تولید پلاستیک مصرف می‌شود که میزان ۶۴ درصد پلاستیک‌های ناشی از فاضلاب قابل بازیافت هستند. در کل میزان ۴۲ درصد از پلاستیک‌ها از مجموع کل پلاستیک‌ها در صنایع بسته بندی استفاده می‌شود(شرکت سانیار توس،۱۳۹۰). آلودگی ناشی از مواد بسته بندی تولید شده از مشتقات نفتی و مشکلات ناشی از روش‌های مختلف آلودگی زدایی( مانند دفن کردن، سوزاندن و بازیافت آنها) توجه پژوهشگران را در طی سال‌های اخیر به یافتن جایگزین‌های مناسب برای این نوع مواد بسته بندی معطوف کرده است. بیوپلیمرهای با زیست تخریب پذیری بالا که از منابع تجدیدپذیر کشاورزی حاصل می‌شوند، گزینه‌ای مناسب در این زمینه به شمار می‌روند(الماسی و همکاران،۱۳۹۲).

تلاش و آگاهی‌های مداوم توسط دوستداران محیط زیست در رابطه با آلودگی‌های زیستی پلیمرها و نیاز به ایمن بودن آن‌ها، الگوی مصرفی جدیدی را معرفی می‌کند که شامل بسته‌بندی محصولات با مواد زیست تخریب پذیر به‌ویژه استفاده از محصولات کشاورزی قابل بازیافت و ضایعات صنعتی مواد غذایی می‌باشد. اگر چه جایگزینی کامل مواد مصنوعی با بسته بندی‌های سازگار با محیط زیست غیر ممکن است اما جهت کاربردهای خاص مثل بسته‌بندی مواد غذایی می‌توان به‌خوبی از پلاستیک‌های زیستی استفاده کرد. بیوکامپوزیت‌ها جز این مواد به شمار می‌روند. این مواد از اختلاط پلیمرهای زیست تخریب پذیر و پرکننده به دست می‌آیند. در این راستا می-توان از مواد لیگنوسلولزی و تخریب پذیر در ترکیب با پلیمرهای صنعتی که بیشترین مصرف را در بسته بندی مواد غذایی دارند، استفاده کرد. ترکیبات لیگنوسلولزی توسط میکروارگانیسم‌ها قابل تجزیه و مصرف هستند(رضایی و همکاران،۱۳۹۰).

Archive of SID

www.SID.ir

پلاستیک

امروزه نام پلاستیک به گروه بزرگی از مواد اطلاق می‌گردد که از مواد معمولی مانند ذغال سنگ، نمک و نفت و گاز، چوب و آب ساخته شده‌اند، برای مثال رزین‌های فوران از فورفورال ساخته می‌شوند که فورفورال از هیدرولیز اسیدی ضایعات و تفاله‌ی ذرت و نیشکر به دست می‌آید. پلاستیک‌ها از چنین مواد معمولی و مواد ساده‌ی شیمیایی به نام منومر که می‌توانند با امثال خودشان ترکیب شوند، تهیه می‌گردند. از واکنش این منومرها زنجیره-های مولکولی تشکیل می‌شوند که پلیمر نامیده می‌شوند(نازیار). اولین پلاستیک سنتزی، رزین فنل-فرمالدئید بود که در تلاش برای ساخت مواد پلیمری کاملا سنتزی، در سال ۱۹۰۷ لئو بلکند موفق شد از متراکم کردن فنل با فرمالدئید، رزین فنل فرمالدئید را که بعدها تحت عنوان بالکیت( به‌عنوان محصول نهائی) نامیده شد، تولید کند. این رزین هم در محیط‌های اسیدی و هم قلیایی قابل تهیه است. گرچه بسته‌بندی پلاستیکی با قیمتی نازل امکان حفاظت عالی از محصولات مختلف خصوصا مواد غذایی را فراهم می‌کند. ولی متاسفانه معضل بزرگ زیست محیطی حاصل از آن گریبانگیر بشریت شده است. اکثر پلاستیک‌های معمول در بازار از فرآورده‌های نفتی و ذغال سنگ تولید شده و غیرقابل بازگشت به محیط هستند و تجزیه آنها و برگشت به محیط چندهزار سال طول می-کشد. طبق آمار بدست آمده در سال ۱۹۹۳ در اروپای غربی تقریبا ۲۶ میلیون تن پلاستیک مصرف شده که ۱۴ میلیون تن آن ضایعات بوده است. در ایران نیز براساس امار پتروشیمی در سال ۱۳۷۶ بیش از ۶۰۰ هزار تن از انواع پلاستیک مصرف شده که مسلما امروزه خیلی بیشتر خواهد بود(طرقبه و همکاران،۱۳۸۹).

انواع پلاستیک

ترموپلاستیک

ترموپلاستیک‌ها در اثر حرارت نرم و در اثر سرما سخت می‌شوند. این امکان از آنجا ناشی می‌شود که ترموپلاستیک‌ها دارای زنجیره‌های مولکولی خطی می‌باشند که به هنگام گرما و سرما نسبت به هم حرکت می‌کنند و بدون اینکه شکست مهمی در زنجیره‌ها صورت گیرد، جامد می‌گردند. البته از نظر تعداد دفعات گرم و سرد شدن در عمل محدودیت‌هایی وجود دارد. تعداد زیاد سیکل‌های گرم و سرد شدن می‌تواند باعث از دست دادن رنگ یا نرمی و در نتیجه تغییر در خواص محصول شود. اکریلیکها، سلونریکها، پلی اتیلن، پلی وینیل کلراید پلی استایرن، پلی آلومرها، پلی کربنات‌ها، پلی ایمید، پلی پروپیلن، پلی سولوفون، فنیل اکساید، نایلون‌ها، متیل پنت‌ها، آیونومر، فلوئور پلاستیکها، استال و اکرینونیتریل بوتا دی ان استامیرن نمونه‌هایی از ترموپلاستیک‌ها می-باشند(نازیار).

Archive of SID

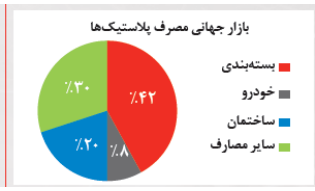
www.SID.ir

ترموست‌ها

ترموست‌ها مولکول‌هایی زنجیر مانند دارند و قبل از قالبگیری خیلی مشابه ترموپلاستیک‌ها می‌باشند، اما فرایند پخت و سخت شدن آنها باعث تشکیل اتصالات عرضی بین زنجیره‌های مولکولی همسایه می‌گردد. در نتیجه محصول نهائی دارای ساختاری پیچیده و شبکه‌ای در هم رفته می‌باشد که در آن زنجیره‌ها دیگر نمی‌توانند آزادانه حرکت کنند، لذا اعمال حرارات به این پلاستیک‌ها باعث ایجاد خمیری یا نرم شدن آنها نمی‌گردد و این خود دلیل محکمی برای استفاده آنها در بتن سازی است. آلکیدها، آمین‌ها، دی آلیل فتالات اپوکسی‌ها، فوران، فنولیکها، پلی استرها، پلی اورتان و سیلیکونها از گروه‌های ترموست‌ها می‌باشند(نازیار).

معضلات ناشی از به کارگیری پلیمرهای تولید شده از مشتقات نفتی

بیش از ۵۰ سال، پلیمرهای پلاستیکی به‌عنوان کاربردی‌ترین و اقتصادی‌ترین گزینه در مصارف بسته بندی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. در واقع، این مواد به‌علت قیمت پایین‌تر، دانسیته کمتر، مقاومت به خوردگی و در دسترس بودن، جایگزین مواد سنتی‌تر مانند کاغذ، شیشه و فلزات برای کاربردهای مرتبط با بسته بندی شدند. علاوه بر این ویژگی‌ها، خواص اپتیکی، مکانیکی و مقاومت در برابر نفوذ گازها، هدایت گرمایی فوق العاده کم و مقاومت در برابر نفوذ آب و روغن سبب گردید که ۴۰ درصد از کل مصرف پلاستیک‌ها به صنعت بسته بندی اختصاص یابد. شکل ۱ میزان مصرف پلاستیک‌ها را در بازارهای مختلف نشان می‌دهد. امروزه استفاده از پلاستیک‌ها موجب نگرانی‌های بسیاری در جامعه بشری است. بزرگ‌ترین چالش در مورد پلاستیک‌ها مسئله درصد بازیافت این مواد است. در مقایسه با مواد دیگر مانند فلزات با ۳۵ درصد قابلیت بازیافت، کاغذ با ۳۰ درصد و شیشه‌ها با ۱۸ درصد قابلیت بازیافت، پلاستیک‌ها تنها ۳-۴ درصد قابلیت بازیافت دارند. مشکل دیگری که در بازیافت پلاستیک‌ها وجود دارد بحث انرژی بازیافت و دفن آنها به‌صورت زباله است. با توجه به آمارهای منتشر شده در اروپا ۵۰ درصد از پلاستیک‌های تولید شده دوباره در چرخه تولید بازیافت نمی‌شوند. این مسئله زمانی نگران کننده می‌شود که میزان مصرف پلاستیک‌ها به چندین تن می‌رسد(ستاد ویژه توسعه فناوری نانو،۱۳۹۴).




شکل۱- میزان مصرف پلاستیک‌ها در صنایع مختلف(ستاد ویژه توسعه فناوری نانو،۱۳۹۴).

Archive of SID
www.SID.ir

پیشرفت‌های فناورانه در تولید پلاستیک‌های جدید

به دلیل چالش‌های متعددی که در تولید و کاربرد انواع پلاستیک وجود دارد، در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در خصوص تولید پلاستیک از منابع تجدیدپذیر صورت گرفته است که منجر به تولید انواع بیوپلیمر گردیده است. بیوپلیمر از نظر بیوشیمی‌دان‌ها عبارت است از ماکرومولکول‌های بیولوژی که از تعداد زیادی زیرواحد کوچک و شبیه به هم که با اتصال کوالانسی به هم متصل شده‌اند و یک زنجیره طولانی را ایجاد می‌کنند، ساخته شده‌اند. در روند طبیعی، بیوپلیمرها و یا همان ماکرومولکول‌ها، ترکیبات داخل سلولی هستند که قابلیت زنده ماندن را به ارگانیسم در شرایط سخت محیطی می‌دهند. مواد بیوپلیمری در شکل‌های گوناگون توسعه یافته‌اند؛ بنابراین ظرفیت استفاده در صنایع گوناگون را دارند. در این خصوص مواد بیوپلیمری در ساخت پلاستیک‌ها به دو صورت استفاده می‌شوند. اول استفاده از پلاستیک‌هایی که در آنها یک ماده تخریب پذیر به یک پلاستیک متداول( مانند پت) اضافه می‌شود، در نتیجه این ماده به افزایش سرعت تخریب پلاستیک کمک می‌کند. این مواد چند سالی هست که وارد بازار شده‌اند و با آنکه کمک زیادی به کاهش زباله‌های پلاستیکی کرده‌اند، اما به دلیل اینکه در آنها از همان پلاستیک‌های متداول تخریب ناپذیر استفاده می‌شود و استفاده از مقدار زیادی مواد تخریب پذیر در پلاستیک ویژگی آن را تضعیف می‌کند، موقعیت چندان محکمی ندارند. دوم پلاستیک‌های تخریب پذیر خیلی سریعتر از نوع اول به محیط زیست برمی‌گردند. این نوع پلاستیک‌ها به وسیله موجودات زنده ساخته می‌شوند و در نتیجه هیچ گاه منابع آن محدود و تمام شدنی نیست. در حالی که مواد پلیمری و پلاستیکی امروزی از سوخت-های فسیلی ساخته می‌شود که منابع آن محدود و تمام شدنی است(عباسی و عسگری،۱۳۸۷).

زیست پلیمرها

طی سالیان اخیر، به‌دلیل افزایش آگاهی‌های زیست محیطی، قیمت نفت خام و چالش‌های مربوط به گرم شدن زمین، توجه و علاقه به زیست پلیمرها افزایش یافته است(اصلاحی نوپاشایی و همکاران،۱۳۹۲) و استفاده از بیوپلاستیک‌ها راه حل مطلوبی برای این چالش‌ها می‌باشد(عباسی و عسگری،۱۳۸۷). از آنجا که این پلیمرها از منابع تجدیدپذیر به دست می‌آیند و زیست تخریب پذیرند، بنابراین استفاده از آنها در مقایسه با پلیمرهایی بر پایه ترکیبات نفتی دارای حداقل آثار منفی زیست محیطی است. امروزه این ترکیبات در زمینه‌های مختلف مانند فیزیوتراپی، داروسازی، پزشکی، پوشش دهی، فراورده‌های غذایی و مواد بسته بندی استفاده می‌شوند تا به امروز کوشش صنایع زیست فناوری و کشاورزی درباره جایگزینی پلاستیک‌های معمولی با پلاستیک‌های گیاهی به سه دیدگاه منجر شده است:

Archive of SID
www.SID.ir

- تبدیل قندهای گیاهی به پلاستیک
- تولید پلاستیک در درون بدن میکروارگانیسم‌های گیاهی
- رشد پلاستیک در ذرت و سایر غلات(اصلاحی نوپاشایی و همکاران،۱۳۹۲)

تاکنون انواع مختلفی از پلیمرهای زیست تخریب پذیر شناسایی شده و بر تعداد آنها روز به روز افزوده می-شود. کشف مکانیسم تخریب این پلیمرها نیز به‌طور فزاینده‌ای رو به پیشرفت است. عمده پلیمرهای زیست تخریب پذیر پلی‌استرها هستند که تولید آنها با روش‌های زیستی یا شیمیایی صورت می‌پذیرد. عوامل زیادی مانند ساختار شیمیایی و شرایط محیطی بر تخریب زیستی بیوپلیمرها اثر دارند. اگرچه تخریب در شرایط هوازی کمتر شناخته شده و بسیار پیچیده است(خسروی دارانی و واشقانی فراهانی،۱۳۸۴).

## انواع پلیمرهای زیست تخریب پذیر

پلیمرهای مورد استفاده در ساخت بسته بندی‌های زیست تخریب پذیر در دو گروه طبقه بندی می‌گردند:

- پلیمرهای طبیعی( مانند پلی ساکاریدها و پروتئین‌ها)
- پلیمرهای ترکیبی( مانند پلی کاپرولاکتون( PCL) و پلی لاکتیک اسید( PLA)

پلیمرهای ترکیبی نیز براساس منشا تولید آنها به سه دسته تقسیم می‌گردند:

- پلیمرهای تولید شده از میکروارگانیسم‌ها
- پلیمرهای بدست آمده از زیست فناوری
- پلیمرهای تولید شده از مشتقات نفتی( غیر تجدیدپذیر)(ستاد ویژه توسعه فناوری نانو،۱۳۹۴)

## انواع بیوپلیمرهای باکتریایی

تاکنون تعداد زیادی از پلاستیک‌های میکروبی نیز در جهان تولید گردیده اما تولید آنها به‌علت عواملی چون بالا بودن قیمت سوبسترا، محصول دهی کم و همچنین هزینه‌های مربوط به استریل نگه داشتن محیط( جهت جلوگیری از آلوده شدن میکروب‌ها در کشت خالص) به‌صورت محدود انجام پذیرفته و باعث شده تا این گروه از پلیمرها نتوانند با سایر پلاستیک‌ها رقابت داشته باشند. براساس یکی از مطالعات انجام گرفته هزینه قابل توجه مواد اولیه علت اصلی بالا بودن قیمت پلاستیک‌های قابل تجزیه در مقایسه با پلاستیک‌های معمولی عنوان گردیده است(محسنی و همکاران،۱۳۹۰). چند مورد از بیوپلیمرهایی که از باکتری‌ها بدست می‌آیند عبارتند از:

Archive of SID

www.SID.ir

۱- پلی هیدروکسی بوتیرات

۲- پلی هیدروکسی آلکانوات

۳- پلی لاکتیک اسید

این بیوپلیمرها از نظر خصوصیات فیزیکی به پلیمرهای پلی استیلن و پلی پروپیلن شبیه هستند. بیوپلیمرهای میکروبی در طبیعت به‌عنوان ترکیبات داخل سلولی میکروب‌ها یافت می‌شوند و بیشتر زمانی که باکتری‌ها در شرایط نامساعد محیطی قرار می‌گیرند، اقدام به تولید این مواد می‌کنند. این مواد در حالت طبیعی به‌عنوان یک منبع انرژی راحت و در دسترس عمل می‌کنند. همچنین هنگامی که محیط اطراف باکتری غنی از کربن باشد و از نظر دیگر مواد غذایی مورد استفاده باکتری دچار کمبود باشد، باکتری اقدام به ساخت بیوپلیمرهای یاد شده می‌کند(عباسی و عسگری،۱۳۸۷). در زیر به توضیح چند نمونه از پلاستیک‌های متداول و زیست تخریب‌پذیر که از منابع گوناگون بدست می‌آیند پرداخته شده است.

پلی اتیلن ترفتالات یکی از پرمصرف‌ترین انواع پلاستیک

پلی اتیلن ترفتالات مهم‌ترین عضو خانواده پلی استرهاست که از واکنش پلیمری شدن تراکمی اتیلن گلایکول و ترفتالیک اسید خالص تولید می‌شود. از جمله مواد اولیه‌ای که امروزه کاربرد فراوانی در بسته بندی مواد غذایی دارد، پل اتیلن ترفتالات است که به‌صورت مخفف پت نامیده می‌شود. پلیمر پت از اواخر دهه ۱۹۷۰ وارد بازار بسته بندی مواد غذایی به‌ویژه نوشیدنی‌ها شد و توانست با رشد قابل ملاحظه‌ای این بازار را تسخیر نماید. به‌طوری که امروزه این نوع پلیمر نقش عمده‌ای را در بازار بسته بندی مواد غذایی ایفا می‌کند. ویژگی‌های پت نسبت به سایر انواع بسته بندی موجود در بازار قابل توجه است. عدم شکنندگی و پارگی، عدم آسیب پذیری در حمل و نقل، هزینه تمام شده پایین و غیره سبب برتری آن نسبت به ظروف ساخته شده از جنس شیشه و کاغذ گردیده است. لیکن با وجود تمام مزایا و برتری‌های پت نسبت به رقبای موجود، معایب و ضررهای ناشی از آن سبب عدم رشد پایدار این محصول در بازارهای جهانی گردیده است. حداقل ۱۰۰ سال طول می‌کشد تا پت به صورت طبیعی به چرخه محیط زیست باز گردد. همچنین بازیافت آن به دلیل هزینه‌های بالای اقتصادی نسبت به ارزش محصول بازیافت شده، توجیه پذیر نیست. از سویی ماده اولیه و اصلی تولید پت، نفت است(عباسی و عسگری،۱۳۸۷). از جمله کالاهای نهایی که در بسته بندی آنها از ظروف ساخته می‌شود، می‌توان از انواع کالاهای خوراکی( انواع نوشابه‌ها، آب معدنی، سایر مایعات خوراکی نظیر روغن مایع، انواع سس‌ها، مربا، عسل، شکلات و بیسکویت،

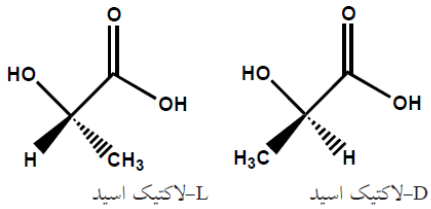
Archive of SID

www.SID.ir

کنسروهای خوراکی،..)، کالاهای بهداشتی( شامپوها، کرم‌ها، سرم‌ها و سایر داروها و مواد بهداشتی) و انواع ظروف یکبار مصرف نام برد(عباسی و عسگری،۱۳۸۷).

پلی لاکتیک اسید

پلی لاکتیک اسید مهم‌ترین پلیمر ترموپلاستیکی است که از زیست فناوری برای بسته بندی‌های زیست تخریب پذیر مورد استفاده قرار گرفته است(ستاد ویژه توسعه فناوری نانو،۱۳۹۴) و یک پلی استر گرمانروم آلیفاتیک خطی است که می‌تواند به طور ۱۰۰٪ از منابع تجدیدپذیر مثل ذرت استخراج شود. البته کاربرد آن محدود به پزشکی مثل نخ بخیه بوده است. ولی امروزه این پلیمر به‌طور گسترده در بسته بندی، نساجی و تولید ظروف پلاستیکی کاربرد دارد(اصلاحی نوپاشایی و همکاران،۱۳۹۲) پلی لاکتیک اسید از جمله پلیمرهای تولید شده از منابع تجدیدپذیر است که نسبت به سایر انواع پلیمرهای زیست تخریب پذیر سازگاری بیشتری با مصارف بسته بندی صنایع غذایی دارد، از نظر بسیاری ویژگی‌ها شباهت بیشتری با پلیمر پت دارد(عباسی و عسگری،۱۳۸۷) این فیلم گرمانرم، زیست تخریب‌پذیر و ترکیبی مشتق شده از منابع تجدیدشدنی گیاهی ذرت و چغندرقند است. این پلیمرها کاربردهای گوناگونی در صنایع منسوجات، پزشکی و به‌ویژه بسته بندی و ظروف یکبار مصرف دارند. پلی لاکتیک اسید به خانواده پلی استرهای آلیفاتیک تعلق دارد که معمولا از آلفاهیدروکسی اسیدها ساخته می‌شوند. پلی لاکتیک اسید یک گرمانروم با استحکام و مدول زیاد است که ماده اولیه آن از منابع تجدیدپذیر مانند سیب زمینی و ذرت تولید می‌شود. این پلیمر، به راحتی در دستگاه‌های پلاستیک استاندارد قالب گیری می‌شود. پلی لاکتیک اسید از معدود پلیمرهایی است که می‌توان ساختار مولکولی آن را با نسبت ایزومرهای ال و دی کنترل کرد تا پلیمر بلوری یا بی شکل با وزن زیاد به دست آید( شکل ۲ ) (اصلاحی نوپاشایی و همکاران،۱۳۹۲)




شکل ۲- ایزومرهای فضایی لاکتیک اسید(اصلاحی نوپاشایی و همکاران،۱۳۹۲)

Archive of SID

www.SID.ir

این پلیمر کاربردهای گوناگونی در صنایع پزشکی، به‌ویژه بسته بندی دارد. پلی لاکتیک اسید 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 تجزیه شدن آن به شکل و اندازه شی پلیمری، نسبت ایزومر و دمای آبکافت بستگی دارد(اصلاحی نوپاشایی و همکاران،۱۳۹۲). پیش بینی می‌شود این پلاستیک، در آینده رقیبی بسیار جدی برای پلاستیک‌های متداول امروزی به‌خصوص در صنعت بسته بندی باشد. مشکل بزرگ این مواد، گران بودنشان است. جالب اینکه منابع اصلی تولید این پلاستیک‌ها طبیعی هستند و از محصولات نفتی برای ساخت آنها استفاده نمی‌شود(طرقبه و همکاران،۱۳۸۹).

مواد اولیه تولید پلی لاکتیک اسید، محصولات کشاورزی مانند ذرت، چغندر قند، گندم و سایر محصولات سرشار از نشاسته هستند. قابل توجه است که الزامی به استفاده از محصولات اصلی کشاورزی برای تولید پلی لاکتیک اسید نیست، بلکه می‌توان از ضایعات محصولات کشاورزی نیز به‌طور گسترده در تولید پلی لاکتیک اسید استفاده کرد. بقایای محصولات کشاورزی، مخازن پرارزشی برای تولید ماده آلی خاک هستند. متاسفانه در ایران کشاورزان این بقایای باارزش را می‌سوزانند که با سوزاندن بقایای گیاهی، قسمت عمده ماده آلی به دی اکسیدکربن تبدیل شده و به هدر می‌رود. در کشورهای صنعتی به دلیل قرار گرفتن ضایعات کشاورزی در چرخه تولید سایر محصولات، عملا ضایعات دورریختنی گسترده‌ای وجود ندارد تا در تولید پلی لاکتیک اسید به کار گرفته شود. به همین دلیل، مواد اولیه مورد نیاز تولید پلی لاکتیک اسید در این کشورها به شکل صنعتی کشت می‌شود. مثال بارز آن کشت ذرت در نبراسکای آمریکاست. اما از آنجا که در ایران برنامه‌ریزی‌های گسترده و جامعی برای استفاده از ضایعات کشاورزی انجام شده است، بسیاری از این ضایعات به شکل پسماند به طبیعت وارد می‌شوند. تاکنون انواع کربوهیدرات‌ها و مواد نیتروژنی برای تولید لاکتیک اسید به کار رفته‌اند. انتخاب ماده اولیه مصرفی، به ریزسازواره و محصول مورد نظر بستگی دارد. سوکروز، مالتوز، گلوکوز، مانیتول و غیره به شکل تجاری استفاده شده‌اند. ملاس ارزان است، اما بازدهی کمی برای تولید لاکتیک اسید دارد. ذرت، کاه، پوست دانه پنبه و غیره نیز بررسی شده‌اند(اصلاحی نوپاشایی و همکاران،۱۳۹۲).

پلی لاکتیک اسید ماده‌ای است که ۱۰۰ درصد از منابع قابل تجدید طبیعت مانند ذرت به دست می‌آید. از طرفی دی اکسیدکربن موجود در هوا از این طریق کاهش می‌یابد و به کاهش گازهای گلخانه‌ای که معضل جهانی است کمک می‌کند. برای تهیه پلی لاکتیک اسید یک منبع تجدیدنشدنی مثل ذرت آسیاب می‌شود، نشاسته از مواد خام جدا می‌شود. دکستروز ناخالص متقابلا از نشاسته تهیه می‌شود. سپس دکستروز به لاکتیک اسید تبدیل می‌شود که این مرحله تخمیر شبیه تخمیر تولید آبجو است. لاکتیک اسید ماده اولیه حاصل از ذرت طی مراحل مختلف تمیز، جداسازی و پلیمریزاسیون به پلی لاکتیک اسید تبدیل می‌شود و در نهایت میزان انرژی لازم مصرفی در کارخانه و برای حمل و نقل مواد در مقایسه با پلاستیک‌ها ۲۰ تا ۵۰ درصد کمتر است و به این ترتیب از

Archive of SID

www.SID.ir

منابع تجدیدنشدنی طبیعت مثل گاز و ذغال سنگ کمتر استفاده می‌شود و در عین حال در خود محصول نیز برخلاف پلاستیک‌ها از منابع نفتی( پتروشیمی) استفاده نمی‌شود. از طرفی مصرف کنندگان ترجیح می‌دهند که مواد غذایی در بسته‌بندی‌هایی با پایه ذرت ارائه شود چرا که ۱۰۰ درصد تازگی مواد داخل آن حفظ می‌شود، به طبیعت آسیب نمی‌رساند و سهولت استفاده از آن به اندازه بسته بندی‌های سنتی است. عمر مواد غذایی ۱۰ تا ۱۵ درصد در این بسته بندی‌ها بیشتر می‌شود. پلی لاکتیک اسید مانند پت شفاف است و خاصیت شیشه‌ای و وضوح بالایی دارد. محصولات ساخته شده از این نوع پلیمر با خواص مشابه پلاستیک‌ها و قابل تجزیه و بازگشت به طبیعت است(عباسی و عسگری،۱۳۸۷). علیرغم وجود این ویژگی‌های مطلوب، پلی لاکتیک اسید دارای معایب است که کاربرد آن را به عنوان جایگزین پلیمرهای سنتزی در صنعت بسته بندی مواد غذایی محدود کرده است. از آن جمله می‌توان به خاصیت شکنندگی بالا، پایداری حرارتی پایین و خواص بازدارندگی ضعیف آن در مقابل رطوبت و اکسیژن اشاره نمود. برای رفع این معایب، راه‌های گوناگونی پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها استفاده از نانوتقویت کننده‌ها و تولید پلیمرهای نانوکامپوزیت می‌باشد(الماسی و همکاران،۱۳۹۲).

پلی هیدروکسی آلکانوات‌ها

از میان پلاستیک‌های قابل تجزیه که تاکنون تهیه گردیده گروهی تحت عنوان پلی هیدروکسی آلکانوات و کوپلیمرهای آن که بالغ بر چهل نوع ترکیب مختلف می‌باشند، به‌علت قابلیت تجزیه‌پذیری کامل، انعطاف پذیری، مقاومت ۱۰۰٪ در برابر آب، پایین بودن نسبی هزینه تولید و همچنین سادگی فرایند تولید نسبت به سایر پلیمرهای زیست تخریب پذیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. این نوع ترکیبات به‌علت خواص فیزیکی، مکانیکی و همچنین به علت سازگاری با بدن حتی در عمل‌های جراحی نیز دارای کاربرد هستند. این نوع بیوپلیمر که به صورت گرانول در داخل سلول میکروارگانیسم تجمع یافته پس از استخراج و خالص سازی به پودری سفیدرنگ تبدیل می‌شود، توسط گروه‌های مختلف میکروبی تولید می‌شود. تقریبا ۳۰۰ نوع میکروارگانیسم شامل انواع باکتری‌های گرم مثبت و منفی شناسایی گردیده که قادر به تولید پلی هیدروکسی آلکانوات می‌باشند. از جمله میکروارگانیسم‌هایی که توانایی تولید پلی هیدروکسی آلکانوات را دارند می‌توان به گونه‌های باسیلوس، ازتوباکتر، سودوموناس و آلکالی‌ژنز اشاره نمود(محسنی و همکاران،۱۳۹۰).

تحقیقات انجام شده روی این ترکیبات حاکی از خاصیت زیست تخریب‌پذیری، سازگاری با سامانه‌های حیاتی، طبیعت پلی استری و خاصیت ترموپلاستیکی این پلیمرها است. علاوه بر آن پلی هیدروکسی آلکانوات‌ها از منابع تجدیدپذیر تولید می‌شوند. به‌واسطه این ویژگی‌ها پلی هیدروکسی آلکانوآت‌ها در زمینه‌های مختلف علوم پزشکی و دامپزشکی، صنایع دارویی و بسته‌بندی، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت و سلامتی بشر کاربرد دارند.

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به آثار بی‌شمار استفاده از آنها در حیطه علوم، سرمایه گذاری‌های کلان به‌ویژه از سوی کشورهای پیشرفته برای توسعه و تولید علم در این زمینه صورت گرفته و به شکل تصاعدی در حال افزایش است. ساده‌ترین کاربرد این پلیمرها کاربرد آنها در بسته‌بندی ظروف غذا و بطری‌های نوشابه، فیلم‌های پلاستیکی و کیسه‌ها است. همچنین خاصیت زیست تخریب پذیری آنها و سازگاریشان با سامانه‌های حیاتی سبب شده که از آنها در رهایش کنترل شده داروها، مهندسی بافت، و دامپزشکی استفاده شود. علیرغم کاربردهای بسیار متعدد این نوع پلیمرها آنچه استفاده جهان شمول آن را محدود کرده است، قیمت زیاد آن در مقایسه با پلیمرهای پتروشیمیایی است. تعداد بسیاری از باکتری‌ها قادرند پلی هیدروکسی آلکانوات‌ها را به‌عنوان دخایر کربن و انرژی تحت شرایط محدودیت مواد مغذی و در حضور مقدار اضافی کربن تولید و ذخیره کنند(خسرو دارانی و واشقانی فراهانی،۱۳۸۴).

پلی هیدروکسی بوتیرات یکی از مهم‌ترین ترکیبات پلی هیدروکسی آلکانوات می‌باشد که میکروارگانیسم‌ها آن را به‌عنوان ذخیره انرژی به‌صورت درون سلولی در خود ذخیره می‌کنند. این ذخیره به‌دلیل کمبود منابع مغذی مانند فسفر، نیتروژن، پتاسیم و یا اکسیژن در حضور مقدار اضافی منابع کربن می‌باشد. در مقایسه با پلیمرهای صنعتی، پلی هیدروکسی بوتیرات انرژی کمتری برای تولید نیاز دارد و به‌همین دلیل گازهای گلخانه‌ای کمتری تولید می-شود. پلی هیدروکسی آلکانوات‌ها به دلیل زیست تخریب پذیری و زیست سازگاری بالایی که دارند بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. از آنجایی که پلی هیدروکسی آلکانوات‌ها را می‌توان از منابع تجدیدپذیر به دست آورد و پس از تجزیه به دی اکسید کربن و آب تبدیل می‌شوند به آنها پلاستیک‌های دوستدار محیط زیست می‌گویند. بیوسنتز پلی هیدروکسی آلکانوات تا حد زیادی به نوع منبع کربنی که در اختیار میکروارگانیسم قرار دارد وابسته است. منابع کربن را می‌توان به دو دسته تقسیم بندی کرد: منابعی که ساختار آنها شبیه به ساختار بیوپلیمر تولیدی است و منابع که ساختار آنها شباهتی به ساختار بیوپلیمر تولیدی ندارد. پلی هیدروکسی آلکانوات خواص ترموپلاستیکی شبیه به پلیمرهای صنعتی دارد با این مزیت که زیست تخریب پذیر، زیست سازگار و قابل تهیه از منابع تجدیدپذیر می‌باشد ولی به علت هزینه‌های بالای تولید توانایی رقابت با پلیمرهای صنعتی را ندارد، حدود ۷۰ درصد از هزینه‌های تولید بیوپلیمرها مربوط به سوبسترای مورد استفاده و استخراج بیوپلیمر می‌باشد(محسنی و همکاران،۱۳۹۰).

مزایای پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر

۱- مساله زیست محیطی و بهداشتی که نه تنها ایجاد آلودگی نمی‌کند بلکه باعث حاصلخیزی خاک هم می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

۲- مساله دیگر توسعه عمده در بخش کشاورزی است زیرا وقتی یک سیستم به شکل انبوه به سمت استفاده از پلیمرهای گیاهی برود پویایی بیشتر و اشتغال زایی بالاتری را به همراه خواهد داشت.

۳- عدم وابستگی صد در صد به منابع نفتی و عدم تاثیرپذیری صد در صد به منابع نفتی و عدم تاثیرپذیری صد درصد از نوسانات قیمت

۴- استفاده از این مواد جهت خوراک دام

۵- صرف انرژی کمتر برای ایجاد: برای تولید پلیمرهای معمول دمای مورد نیاز ۱۹۰ درجه سیلسیوس می‌باشد در صورتی که برای تولید پلیمرهای تخریب پذیر دمای مورد نیاز ۱۳۰ درجه سیلسیوس می‌باشد. این اختلاف ۶۰ درجه دما باعث صرف جویی مالی زیادی در طول سال می‌شود.

۶- این ظروف عاری از هر گونه اثرات مضر و عکس العمل‌های شیمیایی در تماس با مایعات و غذاهای داغ و مقاوم در برابر حرارت است.

اتحادیه اروپا زمان تجزیه شدن را تا سال ۲۰۰۴ بدین شکل اعلام کرده بود که پلیمرهایی را زیست تخریب پذیر می‌نامند که حداکثر ظرف مدت یکسال بپوسد. در حال حاضر اتحادیه اروپا این زمان به شش ماه رسانده است. چنانکه می‌گویند باید ظرف مدت سه ماه ۹۰ درصد آن زیر خاک قطعه قطعه شود و ظرف شش ماه بپوسد و چیزی از آن باقی نمی‌ماند. البته این استاندارد اروپا است و استاندارد آمریکا همان یکسال می‌باشد(شرکت سانیار صنعت توس،۱۳۸۷).

## نتیجه‌گیری

از آنجایی که پلاستیک‌های متداول از منابع تجدیدپذیر بدست می‌آیند و باتوجه به افزایش تقاضای انرژی، ارائه جایگزینی مناسب اهمیتی بیش از پیش پیدا کرده است که این جایگزین‌ها بیوپلاستیک‌ها می‌باشند که از منابع تجدیدپذیر مانند محصولات کشاورزی بدست می‌آیند، قابل توجه است که محصولات اولیه کشاورزی حتما از مواد مرغوب و درجه ۱ نیستند و از ضایعات آن‌ها نیز می‌توان استفاده نمود. ولی هزینه‌های مورد استفاده در برخی از این روش‌ها بیشتر می‌باشد. در نهایت باید به سمتی پیش رفت که هزینه‌های موثر این روش‌ها را کاهش داده و جایگزینی کامل بیوپلاستیک‌ها را با پلاستیک‌ها را در آینده داشته باشیم.

Archive of SID

www.SID.ir

**منابع**

**اسماعیلی، ح. باتمانی، م. انوری‌پور، ب. ۱۳۹۱. "پیرولیز حرارتی، روشی مناسب برای مدیریت ضایعات پلاستیکی"، اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی**

**الماسی، ه. قنبرزاده، ب. دهقان‌نیا، ج. انتظامی، ع.ا. خسروشاهی اصل، ا.۱۳۹۲."بررسی تاثیر نانوفیبر سلولز اصلاح شده بر روی خواص کاربردی بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر پلی لاکتیک اسید"، نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، جلد ۲، شماره ۳، صص ۲۰۵-۲۱۸**

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

**خسروی دارانی، ک. واشقانی فراهانی، ا. ۱۳۸۴."انواع ریز سازواره و سامانه تولید پلیمر زیست تخریب‌پذیر پلی هیدروکسی بوتیرات"، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، دوره ۲۴، شماره ۱**

**ستاد ویژه توسعه فناوری نانو.۱۳۹۴." نانوکامپوزیت‌های زیست تخریب‌پذیر برای بسته بندی مواد غذایی"، مجموعه گزارش-های صنعتی فناوری نانو، گزارش شماره ۱۷**

**شرکت سانیار صنعت توس. ۱۳۸۷."مطالعه امکان‌سنجی مقدماتی طرح اولیه بازیافت ظروف پلاستیکی"، شرت شهرک‌های صنعتی خراسان شمالی**

**شرکت سانیار صنعت توس، ۱۳۹۰. "مطالعات امکان سنجی مقدماتی(بازیابی ضایعات پلاستیکی)"، شرکت شهرکهای صنعتی خراسان شمالی**

**رضائی، م. تاج الدین، بهجت. محمدی ثانی، ع. ۱۳۹۰. "مطالعه‌ی اثر سازگارکننده‌های مختلف بر خواص مکانیکی کامپوزیت کاه گندم-پلی اتیلن سبک"، مجله‌ی علمی پژوهشی علوم و فناوری غذایی، سال سوم، شماره دوم**

**رضوانی‌پور، م. علیخانی حصاری، ف. پازوکی، م. ۱۳۹۱." مدیریت پسماندهای پلاستیکی زیست تخریب‌پذیر و کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از آن از طریق تبدیل آنها به سوخت‌های هیدروکربنی مفید"، اولین همایش ملی توسعه سواحل مکران و اقتدار دریایی جمهوری اسلامی ایران**

**عابدینی طرقبه، ج. آدینه نیا، ع. عباسی، ف.۱۳۸۹."پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر"، پنجمین همایش ملی مدیریت پسماند**

**عباسی، ز. علی عسگری، ع. ۱۳۸۷."چالش‌های توسعه صادرات مواد غذایی کشور و بررسی راهکارها(مطالعه موردی پلیمر پت)"، بررسی‌های بازرگانی، شماره ۳۲**

Archive of SID

www.SID.ir

محسنی، آ. عطائی، ا. فضائلی‌پور، م.ح. ۱۳۹۰."جداسازی سویه‌ای از Bacillus subtilis از پساب کارخانه شیر پگاه کرمان برای تولید پلی هیدروکسی بوتیرات"، نشریه علوم و مهندسی جداسازی، دوره سوم، شماره دوم، صص ۴۱-۳۵

نازیار، س." بتن پلیمری"، ۲۰۰۷-۲۰۰۳ IranCiviliCenter.com-The Construction Industry Portal of Iran

Archive of SID

www.SID.ir