

پلیمرها و پلاستیک‌های بسته‌بندی زیست تخریب پذیر بر پایه نشاسته

فرشید جلیلی^۱، سید مهدی جعفری^{۲*}

تاریخ دریافت مقاله: دی ماه ۱۳۹۰

تاریخ پذیرش مقاله: بهمن ماه ۱۳۹۰

چکیده

در صنعت بسته‌بندی، کشاورزی، دارویی و سایر زمینه‌های مربوط افزایش چشمگیری داشته است.

واژه‌های کلیدی

زیست تخریب پذیر، نشاسته و بسته‌بندی.

به نظر می‌رسد که امروزه سرتاسر کره زمین با پلاستیک پوشیده شده است. تقریباً هر چیزی که می‌خریم، هر غذایی که می‌خوریم و بسیاری از نوشیدنی‌ها با پلاستیک بسته‌بندی شده است. تأثیر مخرب پلاستیک‌های ضایعاتی بر روی محیط زیست به دلیل محدود بودن روش‌های دفع آن باعث تشدید نگرانی‌ها گردیده است. سوزاندن پلاستیک سبب آلودگی و سمی شدن هوا می‌گردد و زباله‌دانی‌ها هم بسیار اندک می‌باشند. همچنین منابع نفتی محدود بوده و در حال کاهش هستند. کار روی پلیمرهای گیاهی در جهان از سال ۱۹۷۰ و در زمان بحران نفت آغاز شد. در آن زمان کشورهای پیشرفته به فکر استفاده از موادی برای بسته‌بندی افتادند که وابسته به نفت و مشتقات آن نباشد، بنابراین پلیمرهای گیاهی مورد آزمایش قرار گرفت. نشاسته هیدروکربنی است که ارزان بوده و به وفور در گیاهان یافت می‌شود. نشاسته دارای خواص ضعیف پلیمری است و با تغییر و اصلاح آن‌ها می‌توان به ویژگی‌های پلیمر نفتی رسید. شکل و ظاهر ظروف مبتنی بر نشاسته کاملاً مشابه ظروف پلاستیکی است با این تفاوت که زیست تخریب پذیر هستند. در سال‌های اخیر علاقه به استفاده از مواد زیست تخریب پذیر

۱- مقدمه

اولین پلیمر مصنوعی ترموپلاستیک "سلولوئید" در ۱۸۶۰ اختراع شد. از آن به بعد، بسیاری از ترکیبات جدید به دست آمده از منابع تجدیدپذیر، توسعه یافته‌اند. با این حال بسیاری از اختراعات مربوط به پلیمرهای زیستی در دهه ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ ساخته شده در مرحله آزمایشگاهی باقی مانده و تولید تجاری آن هرگز مورد استفاده قرار نگرفت. دلیل اصلی آن، کشف نفت خام و استفاده از آن در مقیاس بزرگ صنعتی در تولید پلیمرهای سنتزی در دهه ۱۹۵۰ بود (۱). زیست تخریب‌ناپذیری پلیمرهای بر پایه مواد پتروشیمی از نگرانی‌های زیست محیطی بوده و از این رو، تلاش برای جایگزین‌های "سبز" افزایش یافته و نشاسته در این مسیر، از پیش‌روهاست. تلاش طولانی مدت برای توسعه پلاستیک نشاسته زیست تخریب‌پذیر در استفاده از نشاسته در اشکال مختلف مانند: گرانول^۳ نشاسته خام، نشاسته تغییر یافته، نشاسته پلاستیسیته^۴ و در آمیزه‌ها^۵ با بسیاری از پلیمرهای مصنوعی، به صورت زیست تخریب‌پذیر و زیست تخریب‌ناپذیر، به ترتیب برای

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(* نویسنده مسئول: smjafari@gau.ac.ir)

- 3- Starch granules
- 4- Plasticized starch
- 5- Blends



دستیابی به اهداف اثربخشی در هزینه و زیست تخریب پذیری می باشد. در این خصوص، نشاسته به عنوان پرکننده در مخلوط پلیمری پر شده با نشاسته، نشاسته ترموپلاستیک^۱ (TPS) (تولید شده از نشاسته، روان کننده ها و انرژی ترمومکانیکی)، در تولید کف نشاسته و پلیمر مصنوعی زیست تخریب پذیر مانند پلی لاکتیک اسید^۲ (PLA) استفاده می شود. با این حال، اکثر کامپوزیت های بر پایه نشاسته در خواصی ضعیفی مانند: مقاومت کششی، تنش تسلیم، سفتی و ازدیاد طول در برابر شکستن و نیز پایداری رطوبتی ضعیف هستند. بدیهی است با انجام اصلاحات و افزودن سازگار کننده ها و تقویت کننده ها (آلی و غیر آلی) و شرایط فرایند می توان در تحقق بخشیدن به جایگزین های زیست تخریب پذیر و تجدید پذیر نسبت به پلاستیک های مرسوم گام برداشت.

مشکلات دفع پلاستیک های بر پایه مواد نفتی از بزرگ ترین خطرات در مبحث محیط زیست می باشد. نظر به این که بعضی از پلاستیک ها (ترموست ها) قابل بازیافت نیستند، جهت انجام این کار در مواجهه با مشکلات مصرف بالای انرژی و مشکلات ناشی از آلاینده ها می باشند. علاوه بر این، گزینه بازیافت همراه با تولید محصولات کمپلکس^۳ چند فازی است. در سال ۲۰۰۵، ایالات متحده به تنهایی در حدود ۲۸/۹ میلیون تن زباله های پلاستیکی تولید کرد (۱۱/۸ درصد از کل ۲۴۵/۷ میلیون تن زباله شهری) و تنها مقدار بسیار کمی حدود ۱/۷ میلیون تن (۰/۵٪) از کل زباله های پلاستیکی بازیافت گردید در حالی که ۲۷/۳ میلیون تن باقی مانده (حدود ۱۶/۴٪ از کل جامد ضایعات شهری) در محل تجمع زباله نگهداری می شود. در این میان، ظرف مواد غذایی و بسته بندی، بالاترین مقدار را تشکیل داده اند. این امر کاملاً قابل درک است چرا که این محصولات اغلب یک بار مصرف می باشند. بنابراین، تحول فعلی انجام گرفته در صنعت پلاستیک به توسعه مواد پلاستیک جدید با ویژگی

قابل مقایسه با نوع متعارف و معمول و هم چنین مزیت زیست تخریب پذیر بودن شده است. تلاش های فوق العاده ای برای ساختن و تکمیل این نسل جدید از پلاستیک های زیستی یا "پلاستیک سبز" با منابع تجدید پذیر به عنوان مواد اولیه در حال انجام می باشد. به علاوه، این گروه پلاستیک ها قادر به کاهش قابل توجهی از اثرات زیست محیطی مانند مصرف انرژی و اثر گلخانه ای در کاربردهای خاص می باشند (۲) با استفاده از هر تن پلاستیک بر پایه نشاسته ۳/۲ - ۸٪ تن دی اکسید کربن می تواند ذخیره شود. لازم به گفتن نیست که نشاسته در مرکز این تلاش ها قرار دارد. نشاسته عمدتاً متشکل از دو نوع پلیمر گلوکوزی یعنی: آمیلوز^۴ و آمیلوپکتین^۵ است. آمیلوز یک پلیمر خطی گلوکز با پیوند آلفا-۱ و ۴ است در حالی که آمیلوپکتین پلیمر شاخه ای متشکل از هر دو پیوند گلوکوزی آلفا-۱ و ۴ و پیوند آلفا-۱ و ۶ بوده که دومی در مناطق انشعاب وجود دارد (۳). نسبت آمیلوز/ آمیلوپکتین - تابعی از منبع نشاسته می باشد - مهم بوده و روی برخی از خواص فیزیکی شیمیایی نشاسته تأثیر نموده و در نهایت روی خواص کاربردی و عاملیت نشاسته نیز اثر می گذارد. مزایای استفاده از نشاسته برای تولید پلاستیک شامل: زیست تخریب پذیری کامل، ممانعت خوب به اکسیژن در حالت خشک، فراوانی، هزینه کم و تجدید پذیری می باشد. بنابراین با ترکیب مزایای فردی نشاسته و پلیمرهای مصنوعی، پلیمرهای کاملاً زیست تخریب پذیر بر پایه نشاسته (SCBP) بالقوه برای کاربردهای پزشکی و زیست محیطی به کار می رود (۴).

۲- مفاهیم

تخریب^۶: روند غیر قابل برگشت که منجر به تغییرات قابل توجهی در ساختار مواد به طور نمونه از دست دادن خواص مشخص (به عنوان مثال یک پارچگی، وزن مولکولی

- 4- Amylose
- 5- Amylopectin
- 6- Degradation



- 1- Thermoplastic starch
- 2- Polylactic acid
- 3- Multi-phase complex products

و یا ساختار و استحکام مکانیکی) و یا تکه تکه شدن می‌شود. تخریب متأثر از شرایط محیطی بوده و طی یک دوره از زمان که در یک یا چند مرحله به دست می‌آید.

پلاستیک تخریب‌پذیر^۱: پلاستیک تغییرات قابل توجهی در ساختار شیمیایی خود و تحت شرایط محیطی خاص متحمل گردیده که منجر به از دست دادن برخی از خواص شده (همانطور که در بالا ذکر شد) و با روش‌های استاندارد مناسب برای پلاستیک اندازه‌گیری می‌شود. هیچ الزامی وجود ندارد که این پلاستیک‌ها باید از طریق فرایندهای طبیعی و یا هر معیار دیگری تخریب شود. همیشه از پلاستیک تخریب‌پذیر بقایایی باقی می‌ماند. پلاستیک تخریب‌پذیر بیشتر براساس روش تخریب طبقه‌بندی می‌شود:

- تخریب حاصل از عمل در نور روز طبیعی^۲؛

- تخریب حاصل از اکسیداسیون^۳؛

- تخریب حاصل از هیدرولیز (به عنوان مثال شکست در آب)^۴؛

پلاستیک زیست تخریب‌پذیر^۵: تخریب آن‌ها از طریق میکروارگانیزم‌ها مانند: باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها و به طور طبیعی رخ می‌دهد. پلاستیک زیست تخریب‌پذیر باید در محیط‌های خاص مانند خاک، کمپوست^۶ و یا محیط‌های دریایی تخریب شود. هیچ مقرراتی برای بقایای سمی و زمان‌های خاص برای تخریب وجود ندارد. عوامل متعددی بر روند زیست تخریبی از جمله ترکیب مواد و محیط دفع تأثیر دارند.

کمپوست تیل^۷: قابلیت تجزیه بیولوژیکی در مکان کمپوست به طوری که موادی قابل تشخیص نیست و شکسته شدن به دی‌اکسیدکربن، آب، ترکیبات غیر آلی و زیست توده در مقدار سازگار با مواد شناخته شده صورت می‌گیرد.

- 1- Degradation plastic
- 2- Photodegradable plastic
- 3- Oxidatively degradable plastic
- 4- Hydrolytically degradable plastic
- 5- Biodegradable plastic
- 6- Compost
- 7- Compostable

کمپوست تیل پلاستیک^۸: پلاستیکی که تحت شرایط تخریب بیولوژیکی - سازگار با دیگر مواد شناخته شده قابل کمپوست - در طی کمپوست شدن به دی اکسید کربن، آب، ترکیبات غیر آلی و زیست توده تبدیل شده بدون این که باقی مانده‌های قابل تشخیص و یا سمی وجود داشته باشد. مقدار باقی مانده‌های سمی شامل فلز سنگین و سموم طبیعی برای کیفیت کمپوست مهم می‌باشد.

بایوسد^۹: مواد آلی کربنی که از منابع تجدیدپذیر از طریق فرایندهای زیستی مشتق شده است و شامل توده مشتق شده گیاهی و حیوانی به دست آمده از دی اکسید کربن است و می‌تواند تا ۱۰۰٪ پایه بیولوژیکی، ترکیبی از مواد نفت و مواد بیولوژیکی متفاوت باشد. علاوه بر این، حتی اگر یک محصول ۱۰۰٪ بر پایه بیولوژیکی باشد لزوماً زیست تخریب‌پذیر یا قابل کمپوست نیست (۵).

۳- مزایا

امروزه با شناخت بیشتر فواید استفاده از صنعت تولید مواد پلاستیکی تجزیه‌پذیر در جهان و مزایای این محصول جدید نسبت به محصول مشابه قدیمی که از صنایع نفتی تجزیه ناپذیر تولید می‌شدند، شاهد تقاضای روز افزون تولید و مصرف پلیمرهای زیستی تجزیه‌پذیر گیاهی و جایگزینی این محصولات نسبت به محصول مشابه قبلی می‌باشد. از جمله دلایل جایگزینی پلیمرهای گیاهی به جای محصولات مشابه قدیمی می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

۱- از نظر زیست محیطی و بهداشتی پلیمرهای شیمیایی باعث آلوده شدن محیط زیست و تولید بیشتر دی اکسید کربن اتمسفر می‌شود؛ اما پلیمرهای زیستی تجزیه‌پذیر گیاهی دی اکسید کربن محیط را جذب کرده و باعث کاهش میزان آن می‌شود. در واقع مواد پلاستیکی

- 8- Compostable Plastic
- 9- Biobased



داخل کشور با هزینه تولید بسیار پایین‌تر از مواد پلیمری شیمیایی موجود و در دسترس است. در نتیجه قیمت تمام شده محصول نسبت محصولات مشابه پایین‌تر است؛

۷- امکان تولید محصول در رنگ‌ها و طرح‌های مختلف و متنوع (با توجه به در اختیار داشتن واحد گرانول‌ساز) وجود دارد؛

۸- پلیمرهای گیاهی از لحاظ فیزیکی تا دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت دارند و هیچ‌گونه تغییری در شکل ظاهری آن‌ها به وجود نخواهد آمد. بر اساس استاندارد ۹۱ درصد وزنی بخش تجزیه‌پذیر این پلیمرها در طول ۱۰۲ روز تجزیه می‌گردد و به طبیعت باز می‌گردد (۶).

۴- نشاسته

نشاسته مهم‌ترین منبع ذخیره کربوهیدراتی (پلی‌ساکارید^۲) در گیاهان است که به طور فراوان و همراه با سلولز به عنوان ترکیب آلی طبیعی قابل دسترسی می‌باشد.

نشاسته مخلوطی از دو پلیمر، پلی‌ساکارید خطی آمیلوز (شکل ۲) و پلی‌ساکارید چند شاخه‌ای آمیلوپکتین (شکل ۱) تشکیل شده است.

گیاهی از مشتقات منابع گیاهی تجزیه‌پذیر مثل روغن گیاهان، نشاسته ذرت و نشاسته نخود فرنگی و مواد ارگانیک^۱ هستند که نسبت به مواد پلاستیکی قدیمی که از مشتقات مواد نفتی می‌باشند از هر نظر برای جامعه بشری و بقا محیط زیست ما مفیدتر است و برخلاف مواد قبلی که باعث ایجاد سرطان و جهش‌های ژنتیکی و هورمونی می‌شوند به هیچ‌وجه این مشکلات را ندارند و از هر نظر سالم‌تر هستند؛

۲- برای تولید پلیمرهای گیاهی انرژی کمتری مصرف می‌شود. پلیمرهای گیاهی برخلاف پلیمرهای متداول برای تولید نیازمند دمای بالای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد نیستند. بلکه احتیاج به دمایی در حدود ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد دارند و این اختلاف ۶۰ درجه دما باعث صرفه‌جویی مالی زیادی در طول سال می‌گردد؛

۳- وقتی که به شکل انبوه به سمت استفاده از پلیمرهای گیاهی گام برداشته شود توسعه عمده‌ای در بخش کشاورزی به وجود می‌آید و این اثر ثانویه‌ای است که خیلی از کشورها آن را مطرح می‌کنند؛

۴- عدم وابستگی این نوع پلیمرها به منابع نفتی و عدم تأثیرپذیری آن‌ها از نوسانات قیمت نفت از دیگر مزایای این منابع می‌باشد. مسلماً قیمت پلیمرهای نفتی به تبع افزایش و یا کاهش قیمت نفت دارای نوسانات زیادی است و این مسأله برای تولیدکنندگان ایجاد مشکل می‌کند.

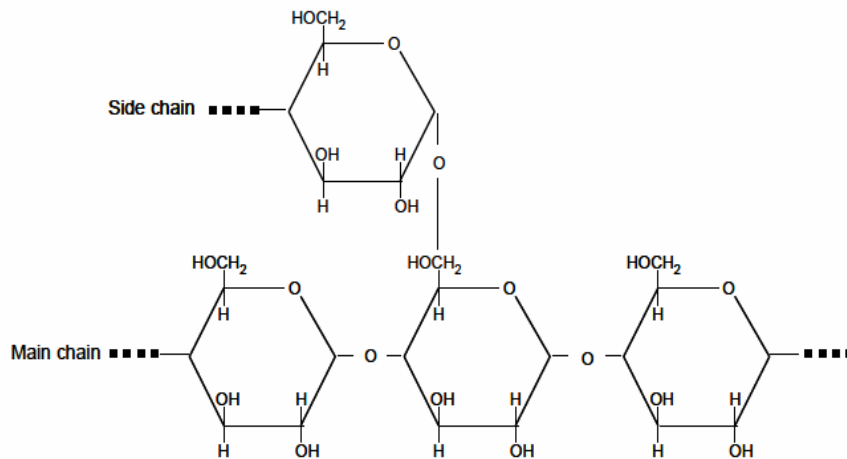
۵- مزیت دیگر، مسأله تجزیه شدن پلیمرهای گیاهی در خاک است که نه تنها ایجاد آلودگی نمی‌کند بلکه باعث حاصلخیزی خاک هم می‌شود. به طوری که میزان تجزیه‌پذیری مواد پلیمری شیمیایی در خاک بین ۱۵۰ الی ۳۰۰ سال می‌باشد در حالی که میزان تجزیه‌پذیری پلیمرهای زیستی بین ۶ تا ۹ ماه می‌باشد؛

۶- از آنجایی که مواد سازنده پلیمرهای زیستی کاملاً طبیعی و گیاهی است بنابراین اگر حتی غذا و نوشیدنی‌های داغ در آن ریخته شود هیچ مشکلی ایجاد نمی‌کند و عوارضی ندارد. مواد اولیه تولید پلیمرهای گیاهی (نشاسته ذرت، نشاسته گندم و نشاسته سیب زمینی) در

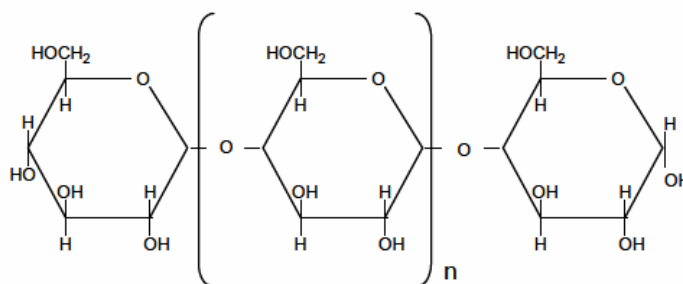
2- Polysaccharide



1- Organic



شکل ۱- قسمتی از مولکول آمیلوز با واحدهای تکرارشونده انیدرید^۲ گلوکز



شکل ۲- قسمتی از مولکول آمیلوپکتین با دو زنجیره متفاوت

۵- پلیمرهای نشاسته‌ای برای کاربردهای غیرپلاستیکی

پلیمرهای نشاسته‌ای برای کاربردهای غیرخوراکی غیر پلاستیکی با رشد محدود و البته مشخص استفاده می‌شود. در اروپا، ۱۷٪ از کل مصرف نشاسته برای تولید بیواتانول^۳، ۳۳٪ برای اهداف غیرغذایی و ۵۰٪ مابقی به عنوان غذا و تغذیه دام استفاده می‌شود. در بخش غیرغذایی به‌استثنای بخش سوخت‌های زیستی، نشاسته برای کاربردهای غیرپلاستیکی سهم عمده بیش از ۵۰٪ دارد در حالی که برای پلاستیک نشاسته زیر ۱۰٪ است. تاکنون مهم‌ترین کاربردهای غیرپلاستیکی از نشاسته در مقوا و کاغذسازی می‌باشد، یعنی نزدیک به سه میلیون تن

بلوک ساختمانی برای هر دو مونومر پلیمرهای گلوکز است. زنجیره نشاسته به‌طور معمول متشکل از واحدهای گلوکز بین ۵۰۰ و ۲۰۰۰ در موقعیت‌های کربنی ۱/۴ ساخته شده است. سطح آمیلو پکتین و آمیلاز (معمولاً ۷۵٪) برای انواع گوناگون نشاسته متفاوت است. نشاسته در میان کربوهیدرات‌ها منحصر به فرد می‌باشد به دلیل آن‌که به طور طبیعی، گرانول از هم گسسته در آن دیده می‌شود و دلیل آن هم زنجیره‌های کوتاه شاخه‌ای شده آمیلوپکتین است که قادر به ایجاد ساختارهای مارپیچی بوده و متبلور هستند. گرانول‌های نشاسته خواص آب دوستی و ارتباط بین مولکولی قوی از طریق پیوند هیدروژنی به دلیل وجود گروه هیدروکسیل^۱ در سطح گرانول دارند (۷).

2- Anhydride
3- Bioethanol



1- Hydroxyl

جدول ۱- کاربردهای نشاسته در مصارف غذایی و غیر غذایی

موارد مصرف	مصرف	
	۱۰ ^۶ تن	٪(جمع کل)
مواد غذایی / خوراک دام، مجموع	۵/۶	۵۰
شیرینی سازی و نوشیدنی ها	۲/۹	۲۶
غذاهای فرایند شده	۲/۶	۲۳
خوراک دام	۰/۱	۱
غیر غذایی (به غیر نشاسته جهت تولید سوخت بیواتانول)	۳/۷	۳۳
صنایع کاغذسازی	۲/۶	۲۳
دارویی و شیمیایی	۰/۷	۶
مواد غیر غذایی دیگر	۰/۴	۴
سوخت زیستی (بیواتانول)	۱/۹	۱۷
جمع کل	۱۱/۲	۱۰۰

کمتر هستند ولی حال در حال رشد سریع می باشند. در طول سالیان متمادی، پلاستیک های نشاسته ای به طور بالقوه به عنوان جایگزین پلاستیک های پتروشیمی طراحی شده اند. نشاسته ترموپلاستیکی زیست تخریب پذیر، قابل احتراق بوده و می تواند به محصول نهایی مانند کود گیاهی^۲ و مواد محافظتی فضا^۳ تبدیل شود. با توجه به هزینه نسبتاً پایین، پلیمرهای نشاسته می تواند جایگزین مناسبی برای پلیمرهای پتروشیمی باشد که به وسیله ترکیب با دیگر کوپلیمرها، طیف گسترده ای از مواد با خواص گوناگون (به عنوان مثال در مورد استحکام در مقابل انعطاف پذیری) به دست می آید که کاربردهای گسترده ای دارند. با این حال، نشاسته خام برای اکثر کاربردها با توجه به معایب گوناگون آن نامناسب است که مهم ترین آن معایب، تردی و آب دوستی است. علاوه بر این، نقطه ذوب نشاسته بالاتر از دمای تجزیه حرارتی است و در نتیجه فرایند پذیری ضعیف حرارتی دارد. به منظور غلبه بر این معایب (حداقل تا حدی) نشاسته خام به صورت شیمیایی، حرارتی و یا مکانیکی پردازش می شود. با تجاری سازی در دهه های گذشته، امروزه پلاستیک های نشاسته ای یکی از مهم ترین پلیمرها در بازار پلیمر زیستی است. در اروپا،

که در حدود ۷۰٪ از کل تقاضا برای نشاسته در اروپا برای اهداف غیر غذایی استفاده می شود (جدول ۱). در اینجا، نشاسته و مشتقات نشاسته در درجه اول به عنوان سایننگ اجنت^۱ در جهت بهبود شاخص هایی مانند جذب مایعات، توانایی نوشتن و چاپ، آب گریزی سطحی، ثبات ابعاد و عملکرد دستگاهی استفاده می شود. مهم ترین کاربرد غیر غذایی دیگر از نظر کمی تولید مواد شیمیایی و دارویی است. نمونه های مهم عبارتند از: استفاده از نشاسته و مشتقات نشاسته به عنوان چسب و مواد اتصال دهنده در منسوجات و مواد تشکیل دهنده مواد آرایشی. در سایر زمینه ها، به عنوان مثال استخراج نفت خام، مشتقات نشاسته به عنوان یک عامل تعلیق و حفظ گرانیوی سیال در حفاری و کاهش ضایعات عمل می کند (۸).

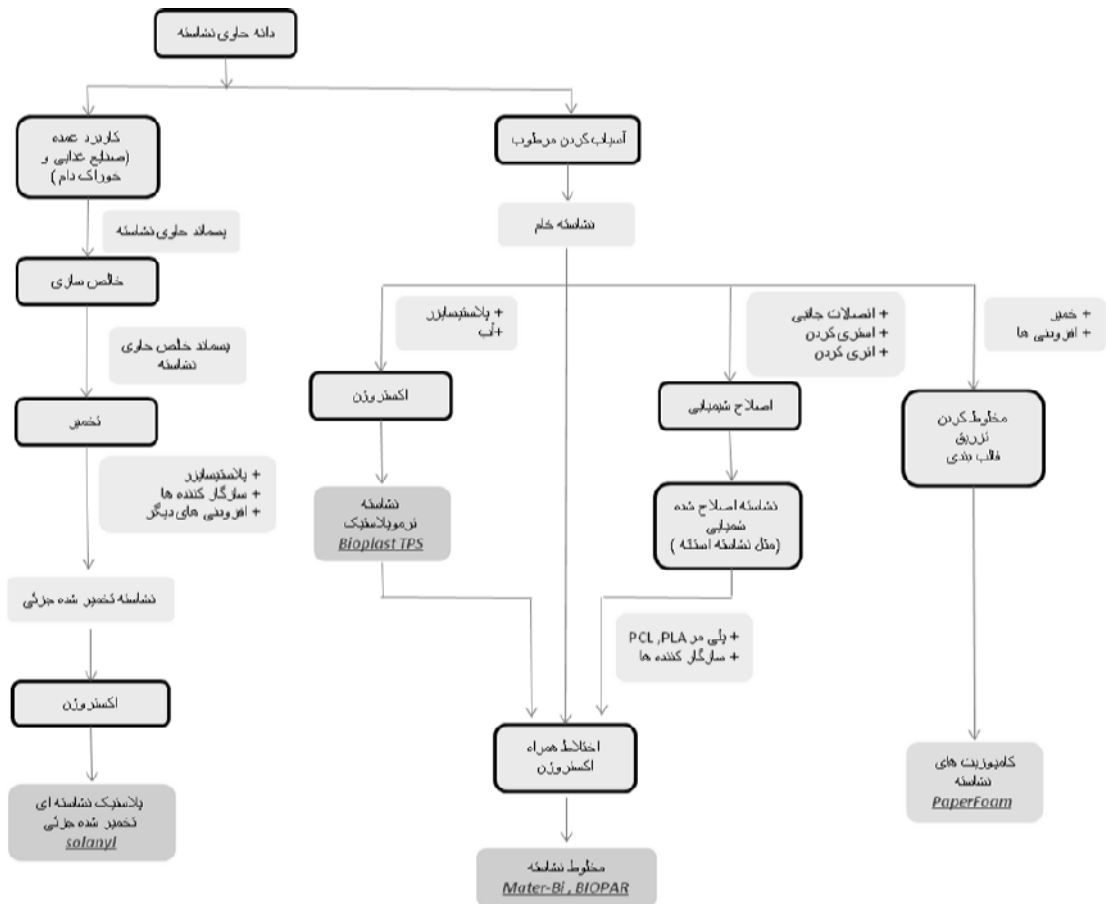
۶- پلاستیک های نشاسته ای - انواع و اهمیت

پلاستیک های نشاسته ای از مهم ترین پلیمرهای زیستی تجارت پلاستیک بیش از ۲۰ سال گذشته بوده است که در بسته بندی به صورت کالاهای مصرفی کوتاه مدت استفاده می شوند. این گروه جدید از مواد رشد و نوآوری بسیار قابل توجهی را در فناوری تجربه کرده است. در مقایسه با کاربردهای دیگر نشاسته، پلاستیک های نشاسته ای نسبتاً

- 2- Mulch film
- 3- Loose fill

1- Sizing agent





شکل ۳- فناوری تولید پلیاستیک‌های نشاسته‌ای

بایوپ، لیم‌گرین^۶، نو پیپر فوم^۶. مواد خام پلیاستیک نشاسته ذرت، گندم، سیب زمینی، کاساوا^۷، تاپیوکا^۸ و برنج می‌باشد. رادن بورگ^۹ در هلند از پوست سیب زمینی که در تولید سیب زمینی سرخ کرده به دست می‌آید به عنوان مواد اولیه استفاده می‌کند.

ظرفیت تولید پلیاستیک‌های نشاسته‌ای از ۳۰،۰۰۰ میلیون تن در سال ۲۰۰۳ به حدود ۱۳۰،۰۰۰ میلیون تن در سال ۲۰۰۷ افزایش یافته است. با رشد سالانه به طور متوسط نزدیک به ۵۰٪ بسیاری از پلیاستیک‌های نشاسته‌ای در بسته‌بندی به کار می‌روند.

از جمله استفاده در فیلم‌های حل‌شونده برای بسته‌بندی صنعتی، فیلم برای کیسه و گونی و مواد محافظتی فضا. کاربردهای جدید آن در قطعات خودرو (به‌عنوان مثال، پرکننده تایر، پانل)، دستگاه‌های الکترونیکی، لوازم خانگی و دیگر کاربردها مشاهده می‌شود. تولیدکننده‌های پیشرو اروپایی در بازار عبارتند از: وامونت^۱، بایوتک^۲، رادن بورگ^۳.

- 4- Biop
- 5- Limagrain
- 6-New Piper foam
- 7- Cassava
- 8- Tapioca
- 9- Raden Burg

- 1- Novamont
- 2- Biotec
- 3- Rodenburg



۷- تولید پلاستیک‌های نشاسته‌ای

در (شکل ۳) فناوری‌ها و مراحل فرایندی که منجر به تولید محصولات پلاستیک نشاسته تجاری می‌شود، داده شده است (۱).

با توجه به (شکل ۳) پنج گروه اصلی از پلاستیک‌های نشاسته جدید دیده می‌شود:

۱- نشاسته کمی تخمیر شده؛

۲- نشاسته خام؛

۳- نشاسته ترمو پلاستیک؛

۴- نشاسته شیمیایی اصلاح شده؛

۵- مخلوط‌های نشاسته؛

۶- کامپوزیت‌های نشاسته.

این گروه‌بندی کاملاً انحصاری نیست، زیرا به‌عنوان مثال، نشاسته ترموپلاستیک و همچنین نشاسته اصلاح‌شده شیمیایی برای تولید مخلوط و کامپوزیت نشاسته استفاده می‌شود.

۱-۷- نشاسته کمی تخمیر شده

در تولید نشاسته کمی تخمیر شده (اصطلاح مورد استفاده در اینجا به‌طور ویژه در مورد محصول تولید شده توسط شرکت رادن بورگ به‌کار می‌رود (۱)). مواد خام از ضایعات سیب زمینی صنایع غذایی (به‌عنوان مثال، ضایعات سیب زمینی در تولید چیپس) به‌دست می‌آید. این مواد دوغاب مانند از نشاسته (۷۲٪ از ماده خشک)، با بقایای پروتئینی (۱۲٪ از ماده خشک)، چربی‌ها و روغن (۳٪ ماده خشک)، اجزای معدنی (۱۰٪ ماده خشک) و سلولز (۳٪ از ماده خشک) تشکیل شده است. دوغاب ابتدا با دستگاه هیدروسیکلون^۱ تصفیه شده (به منظور حذف پروتئین‌ها، چربی‌ها و روغن و بو) سپس دوغاب سیب زمینی خالص قبل از این که تخمیر جزئی صورت گیرد، خشک می‌شود. در مرحله تخمیر، دوغاب سیب‌زمینی در سیلوهای ذخیره‌سازی در حدود دو هفته برای تخمیر جزئی نگهداری می‌شود. در

1- Hydrocyclone

اینجا بخش کوچک‌تری از نشاسته به اسید لاکتیک^۲ (از طریق گلوکز) به‌وسیله باکتری اسید لاکتیک که به‌طور طبیعی در مواد اولیه وجود دارد، تبدیل می‌شود. سپس محصول برای به‌دست آوردن خواص ترموپلاستیکی، خشک (۱۰٪ محتوای آب) و اکستروود می‌شود. به‌منظور بهبود خواص محصول در اکستروود، روغن پالم^۳ به آن اضافه می‌گردد. مواد افزودنی از جمله دی‌اکسید تیتانیوم^۴ با در نظر گرفتن نوع محصول نهایی اضافه می‌شوند. در نهایت در یک مرحله دیگر ماده خشک می‌شود.

۲-۷- نشاسته خام

کلیه پلاستیک‌های نشاسته‌ای تخمیر شده جزئی از نشاسته خام هستند که از فرایند آسیاب مرطوب به‌دست آمده و هیچ فرایند تخمیری در آن دخیل نمی‌باشد. تولید نشاسته خام با استخراج نشاسته از غلات نشاسته‌ای آغاز می‌شود. با ذکر مثال از ذرت، نشاسته از دانه توسط آسیاب مرطوب استخراج شده است. دانه در ابتدا توسط محلول رقیق اسیدی جهت شکستن دانه و حذف جوانه‌های حاوی روغن نرم و خیس‌انده^۵ می‌شود. سپس توسط آسیاب‌های نرم‌کننده فیبر جدا شده و در ادامه برای جداسازی پروتئین از نشاسته، سانتریفوژ^۶ می‌شود. محلول نشاسته سپس شسته شده، آبگیری و خشک می‌شود قبل از اینکه اکستروود یا مخلوط^۷ شود (۹).

۳-۷- نشاسته ترموپلاستیک

با پردازش کردن نشاسته خام در یک اکستروودر تحت شرایط خاصی از دما، فشار، برش، آب کم و زمان کافی ساختار بلوری و گرانولی دانه آمیلوز و آمیلوپکتین طبیعی تقریباً به‌طور کامل نابود می‌شود. افزایش دما در پی

- 2- Lactic Acid
- 3- Palm oil
- 4- Titanium oxide
- 5- Steeping
- 6- Centrifuge
- 7- Blend



اکستروژن^۱ تحرک گرانول‌های نشاسته را افزایش داده و منجر به ذوب ساختار کریستالی می‌شود. دانه‌های متورم و نرم‌کننده‌ها را جذب می‌کند، نیروهای برشی گرانول را باز می‌کند، نشاسته حل شده و قطعه قطعه می‌شود و مولکول درونی بازآرایی می‌شود و منجر به ایجاد دسپرسیون^۲ مولکولی نشاسته و آب یا نشاسته ترموپلاستیک^۳ می‌شود (۱۰). نشاسته ترموپلاستیک از نظر مولکولی مشابه (آمیلوز و آمیلوپکتین به طور یکنواخت در کل مواد پخش شده‌اند) و دارای آمیلوپکتین با وزن مولکولی نسبتاً بالا بوده و شکننده نیست و دارای خواص عالی مکانیکی می‌باشد. ترکیباتی مثل پرکننده، مواد افزودنی و غیره را می‌توان به فرایند اکستروژن برای ارائه محصول رزین نهایی در یک مرحله ترکیب کرد. همچنین نرم‌کننده‌ها (پلاستیسایزرها)^۴ مانند گلیسرول^۵، پلی‌اترها^۶ و اوره^۷ به منظور کاهش پیوند هیدروژنی بین مولکولی و ثبات در خواص محصول اضافه می‌شود. با کاهش فعالیت آبی، پلاستیسایزرها نیز رشد میکروبی را محدود می‌کنند. در مقایسه با نشاسته گرانول، نشاسته ترموپلاستیک پردازش پذیری بیشتری دارد (۱۱).

۷-۴- نشاسته اصلاح شده به طور شیمیایی

اصلاح شیمیایی نشاسته برای برطرف کردن مشکل پلاستیک‌های نشاسته‌ای که دارای نشاسته خام بالا بوده و به شدت آبدوست هستند استفاده می‌شود و وقتی با آب در تماس هستند به آسانی از هم پاشیده می‌شود. اصلاح شیمیایی نشاسته خام توسط تیمار با مواد شیمیایی به منظور جایگزین کردن برخی از گروه‌های هیدروکسیل توسط گروه استر^۸ یا اتر^۹ تولید می‌شود. در اتصال جانبی^{۱۰} دو گروه هیدروکسیل

در مولکول‌های هم‌جوار به صورت شیمیایی به هم اتصال می‌یابند که نوعی اصلاح شیمیایی می‌باشد و باعث مهار تورم گرانول در ژلاتینه شدن و افزایش ثبات در برابر اسید، عملیات حرارتی، و نیروهای برش می‌شود.

سطوح بسیار کم از اصلاح شیمیایی می‌تواند باعث بهبود خاصیت آبدوستی شود و همچنین سایر خواص رئولوژیکی^{۱۱}، فیزیکی و شیمیایی نشاسته را تغییر دهد. با توجه به پیچیدگی مراحل فرایند، نشاسته اصلاح شده شیمیایی گران است و به همین دلیل چندان گسترده نیست. روش‌های متعددی برای اصلاح نشاسته وجود دارد که حتی در مقیاس صنعتی نیز به کار می‌روند؛ اما آن‌ها در درجه اول برای تولید محصولات غیرپلاستیکی (جدول ۲) استفاده می‌شوند. کاربرد بسیار جالب و در حال حاضر تجاری از نشاسته اصلاح شده شیمیایی استفاده از آن به عنوان پرکننده‌های پلیمری زیستی برای جایگزینی بخشی از کربن سیاه در لاستیک (بین ۱۰-۵٪، جایگزینی کربن و سیلیس^{۱۲}: ۲۰-۱۰٪) است. این فناوری به طور مشترک توسط BMW، گودیر و نوامونت^{۱۳} توسعه یافته و توسط گودیر برای تولید نوع خاصی از تایر کاربرد دارد. نسل جدیدی از پرکننده نشاسته قادر به کاهش بیشتر مقاومت غلطشی^{۱۴} می‌باشد (۴).

۷-۵- مخلوط‌های نشاسته‌ای

مخلوط‌های نشاسته‌ای از نشاسته ترموپلاستیک، نشاسته اصلاح شیمیایی و یا گاهی اوقات نشاسته خام در ترکیب با مواد پتروشیمی، ترکیبات زیستی یا معدنی در ماده همگن تولید می‌شود. امروزه، مخلوط نشاسته‌ها در مقیاس بزرگ توسط شرکت‌های مختلفی براساس نوع اختراع ثبت شده تولید می‌شود (به عنوان مثال، نوامونت،

- 1- Extrusion
- 2- Dispersion
- 3- Thermoplastic
- 4- Plasticizers
- 5- Glycerol
- 6- Polyethers
- 7- Urea
- 8- Ester
- 9- Ether

- 10- Cross linking
- 11- Rheological
- 12- Silice
- 13- Goodyear and Novamont
- 14- Rolling resistance



جدول ۲- خصوصیات و انواع نشاسته اصلاح یافته شیمیایی ذرت (۹)

نوع	ویژگی‌های اختصاصی	مصرف غیر غذایی رایج تجاری
اصلاح شده با اسید	کاهش گرانروی خمیر گرم در مقایسه با غیر اصلاح شده	مواد چسبنده در ساختن مقوا ^۶ ،
اتصال جانبی	کاهش پیک گرانروی، افزایش ثبات خمیر	اجزاء ضد تعریق‌ها، خمیر چاپ، گل مته چاه نفت، جوهر چاپ، سایزبندی فایبرگلاس ^۷ و منسوجات
استیله شده (استر)	پایداری و شفافیت عالی خمیر، پایداری خوب انجماد/ رفع انجماد، آب‌گریزی در نشاسته استات ^۸ با درجه جایگزینی بالا	با درجه جایگزینی پایین: چسب پوششی منسوجات، چسب شکل‌گیری و سطح در ساختن مقوا با درجه جایگزینی بالا: قالب‌گیری ترموپلاستیک و پلاستی سایزر ^۸ در فیلم‌ها
فسفات‌ها ^۱ ، مونواسترها ^۲	کاهش دمای ژلاتینه شدن، کاهش رتروداسیون ^۹	افزودنی در ساختن مقوا، چسب در منسوجات پلی‌استری، تغلیظ‌کننده در جوهر چاپ منسوجات
هیدروکسی پروپیل ^۳ (اتری)	افزایش شفافیت خمیر، کاهش رتروداسیون، پایداری خوب انجماد/ رفع انجماد، آب‌گریزی	اندازه‌گیری سطح ^۹ در مقوا سازی با درجه جایگزینی پایین به عنوان بسته‌بندی کردن ^{۱۱} در منسوجات

ترموپلاستیک یا اصلاح یافته شیمیایی با پلی‌لاکتیک اسید^{۱۵} (PLA) یا PHA/B^{۱۶} (پلی‌هیدروکسی الکانوئیت/ بوتیرات) می‌باشند. پیشرفت‌های اخیر کاربرد بسیاری از پلیمرهای پتروشیمی مانند پلی‌پروپیلن^{۱۷} و به عنوان کوپلیمر^{۱۸} نشاسته در مخلوط‌های نشاسته‌ای است. این پلاستیک نشاسته‌ای تا حدی زیستی است؛ اما زیست تخریب‌پذیر نیست. نمونه‌هایی از محصولات تجاری، سری پلاست هیبرید^{۱۹} یا بیوپروپیلن^{۲۰} است که حاوی ۵۰٪ نشاسته حدود و ۵۰٪ پلی‌پروپیلن می‌باشد در (جدول ۳ نمونه‌هایی از مخلوط نشاسته‌ای و زیست تخریب‌پذیر بودن آن‌ها آورده شده است) (۱۲).

بایوتک، بایوپ و سری پلاست^{۱۱}). اختلاط معمولاً در طی فرایند اکستروژن در یک فرایند "ترکیب واکنشی" صورت می‌گیرد و نشاسته توسط نیروهای کووالانسی^{۱۲} یا واندروالس^{۱۳} با دیگر پلیمرها واکنش می‌دهد. محتوای نشاسته در اختلاط از ۳۰٪ تا ۸۰٪ بسته به کاربرد نهایی متفاوت می‌باشد. در سال‌های گذشته، اکثر کوپلیمرهای زیست تخریب‌پذیر شده پلیمرهای مشتق شده از مواد اولیه سوخت‌های فسیلی بوده است، مانند: اکو فلکس^{۱۴} نمونه‌های دیگری از مخلوط‌های نشاسته‌ای زیستی که به طور کامل زیست تخریب‌پذیر هستند، مخلوط‌هایی از نشاسته

- 1- Phosphate
- 2- Monoesters
- 3- Hydroxy propyl
- 4- Acetated
- 5- Textile sizing agent
- 6- Paperboard
- 7- Fiberglass
- 8- Plasticizer
- 9- Surface sizing
- 10- Wrap sizing
- 11- Cereplast
- 12- Covalent
- 13- Wanderwalles
- 14- Ecoflex

- 15- Poly Lactic Acid
- 16- Poly hydroxl alkanoid botyrat
- 17- Polypropylene
- 18- Copolymer
- 19- Cereplast Hybrid
- 20- Biopropylene



زیست تخریب ناپذیر	زیست تخریب پذیر
نشاسته - پلی اتیلن	نشاسته - پلی کاپرولاکتون
نشاسته - پلی پروپیلن	نشاسته - پلی وینیل الکل
نشاسته - ترموپلاستیک پلی اورتان	نشاسته - پلی بوتیلن سوکسینیت/ادپات
	نشاسته - پلی بوتیلن ادپات/ترافالات
	نشاسته - پلی لاکتیک اسید
	نشاسته - پلی هیدروکسی آلکانوئیت/بوتیرات ^a
	نشاسته - پلی بوتیلن سوکسینیت ^{a,b}
	نشاسته - پلی بوتیلن ادپات/ترافالات ^{a,b}

a: می‌توانند بر پایه اسید سوکسینیک از طریق تخمیر به دست آید.

b: این پلیمرها هنوز تجاری نشده‌اند.

۸- خواص پلاستیک‌های نشاسته‌ای

اکثر پلاستیک‌های نشاسته‌ای از طریق اصلاح شیمیایی و اکستروژن^۴/ ترکیب نشاسته خام و مشتقات آن (شکل ۳) تولید می‌شود. تعدادی از این خواص شیمیایی، مکانیکی و حرارتی در (جدول ۴) آمده شده است.

۹- خواص شیمیایی، فیزیکی، مکانیکی و حرارتی

پلاستیک‌های نشاسته‌ای تا حدی بلورین، اما خیلی کمتر از سلولز هستند، با توجه به دانسیته نشاسته ترموپلاستیک $1/29-1/21 \text{ kg/cm}^3$ ، چگالی پلاستیک‌های نشاسته‌ای بالاتر از اکثر ترموپلاستیک‌های معمولی و نیز بیشتر از بسیاری پلیمرهای زیستی دیگر است. این موضوع قیمت رقابتی پلاستیک‌های نشاسته را براساس حجم کاهش می‌دهد. نشاسته ترموپلاستیک و مخلوط، شفافیت مناسبی دارند. پلاستیک‌های نشاسته‌ای مقاومت کم در حلال و روغن دارند؛ اما ممکن است با ترکیب پلی-کاپرولاکتون (PCL)^۵ به طور قابل ملاحظه بهبود یابند. طیف وسیعی از کاربردها می‌تواند برای پلاستیک‌های نشاسته‌ای با توجه به حساسیت نسبت به

۷-۶- کامپوزیت نشاسته‌ای

کامپوزیت نشاسته‌ای است که از نشاسته خام (یا احتمالاً ترموپلاستیک) و یک یا چند ماده تشکیل دهنده با خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت که اثر جداگانه و مجزا در سطح ماکروسکوپی^۱ ساختار محصول نهایی باقی می‌گذارند، تولید می‌شود. پیپر فوم^۲ از نمونه‌های تجاری است که از نشاسته سیب زمینی، مخلوط الیاف کاغذی و مواد افزودنی تولید شده است و توسط یک مرحله پردازش تزریق- قالب به محصولات نهایی تبدیل می‌شود. محتوای نشاسته در آن حدود ۷۰٪ در حالی که پالپ^۳ کاغذ ۲۰٪ و بقیه مواد افزودنی است که زیست تخریب پذیر بوده و می‌توان آن‌ها را به مقوا و کارتن بازیافت کرد (۱۳). در مقایسه با بازار مخلوط نشاسته، بازار کامپوزیت نشاسته نسبتاً کوچک و نقش بسیار کم‌تری در این حوزه دارد. با این حال، رشد سریع صنعتی با هدف جایگزینی پلاستیک‌های بادوام مانند بسته‌بندی لوح‌های فشرده و لوازم با ارزش الکترونیکی مصرفی (به عنوان مثال تلفن همراه) را به دنبال دارد.

- 1- Macroscopic
- 2- Paper foam
- 3- Pulp

- 4- Extrusion
- 5- Poly capro lactone



جدول ۴- خواص پلاستیک‌های نشاسته‌ای

مقایسه	مخلوط‌های نشاسته‌ای					نشاسته		نوع پلاستیک
	Cereplast Hybrid resin	BIOPAR	Bioplast GF106	Mater-Bi ZF03U/A	Mater-Bi Y101U	ترموپلاستیک	نشاسته تخمیر شده جزئی	
نام و نوع محصول						Bioplast	Solanyl	
پلی تیلن	نشاسته- پلی پروپیلن دانسیته پایین	نشاسته- کوپلیمر	نشاسته- کوپلیمر	نشاسته- پلی کاپرلاکتون	نشاسته- استات سلولز	نشاسته	نشاسته	پلیمر
نوع رزین	قالب تزریقی	فیلم	فیلم	فیلم	قالب تزریقی		قالب تزریقی	
سرعت ذوب شدن G/10min	۳-۶	۲-۷	۱-۶	۴/۷	۸			
جرم حجمی G/CM ³	۱/۰۴	۱/۲۶-۱/۲۹	۱/۲-۱/۳	۱/۲۳	۱/۳۴	۱/۳-۱/۵	۱/۲۹	
مقاومت کششی در نقطه تسلیم (MPa)	۲۰-۲۵	۲۰-۳۰	۲۰-۳۵	۳۱	۲۶		۲۴	
ازدیاد طول در (MPa) نقطه تسلیم	۷۰۰-۴۰۰	۳۰۰-۱۲۰۰	۵۰۰-۹۰۰	۹۰۰	۲۷			
زیست تخریب پذیر بودن	خیر	بله	بله	بله	بله	بله	بله	
بر پایه مواد زیستی	ندارد	جزئی	جزئی	جزئی	کاملاً	کاملاً	کاملاً	

۱۰- پتانسیل فنی جایگزینی

پتانسیل پلاستیک‌های نشاسته‌ای برای جایگزینی پلیمرهای دیگر در (جدول ۵) نشان داده شده است. این برای پلی‌اتیلن^۱ با چگالی پایین^۲، پلی‌اتیلن با چگالی بالا^۳ و پلی‌پروپیلن. عملکرد خوب مکانیکی و توانایی مقاومت در برابر چسبیدگی استاتیک^۴، همراه با زیست تخریب پذیری و حلالیت در آب، نشاسته را برای پرکردن بسته‌بندی فضا قادر می‌سازد (مخلوطی از ترموپلاستیک و پلی‌وینیل الکل)^۵ که با پلی‌استایرن (پلاستوفوم)^۶ رقابت دارد. در تولید فوم‌ها موارد قابل توانایی بیشتری برای جایگزینی پلاستوفوم، پلی‌اورتان^۷ و کاغذ وجود دارد.

رطوبت و تماس با آب و نفوذپذیری بالای بخار محدود شود. خواص ممانعت (اکسیژن و دی‌اکسید کربن) متوسط تا خوب است. زیست تخریب پذیری از پلاستیک‌های نشاسته تا حد زیادی به زیست تخریب پذیری کوپلیمرها بستگی دارد و افزایش محتوای کوپلیمر می‌تواند زیست تخریب پذیری را کاهش دهد (به علت واکنش پیچیده‌ای از نشاسته و پلی‌استر در سطح مولکولی)^(۱۴). خواص مکانیکی پلاستیک‌های نشاسته‌ای به‌طور کلی پایین‌تر از پلیمرهای پتروشیمی می‌باشد. پلاستیک‌های نشاسته‌ای فرایندپذیری آسان داشته و در معرض تخریب هستند. دمای تبدیل شیشه‌ای با افزایش محتوا و طول زنجیره کوپلیمرها کاهش می‌یابد (افزایش نرمی).

- 1- Polyolefin
- 2- Polyethylene
- 3- Low density poly ethylene (LPDE)
- 4- High density poly ethylene (HDPE)
- 5- Static
- 6- Poly vinyl alcohol
- 7- Plastofoam
- 8- Polyurthan



جدول ۵- پتانسیل پلاستیک‌های نشاسته‌ای برای جایگزینی پلیمرهای دیگر

PUR	PBT	PC	PET	PS	PP	LPDE	HPDE	PVC	
+	-	-	+	+	+	+	+	+	Novamont
-	+	-	-	+	+	+	+	+	Biotec
++	+	-	+	+	+	++	++	++	BIOP

۱۱-۳- مخلوط‌های نشاسته‌ای

بسته‌بندی بیشترین حوزه کاربرد مخلوط‌های نشاسته‌ای است. نوامونت کاربردهایی از جمله: کیسه‌های کمپوست زیست تخریب‌پذیر دارد. مخلوط‌های نشاسته‌ای بایوپلاست برای استفاده در فیلم‌های بسته‌بندی، کیسه‌های خرید، نخ‌ها، حصیر، کارد و چنگال، نواز (چسپ)، فیلم‌های فنی، سینی‌ها و فیلم پوششی به کار می‌رود. نفوذپذیری نسبتاً بالای بخار آب پلاستیک‌های نشاسته‌ای در کاربردهایی از قبیل بسته‌بندی عاری از مه غذای گرم مفید است.

همچنین در سرویس پذیرایی به عنوان فنجان، سینی‌های غذا، چاقو و چنگال استفاده می‌شود. تقریباً تمام پلاستیک‌های نشاسته در نهایت در مخلوط‌های نشاسته‌ای استفاده می‌شود. بخش کشاورزی نیز حوزه مهمی برای پلاستیک نشاسته است. مخلوط نشاسته برای کود گیاهی کشاورزی و گلدان کاشت گیاه و به‌علاوه برای پَسولاسیون^۴ و مواد شیمیایی کشاورزی (قارچ‌کش) کاربرد دارد. در بخش حمل و نقل در تایر اتومبیل، نانوذرات نشاسته جایگزین ذرات کربن سیاه می‌باشد که از سوخت‌های فسیلی ساخته شده است. مزایای آن‌ها عبارتند از: کاهش اصطکاک، کاهش سر و صدا، مصرف سوخت و کاهش انتشار دی اکسید کربن و کاهش انرژی. بر اساس تنوع منابع در حال حاضر برآورد مقدار کربن سیاهی که به عنوان پرکننده در لاستیک استفاده می‌شود تقریباً یک میلیون تن در اروپا است.

۱۱-۱- کاربردهای امروز و آینده

پلاستیک نشاسته‌ای جزئی تخمیر شده تاکنون برای برنامه‌های کاربردی (از نظر خواص مکانیکی، ظاهر و غیره) کمتر استفاده شده است. رادنبورگ^۱ در حال حاضر منحصراً در قالب‌گیری تزریقی استفاده می‌شود. به غیر از تولید گلدان گل برای بسته‌بندی و حمل و نقل (به عنوان مثال در پوشش لوح‌های فشرده) استفاده می‌شود.

۱۱-۱-۱- نشاسته ترموپلاستیک

نمونه ساخته شده تجاری از این نوع بایوپلاست^۲ معمولاً با پلیمرهای دیگر برای تولید مخلوط نشاسته و گاهی نیز صرفاً به عنوان نشاسته ترموپلاستیک ترکیب می‌شود. زمینه‌های کاربرد عمدتاً تنها فوم سینی در بسته‌بندی مواد غذایی، محصولات محلول در آب و محصولات هضم شونده می‌باشد.

۱۱-۲- نشاسته اصلاح شده شیمیایی

به دلیل پیچیدگی، مراحل پردازش گران بوده و به همین دلیل چندان گسترده نیست. در آزمایشگاه استات^۳ نشاسته برای تولید فوم بسته‌بندی/ مواد محافظتی فضا استفاده می‌شود.

1- Radenburg
2- Bioplast
3- Acetate

4- Postulation



جدول ۶- تولیدکننده‌های اصلی نشاسته پلیمری

شرکت	نوع پلاستیک نشاسته	کوپلیمر	نام تجاری	برپایه مواد زیستی	زیست تخریب پذیری / قابلیت کمپوست شدن	ظرفیت در سال ۲۰۰۷
Novamont(IT)	مخلوط نشاسته	پلی کاپرولاکتون، پلی-وینیل الکل	Mater-Bi	جزئی	بله	۶۰۰۰۰
Rodenburg(NL)	نشاسته تخمیر شده جزئی	ندارد	Solanyl	کاملاً	بله	۴۰۰۰۰
Biotec(DE)	نشاسته ترموپلاستیک مخلوط نشاسته	ندارد نامعلوم	BioPlast TPS BioPlast	کاملاً جزئی	بله بله	۲۰۰۰۰
Limagrain(FR)	مخلوط نشاسته	پلی لاکتیک اسید، پلی بوتیلن سوکسینات	Biolice	جزئی	بله	۱۰۰۰۰
Livan(CN)	مخلوط نشاسته	نامعلوم	Livan	جزئی	بله	۱۰۰۰۰
Cereplast(USA)	مخلوط نشاسته	پلی لاکتیک اسید، پلی بوتیلن سوکسینات	Cereplast compostable	جزئی	بله	۱۰۰۰۰
		پلی پروپیلن	Cereplast Hybrid	جزئی	خیر	نامعلوم

نشاسته‌ای در (جدول ۶) نشان داده شده است. ظرفیت جهانی تولید نشاسته از جنس پلاستیک ۱۷۰ هزار تن در سال ۲۰۰۷ است که ۷۵٪ آن در اروپا واقع شده است.

۱۳- ظروف گیاهی زیست تخریب پذیر در ایران

با بررسی‌های انجام شده تا امروز واحد تولیدکننده گرانول گیاهی شرکت‌های محدودی می‌باشند. این شرکت‌ها با هدف فعالیت به عنوان شرکت مادر تخصصی جهت تولید گرانول‌های گیاهی و متعاقباً راه اندازی واحدهای زنجیره‌ای به منظور تولید ظروف یکبار مصرف تجزیه پذیر گیاهی از سال ۱۳۸۰ به طور رسمی فعالیت خود را آغاز کردند. این شرکت‌ها تا کنون نسبت به راه اندازی واحدهای تولیدی به منظور تولید ظروف یکبار مصرف گیاهی اقدام و در نظر دارند در طی سال‌های آتی (حد اکثر در سه سال آتی) تعداد واحدهای مذکور را به ۱۴ واحد برسانند.

اگر ۲۰٪ وزن توسط پلاستیک‌های نشاسته‌ای (از لحاظ فنی نیز امکان ۵۰٪ به نظر می‌رسد) جایگزین کربن سیاه شود، به صورت بالقوه ۰/۵ میلیون تن پلاستیک تن نشاسته لازم می‌باشد. مخلوط نشاسته نیز در بازارهای پلاستیکی بادوام، به ویژه پلاستیک نشاسته غیر زیست تخریب پذیر یاری می‌رسانند. به عنوان مثال کری پلاست بایو پروپیلن^۱ که از ۵۰٪ نشاسته و ۵۰٪ پلی پروپیلن ساخته شده است، دارای استحکام کششی، مدول و دمای انحراف حرارتی بالاتری از پلی پروپیلن پتروشیمی می‌باشد که جایگزین پلی پروپیلن در صنعت خودرو می‌شود. همچنین می‌توان آن را نیز در بسته‌بندی با دوام مانند جلد CD/DVD، کالاهای مصرفی، لوازم الکترونیکی مصرفی، اسباب بازی، بسته‌بندی لوازم آرایشی و بهداشتی، مبلمان، ساخت و ساز استفاده کرد (۱۵).

۱۲- تولید کننده‌ها

مرور اجمالی بر تولیدکننده‌های نشاسته پلیمری و همچنین ساخت و ظرفیت تولید انواع پلاستیک‌های



۱۴- نتیجه گیری

توسعه پلاستیک زیستی در آغاز راه است. در حال حاضر حدود ۱۰٪ از بازار فعلی پلاستیکی را در بر می‌گیرد. کشورهای اروپایی بیشترین استفاده کننده از پلاستیک زیستی هستند.

زمینه اصلی استفاده آن‌ها فیلم‌های بسته‌بندی برای محصولات غذایی، پرکننده‌های محافظتی غذا، سرویس بسته‌بندی مانند کیف، لیوان، بشقاب و قاشق و چنگال می‌باشد. هزینه‌های توسعه آن‌ها بالا و بنابراین از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیستند. افزایش استفاده از پلاستیک‌های زیستی به عنوان منبع انرژی و مواد خام در دراز مدت لازم است به این دلیل که نفت خام و منابع گاز طبیعی محدود است؛ اما به خاطر داشته باشید که این مواد باید در بازارهای بین‌المللی جایگاه بسیار قوی خود را بیابند و این به دلیل مصرف بالای سالیانه پلاستیک که تقریباً ۲۰۰ میلیون تن است، می‌باشد که این میزان به طور متوسط سالانه ۵٪ رشد می‌کند. با این حال، پلاستیک و پلاستیک زیستی دارای انواع گوناگونی است که هر کدام خصوصیات ویژه خود را دارند، بنابراین تنوع آن‌ها دلیل موفقیتشان در کاربرهای گوناگون است. نشاسته به علت زیست تخریب پذیری کامل، مانع خوب اکسیژن در حالت خشک، فراوانی، هزینه کم و تجدیدپذیری از مواد اولیه پیشرو برای توسعه مواد پایدار محسوب می‌شود. با ترکیب مزایای فردی نشاسته و پلیمرهای مصنوعی، پلیمرهای کاملاً زیست تخریب پذیر بر پایه نشاسته (SCBP) بالقوه برای کاربردهای پزشکی و زیست محیطی به کار می‌رود. بیوپلیمرها تاکنون کاربردهای مهمی در زمینه‌های دارویی داشته‌اند که در آن‌ها هزینه در قبال عملکرد و تأثیر آن از اهمیت کمتری برخوردار است. احتمال اینکه پلیمرهای زیست تخریب پذیر نفتی جایگزین محصولات کنونی در صنایع بسته‌بندی شوند، بسیار کم است زیرا در این مورد هزینه برای مصرف کنندگان از اهمیت بیشتری نسبت به محیط زیست برخوردار است.

پلیمرهای زیستی نگرانی‌های زیست محیطی را تحقق می‌بخشد؛ اما آن‌ها برخی محدودیت‌ها از نظر کارایی مانند مقاومت حرارتی، ممانعت‌کنندگی، خواص مکانیکی و هزینه بالا را دارند بنابراین، این نوع از مواد بسته‌بندی نیاز به تحقیقات بیشتر، ارزش افزوده بالاتر مانند مولکول‌های هوشمند (حوزه فناوری نانو)، توانایی دادن اطلاعات درست در مورد خواص مواد غذایی داخل بسته‌بندی (کیفیت، عمر مفید و ایمنی میکروبی) و ارزش تغذیه‌ای دارند.

لازم است تا تحقیقات بیشتری روی این مواد به منظور ارتقاء خواص ممانعت‌کنندگی، اطمینان از یکپارچگی خواص مواد غذایی، هوشمند، جهت دادن جزئیات و اطلاعات بیشتر به مصرف‌کننده صورت پذیرد.

۱۵- منابع

1. Shen, L., Haufe, J., Patel, M. K., "Product overview and market projection of pmerging biobased plastics". PRO-BIP 200.(June 2009).
2. Olayide, O. Fabunm., Lope ,G. Tabil Jr.,et al "Developing Biodegradable Plastics from starch". ASABE/CSBE north central intersectional conference, (October 2007).
3. Gallant, D.J., B. Bouchet, A. Buleon,. Et al, "Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation". European journal of clinical nutrition 46: S3-S16,(1992).
4. Lu, D.R., Xiao, C.M.,Xu,S.J, "Starch-based completely biodegradable polymer materials". Express polymer, Lett. 3(6): 366-375, (2009).
5. Seigel, E., Barlow,l., "Biodegradable Sustainable solutions for grab-n-go packaging, 33-44,(2007).



6. Siracusa, V., P. Rocculi, et al, "Biodegradable polymers for food packaging: a review". Trends in food science & technology 19(12): 634-643,(2008).
7. Flieger, M., Kantorová, M., et al, "Biodegradable plastics from renewable sources". Folia microbiologica. 48(1), 27-44, (2003).
8. Bastioli, C., "Handbook of biodegradable polymers". Rapra technology limited,(2005).
9. Daniel, J. R., R. L. Whistler, et al, "Starch", Wiley-VCH verlag gmbH & Co. KGaA,(2000).
10. Degli innocenti, F Personal communication with Dr. Francesco degli innocenti, "Ecology of products and environmental communication manager". Novamont S.p.A,(April 2008, 6 August 2008).
11. Weber, R. "Bio-based packaging materials for the food industry: status and perspectives". KVL Department of dairy and food science, frederiksberg .Denmark,(2000).
12. Hood, S. "Extrusion of starch and starchy products". (2003).
13. Guan, J., Hanna, M.A. "Physical, mechanical, and macromolecular properties of starch acetate during extrusion foaming transformation". Industrial and engineering chemistry research 45: 11 3991-4000,(2006).
14. Tokiwa, Y., B. Calabia, et al. "Biodegradability of plastics". International journal of molecular sciences 10(9): 3722-3742,(2009).
15. Kolybaba, M., Tabil, L.G,et al. "Biodegradable polymers: past, present, and future". Proceedings on an ASAE meeting, USA, Elsevier, Vol.12, pp.15-24.(2003).

آدرس نویسنده

گرگان- میدان بسیج- پردیس دانشگاه- دانشکده صنایع غذایی.

