

مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای آنها در صنایع مختلف

نوع مقاله: مروری

فهیمة پورقربانی^۱، سجاد پیرسا^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی، ایران

۲- استاد گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی، ایران

flowerfly601@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳

صفحه ۹۵-۱۲۲

چکیده

با صنعتی شدن جوامع و سبک زندگی جدید و همه گیری بیماری کرونا، استفاده از ظروف یکبار مصرف به امری واجب تبدیل شده است. از طرفی با وجود مضرات ظروف پلاستیکی بر روی سلامتی انسان، آلودگی های زیست محیطی و ایجاد زباله های تخریب ناپذیر، جامعه به سمت استفاده از ظروف بر پایه ی پلیمرهای زیست تخریب پذیر پیش رفته است. این پلیمرها باید با توجه به نوع محصول و شرایط نگهداری آن و عدم واکنش پذیری با مواد غذایی داخل آنها، انتخاب شوند. بسته بندی فعال شرایط جو بسته را به گونه ای تغییر می دهد که موجب افزایش عمر نگهداری مواد غذایی می شود. می توان در تولید این ظروف یکبار مصرف، از روش های بسته بندی فعال استفاده کرد. در این مطالعه تلاش شده است تا پژوهش های انجام شده بر روی انواع پلیمرهای مورد استفاده در تهیه ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر که خاصیت فعال دارند، گردآوری و بررسی شود. پلیمرهای مختلف با توجه به منبع آن، برای تولید مورد استفاده قرار می گیرند ولی این پلیمرهای بسته بندی، پس از استفاده باید بتوانند توسط طبیعت تجزیه شوند یا به صورت خوراک دام و طیور دوباره مصرف شوند. به این صورت بسیاری از آلودگی ها و مشکلات مصرف این ظروف حل خواهد شد.

واژه های کلیدی: بسته بندی، پلیمر، زیست تخریب پذیر، ظروف یکبار مصرف فعال.

مقدمه

بین دور انداختن پوست موز و کیسه پلاستیکی تفاوت زیادی وجود دارد. هر دوی آنها به نوعی، پوششی برای مواد غذایی و حفظ آنها هستند. اما پوست موز تجزیه پذیر است و به طور طبیعی تجزیه می شود، در حالیکه کیسه های پلاستیکی برای صدها سال باقی می ماند. در صنعت کشاورزی برگ ها، دانه ها، پوست ها و سایر محصولات ناشی از فرآوری مواد غذایی سرشار از نشاسته، پکتین و سلولز هستند (Barretto et al. 2024). مواد غذایی زباله های آلی قابل کمپوست هستند. اما بسیاری از بسته بندی های مواد غذایی به این صورت نیستند. ۶۳٪ از زباله های جامد تولید شده در ایالات متحده صرفاً از بسته بندی به وجود می آید و این رقم همچنان در حال افزایش است. با تغییر به سمت بسته بندی های تجزیه پذیر، صنایع غذایی می تواند از این منبع ضایعات استفاده کرده و آنها را به سمت کمپوست هدایت کند. علاوه بر این، می تواند خاک غنی از مواد مغذی برای حمایت از کشاورزی و تولید مواد غذایی بیشتر را فراهم سازد. بنابراین، بسته بندی مواد غذایی زیست تخریب پذیر به جای آسیب رساندن به محیط زیست می تواند به بخشی از یک سیستم تبدیل شود که هم ضایعات را از بین می برد و هم تولید مواد غذایی را افزایش می دهد. ما می توانیم مواد ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی را وارد

پلیمرهای بسته بندی مواد غذایی کنیم تا بسته بندی ما هم خاصیت زیست تخریب پذیری و هم خاصیت بسته بندی های فعال را داشته باشد. این بسته بندی مواد غذایی را به مدت طولانی و با کیفیت بالا حفظ می کند. پس از استفاده نیز به عنوان کمپوست و خوراک دام مجدد وارد چرخه مصرف می شود که در این مقاله به صورت مختصر به بررسی آنها پرداخته شده است.

تشخیص زیست تخریب پذیری با کربن بیوژنیک

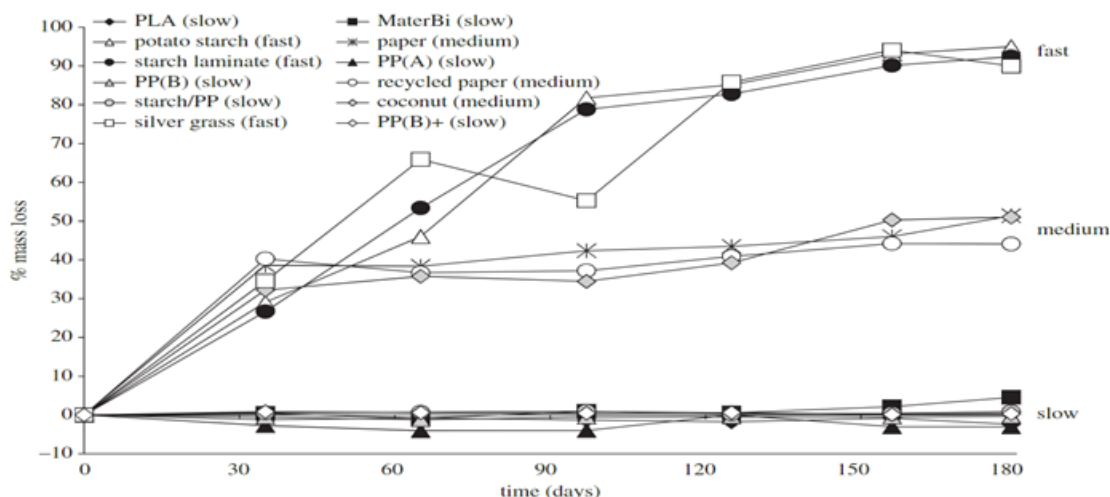
بسیاری از فرمول های تجاری برای کاهش هزینه و افزایش عملکرد منابع تجدیدپذیر زیستی و منابع تجدیدناپذیر پتروشیمی را باهم ترکیب می کنند. بنابراین، پلاستیک های زیست تخریب پذیر اغلب شامل ترکیبات پلیمری هستند که تا حدی حاوی کربن بیوژنیک تجدیدپذیر مشتق شده از زیست توده و تا حدی کربن پتروشیمی هستند. درصد کربن بیوژنیک موجود در یک محصول پلاستیکی یا پلیمری را می توان به آسانی از اثر کربن ۱۴ محاسبه کرد (Narayan. 2006).

دی اکسید کربن موجود در جو با کربن ۱۴ رادیواکتیو (رادیوکربن) در تعادل است. کربن رادیواکتیو در اتمسفر فوقانی از طریق تأثیر پرتوهای کیهانی بر نوترون ۱۴ تشکیل می شود. این کربن به سرعت به کربن دی اکسید رادیواکتیو اکسید می شود. سپس از طریق فتوسنتز و

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

- زنجیره غذایی وارد گیاهان و جانوران می شود. گیاهان و حیواناتی که از کربن در زنجیره های غذایی زیستی استفاده می کنند، در طول عمر خود کربن ۱۴ را مصرف می کنند. آنها در تعادل با غلظت کربن ۱۴ اتمسفر هستند، یعنی تعداد اتم های کربن ۱۴ و اتم های کربن غیررادیواکتیو تقریباً در طول زمان ثابت می مانند. به محض مرگ، یک گیاه یا حیوان عملکرد متابولیکی جذب کربن متوقف می شود. به این معنی که کربن رادیواکتیو دوباره جایگزین نمی شود، فقط پوسیدگی وجود دارد. از آنجایی که نیمه عمر کربن حدود ۵۷۳۰ سال است، مواد اولیه پتروشیمی تشکیل شده در طی میلیون ها سال فاقد اثر کربن ۱۴ خواهند بود. مقدار محتوای زیستی را می توان با احتراق ماده آزمایشی در پلیمر در حضور اکسیژن و تجزیه و تحلیل گاز CO₂ ایجاد شده برای اندازه گیری محتوی کربن ۱۲ و کربن ۱۴ آن تعیین کرد (مطابق استاندارد ASTM D-6866 - روش های تست استاندارد برای تعیین محتوای مبتنی بر زیست نمونه های جامد، مایع و گاز با استفاده از آنالیز رادیوکربن) (شکل ۱). درصد کاهش جرم در طول زمان در واحدهای بسته بندی مختلف به عنوان شاخص تجزیه زیستی نشان داده شده و سرعت تخریب با مقادیر آهسته، متوسط و سریع تقسیم بندی شده است. سه گروه از مواد را می توان به وضوح پس از ۹۰ روز تشخیص داد.
- تجزیه شونده های سریع شامل پلیمرهای مبتنی بر نشاسته و چمن نقره ای *Miscanthus sinensis* با پایه فیبرگیاهی که کاهش جرمی تقریباً ۸۰ درصد را نشان می دهند.
- تجزیه شونده های متوسط کاغذ بر پایه الیاف چوب و الیاف نارگیل با کاهش جرمی تقریباً ۴۰ درصد.
- تجزیه شونده های آهسته شامل (ترکیب پلی لاکتیک اسید (polylactic acid: PLA) و پلی پروپیلن (polypropylene: PP) با مواد افزودنی) و نشاسته/پلی کاپرولاکتون (Polycaprolactone: PCL) با کاهش جرم کمتر از ۵ درصد (Song et al. 2009).
- آزمایش های زیست تخریب پذیر دارای استانداردهای شناخته شده ای است. این آزمایش ها نسبتاً عمومی هستند مانند دوره های حداقلی و حداکثری. اگر ماده ای در عرض ۱۴ روز حداقل ۷۰٪ تجزیه شود، ممکن است به عنوان ذاتاً تجزیه پذیر نامیده شود. یک بیوپلاستیک اگر حداقل ۹۰٪ در عرض ۶ ماه در محیط های آبی یا ۲۴ ماه در خاک تجزیه شود، می تواند به عنوان تجزیه پذیر نامیده شود (Filiciotto and Rothenberg, 2021). به همین دلیل فرصتی برای پلاستیک های تشکیل دهنده میکروپلاستیک وجود دارد که در این تعاریف به عنوان زیست تخریب پذیر تعریف شوند (Westlake et al.).

(2023).



شکل ۱- درصد کاهش جرم در طول زمان در واحدهای بسته بندی مختلف به عنوان شاخص تجزیه زیستی. (Song et al. 2009)

که مواد را تشکیل می دهند، باید قادر به تجزیه یا شکسته شدن به قطعات کوچکی باشد که می تواند به طور ایمن توسط میکروارگانیسم ها هضم شوند. پس می توان ظروف یکبار مصرف را از پلیمرهای مبتنی بر مواد زیستی و فسیلی ساخت. پلاستیک های تجزیه ناپذیر و تجزیه پذیر اگر بتوانند از پلیمرهای فسیلی ساخته شوند، دو حالت دارند. در حالت اول بسته بندی های پلاستیکی معمولی از زنجیره های کربنی قوی مانند پلی اتیلن (polyethylene: PE)، پلی اتیلن ترفتالات (polyethylene terephthalate: PET) و PP تشکیل شده اند و قرن ها طول می کشد تا تجزیه شوند و این مواد زیست تخریب پذیر در نظر گرفته نمی شوند. در حالت دوم بسته بندی های زیست تخریب پذیر مانند کاغذ یا سلولز

زیست تخریب پذیری پلیمرها به الف) طول زنجیره یا وزن مولکولی پلیمر (ب) پیچیدگی فرمول شیمیایی و (ج) بلورینگی پلیمر (Souza et al. 2016; Zhao et al. 2020) بستگی دارد. بالاترین سرعت تخریب برای پلیمرهای بی شکل (amorphous polymer) با وزن مولکولی کم با سطوح پیچیدگی پایین رخ می دهد.

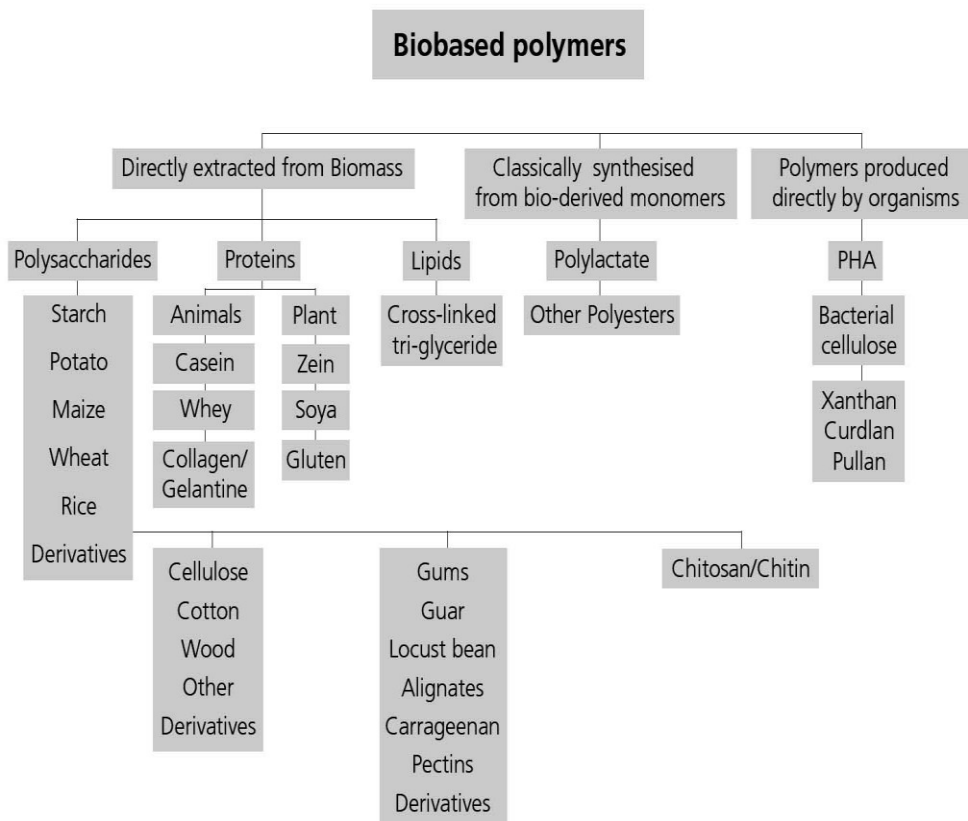
۱- پلیمرهای زیست تخریب پذیر مورد استفاده در

تولید ظروف یکبار مصرف

به طور معمول تصور می شود بسته بندی زیست تخریب پذیر فقط از منبع زیستی یا گیاهی ساخته می شود، اما این درست نیست. زیست تخریب پذیری به ساختار مولکولی و قدرت زنجیره پلیمری یک ماده بستگی دارد. برای تجزیه زیستی، ساختار پلیمری رشته ای از مونومرها

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

ساختار مولکولی ضعیفی دارند، بنابراین به سرعت تجزیه می شوند. پلیمرهای زیستی یا مواد بسته بندی مبتنی بر پلیمرهای زیستی بسته به منشا و روش آنها به سه گروه اصلی (شکل ۲) طبقه بندی می شوند.



شکل ۲- طبقه بندی پلیمرهای زیستی. (Shaikh et al. 2021).

۱-۱- پلیمرهایی که مستقیماً از زیست توده یا مواد

طبیعی استخراج و جدا شده اند.

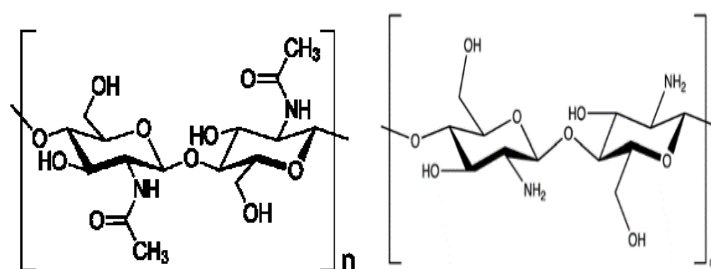
۱-۱-۱- کیتین و کیتوزان

کیتین یک کوپلیمر خطی با پیوند بتا ۱ به ۴ از ان استیل گلوکز آمین است (شکل ۳). کیتین به طور عمده در پوسته حشرات، خرچنگ ها و میگوها وجود دارد. منبع دیگر کیتین استفاده از کشت

قارچ است که محتوای پروتئین آن بین ۱۰٪ تا ۱۵٪ است. با جداسازی مواد معدنی، پروتئینی و رنگی ضایعات صدف نیز کیتین استخراج می شود. حلالیت کیتین بسیار کم است به همین دلیل در بسته بندی باید با مواد دیگر ترکیب شود و به تنهایی نمی تواند برای بسته بندی مورد استفاده قرار گیرد. آنزیم کیتیناز کیتین را تجزیه می کند

می‌شود کیتوزان در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی نسبت به کیتین سودمندتر باشد. کیتوزان دارای ساختار بلوری فشرده و پیوند هیدروژنی قوی است. کیتوزان (شکل ۳) توسط کیتوزاناز یا لیروزیم تجزیه می‌شود. نامحلول بودن آنها در بیشتر حلال‌ها کاربردهای کیتین و کیتوزان را محدود می‌کند (Toiserkani and Sadaghat, 2013).

(Tenget al. 2001). کیتوزان از کیتین از طریق داستیلاسیون شیمیایی یا آنزیمی مشتق می‌شود. درجه داستیلاسیون (DA) محتوای گروه‌های آمینه آزاد را در ساختار تعیین می‌کند و برای تمایز بین کیتین و کیتوزان استفاده می‌شود. کیتوزان حلالیت خوبی در حلال‌های متوسط مانند اسید استیک رقیق شده نشان می‌دهد و چندین گروه آمین آزاد را به عنوان مکان‌های فعال ارائه می‌دهد. این باعث



شکل ۴- ساختار کیتین (سمت راست) و ساختار کیتوزان (سمت چپ) (Toiserkani and Sadaghat, 2013).

al. 1998). به تازگی پژوهشگران کاربرد کیتوزان را در زمینه بسته‌بندی هوشمند فعال بررسی کرده‌اند (Florez et al. 2022). کیتوزان از تیمار کیتین با سدیم هیدروکسید یا روش‌های آنزیمی با استفاده از کیتین داستیلاز به دست می‌آید. کیتوزان یک بیوپلاستیک به طور کامل کمپوست پذیر و غیرسمی با پتانسیل خوب برای جایگزینی پلاستیک‌های معمولی است و به عنوان یک ماده غذایی توسط سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) تایید شده است. این دومین ترکیب آلی فراوان بعد از سلولز

از هر دو برای تولید لایه‌های زیست تخریب پذیر مختلف برای بسته‌بندی استفاده می‌شود و بیشتر به عنوان یک پوشش خوراکی برای افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات تازه استفاده می‌شوند (Zhao and McDaniel, 2005). کیتین و کیتوزان دارای خواص ضد میکروبی مناسبی روی انواع قارچ‌ها، مخمرها و باکتری‌های موجود در غذا هستند. چن و همکاران فعالیت ضد میکروبی ذاتی کیتوزان دی‌اسپله شده را در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی گزارش کردند (Chen et

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

است که می تواند در مقیاس بزرگ تولید شود
(Westlake et al. 2023).

۱-۱-۲- نشاسته، سلولز، پکتین و آلژینات

نشاسته از آمیلوپکتین پلی آلفا ۱ به ۴ دگلوکوپیرانوزید و آلفا ۱ به ۶ دگلوکوپیرانوزید و آمیلوز پلی آلفا ۱ به ۴ دگلوکوپیرانوزید تشکیل شده است. به طور معمول نشاسته از گندم، برنج، سیب زمینی و ذرت استخراج می شود. یکی از منابع دیگر نشاسته مواد آلی زائد در تصفیه خانه زیستی ریزجلبک ها است (Kumari et al. 2022). با تغییر منبع، محتوای آمیلوز و آمیلوپکتین تغییر می کند. افزایش طول و استحکام نشاسته با افزایش محتوای آمیلوز افزایش می یابد (Ratnayake et al. 2001). نشاسته از جمله پلی ساکاریدهای است که با هزینه کم قابل تولید است. نشاسته به علت داشتن ماهیت پلیمری قابلیت فیلم سازی خوبی دارد ولی به دلیل دارا بودن برخی معایب نمی تواند به تنهایی فیلم مطلوبی تولید کند. خاصیت آب دوستی شدید نشاسته و مقاومت پایین فیلم در برابر رطوبت و همچنین خواص مکانیکی ضعیف آن در مقایسه با پلیمرهای سنتزی، مهمترین معایب فیلم نشاسته است که باعث محدود شدن استفاده از این بیوپلیمر در زمینه های مختلف می شود (Hosseini and Farzi, 2021). فیلم های بر پایه نشاسته خصوصیات فیزیکی مناسبی از خود نشان می

دهند به طوری که این فیلم ها بدون بو، بدون مزه، فاقد رنگ و نفوذپذیر به اکسیژن هستند. نشاسته به علت دارا بودن ساختمانی ویژه و نیمه کریستالی، دمای انتقال شیشه ای آن بالاتر از دمای تخریبش بوده و بنابراین قابلیت ذوب و روان شدن را ندارد. در صنعت پلاستیک سازی خواص مکانیکی و فرآیندپذیری پلیمرهای نشاسته را بهبود می بخشند (Gross and Kalra, 2002). در صنعت نشاسته را با نرم کننده ها و پلیمرها دیگر مخلوط می کنند تا نشاسته خام به نشاسته ترموپلاستیک (thermoplastic starch: TPS) تبدیل شود (Angellier et al. 2006). علت نامگذاری TPS قابلیت فرآیندپذیری حرارتی توسط تمامی دستگاه های متداول در فرآیند ترموپلاستیک های مصنوعی همچون اکستروژن، قالب گیری تزریقی و بادی و فشاری آن است. در کاربردهای بسته بندی مواد غذایی از نشاسته ذرت به عنوان TPS استفاده می شود. این ماده به طور عمده در تولید کیسه های ذخیره سازی مواد غذایی و ظروف غذا کاربرد دارد. TPS به رطوبت بسیار حساس است و خواص حرارتی آن با محتوای آب تغییر می کند. نشاسته ترموپلاستیک به عنوان جایگزینی برای پلیمرهای مصنوعی عمل می کند. تجزیه زیستی TPS از طریق هیدرولیز پیوند استال انجام می شود. آمیلازها پیوند آلفا ۱ به ۴ را می شکنند و گلوکوزیدازها پیوند آلفا ۱ به ۶ را

است که بیشتر در پژوهش‌های بسته‌بندی فعال استفاده می‌شود. پکتین را می‌توان از ضایعات مواد غذایی به دست آورد. منبع اصلی پکتین، ضایعات پوست مرکبات است. آب دوستی و عدم پایداری حرارتی به‌عنوان مسائلی که مانع تجاری سازی مواد مبتنی بر پکتین می‌شوند، برجسته شده است (Westlake et al. 2023). بررسی Huang و همکاران در ۲۰۲۱ اصلاح بسته‌بندی مبتنی بر پکتین را برای غلبه بر این کاستی‌ها مورد بحث قرار می‌دهد و پکتین را به‌عنوان ماده‌ای امیدوارکننده برای بسته‌بندی فعال، با بحث در مورد روش‌های احتمالی تشکیل فیلم نشان می‌دهد (Huang et al. 2021). فیلم‌های طبیعی آلزینات ذاتاً ضد میکروبی و آبگریز هستند. خواص مکانیکی و حرارتی فیلم‌های آلزینات با افزودن نانوذرات پرکننده یا با اختلاط با پلیمرهای دیگر مانند PLA بهبود یابد (Kostic et al. 2019). پوسته برنج جزء مواد زائد کشاورزی است. فیلم‌های زیست کامپوزیت مبتنی بر آلزینات حاوی ریزذرات پوسته برنج، خواص مناسبی برای بسته‌بندی مواد غذایی دارند. قطران پوسته برنج از طریق تجزیه حرارتی با استفاده از یک راکتور در مقیاس آزمایشی به دست آمده است. با استفاده از دی کلرو متان برای حل کردن قطران برای سنتز ریزذرات استفاده شده است (Taverna et al. 2022). دانه‌های هیدروژل تشکیل شده از بیوپلیمر

جدا می‌کنند (Netravali and Chabba, 2003). یکی از اهداف تولید فیلم‌های خوراکی، کنترل انتقال رطوبت بین غذا و اتمسفر احاطه کننده آن است. بنابراین نفوذپذیری بخار آب بهتر است تا حد ممکن پایین باشد. خواص مکانیکی فیلم به شدت به محتوای آبی با توجه به طبیعت هیدروفیلک فیلم‌های نشاسته بستگی دارد (Pirsa et al. 2016). سلولز یک پلیمر زیستی فراوان است که از زیست‌توده به دست می‌آید و توسط FDA به‌عنوان یک ماده GRAS (generally recognized as safe) شناخته شده است. استخراج و پالایش سلولز اغلب انرژی‌بر، با استفاده از حجم زیادی از حلال‌ها و سایر مواد شیمیایی است. علاوه بر این، زباله‌های حین تولید سلولز باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی می‌شود (Antonkiewicz et al. 2018). سلولز مقاومت حرارتی خوبی دارد. آب‌دوستی بالای سلولز پایداری و استفاده از آن را به‌عنوان ماده بسته‌بندی محدود می‌کند. سلولز کریستالی است و در حلال‌های آلی نامحلول است. استات سلولز (CA) یکی از مشتقات مهم سلولز با استحکام کششی مانند پلی پروپیلن است. تجزیه زیستی سلولز توسط باکتری‌ها و قارچ‌ها با اکسیداسیون آنزیمی به‌طور خاص توسط پراکسیدازهای ترشح شده توسط قارچ‌ها انجام می‌شود (Klemm et al. 2005). پکتین یک پلیمر ارزان قیمت و غیر سمی

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

آلژینات به عنوان حامل مناسبی از مواد فعال محسوب می شوند. دانه های هیدروژل آلژینات در نگهداری و کنترل رهاسازی داروها و عوامل فعال کشاورزی نقش دارند (Shabkhiz et al. 2021).

۱-۳-۱-۳- کلاژن و ژلاتین

کلاژن یک پروتئین بافت همبند است که از پلی پپتیدهای مختلف شامل هیدروکسی پرولین، پرولین، گلیسین و لیزین تشکیل شده است. گلیسین مسئول انعطاف پذیری کلاژن است (Gelse et al. 2003). کلاژن در فیلم های سلولزی و پلی وینیل الکل (PVA) گنجانده می شود. کلاژن در اثر تجزیه شیمیایی به ژلاتین تبدیل می شود. ژلاتین پلی پپتیدی با وزن مولکولی بالاتر نسبت به کلاژن است. ژلاتین دارای توانایی بسیار عالی در تشکیل فیلم است و از ۱۹ اسید آمینه تشکیل شده است. توزیع وزن مولکولی، ترکیب اسید آمینه و نوع نرم کننده ها استفاده شده به میزان زیادی بر خاصیت مکانیکی فیلم خوراکی تأثیر می گذارد (Gómez-Guillén et al. 2009). پایداری حرارتی کم ژلاتین در طول فرآیند کاربردهای آن را محدود می کند. برای بهبود یا اصلاح خواص مکانیکی و بازدارنده فیلم از افزودنی های مختلفی در بسته بندی مواد غذایی استفاده می شود.

۱-۴-۱-۴- گلو تن گندم و سویا و ژئین

گلو تن گندم قیمت پایینی دارد و محصول فرعی تولید نشاسته است. سرعت تجزیه آن در مقایسه با

سایر پلیمرها بدون هیچگونه محصول مضرى بالاتر است. گلو تن برای تشکیل فیلم عالی است ولی برای جلوگیری از شکنندگی آن باید از نرم کننده استفاده کرد. پروتئین کنسانتره سویا کربوهیدرات های محلول در آب ندارد. به همین جهت پروتئین کنسانتره را با دادن مقداری بافت به پروتئین گیاهی بافت دار (textured soy protein) تبدیل می کنند. فیلم های TSP به دلیل ماهیت آبدوست پروتئین خواص مکانیکی خوبی ندارند. فیلم های پروتئین سویا جدا شده به رطوبت حساس هستند. افزودن ۲۵٪ اسید استئاریک باعث بهبود خواص حرارتی و کششی و کاهش حساسیت به رطوبت می شود (Lodha and Netravali, 2005). فیلم پروتئین سویا ترکیب شده با گلیسرول، صمغ ژلان یا کاپا کاراگینان برای تولید ظروف بسته بندی زیست تخریب پذیر مبتنی بر سویا استفاده شده است (Mohareb and Mittal, 2007).

ژئین از ذرت استخراج می شود و تقریباً ۸۰٪ پروتئین گیاهی ذرت را تشکیل می دهد (Corradini et al. 2014). ژئین یک بیوپلیمر فراوان است که برای تشکیل فیلم پلاستیکی قابل استفاده است. به عنوان مثال ژئین با عامل فعال تیمول ترکیب شده است تا یک فیلم فعال خوراکی تولید کند. الیاف الکترورسی شده ژئین نیز برای کپسوله سازی در فناوری بسته بندی فعال استفاده

کریستال اولیه و محتوای مونومر سرعت تخریب پلیمر کامل را تغییر می دهد که در آن کمترین تخریب توسط بالاترین محتوای مونومر به دلیل ماهیت کریستالی بالا نشان داده می شود (Kale et al. 2006).

۲-۲-۱- پلی کاپرولاکتون (PCL)

پلی کاپرولاکتون (PCL) یک بیوپلیمر ترموپلاستیک است که از نفت خام سنتز می شود. PCL اغلب با نشاسته مخلوط می شود تا هزینه ها و استفاده از مواد اولیه را کاهش دهد. PCL یک پلیمر نیمه کریستالی، کاملاً زیست تخریب پذیر، با فرآیند تولید آسان و ارزان قیمت است. این ماده در بسیاری از حلال های آلی و معدنی محلول است و دمای انتقال شیشه ای ۶۰- درجه سلسیوس دارد. یکی از که کاربردهای آن افزایش سختی پلی اورتان (polyurethane) افزایش می دهد. افزودن PCL به پلیمر کیتوزان آب دوست، آب گریزی کلی مخلوط را افزایش می دهد. سرعت انتقال بخار آب (WVTR) کمتر در ترکیب نسبت به فیلم های خالص کیتوزان مشاهده شد. با توجه به این خاصیت، مواد غذایی نگهداری شده در چنین فیلم هایی ماندگاری طولانی تری دارند (Sarasam et al. 2006).

۳-۲-۱- پلی بوتیلن سوکسینات (PBS)

سوکسینات های پلی بوتیلن متعلق به خانواده پلی آلکنیدی کربوکسیلات هستند و از پلی

شده است (Mastromatteo et al. 2009; Ghasemi et al. 2022).

۲-۱- پلیمرهای تولید شده توسط سنتز شیمیایی

کلاسیک از بیومنومرها

۲-۲-۱- پلی لاکتیک اسید (PLA)

پلی لاکتیک اسید یک پلیمر ترموپلاستیک آلیفاتیک خطی است که می تواند ۱۰۰٪ از منابع تجدیدپذیر مانند ذرت تولید شود. پلی لاکتیک اسید از پلیمریزاسیون حلقه بازکننده مونومر لاکتید به دست می آید. مونومرهای اسید لاکتیک به طور معمول از تخمیر مواد تجدیدپذیر مانند ذرت و شکر به دست می آیند. پلی لاکتیک اسید قابلیت بازیافت، کمپوست پذیری، زمان تجزیه کوتاه، وزن مولکولی، شفافیت، آب گریزی و استحکام کششی بالا (Singla and Mehta, 2012)، انعطاف پذیری و پایداری کم و دمای تغییر شکل حرارتی پایین دارد (Zhao et al. 2020; Omerović et al. 2021). فیلم های تک لایه یا فیلم های بسته بندی چند لایه را تشکیل می دهد (de Oliveira et al. 2021). نکته مهم این است که فناوری تولید پلاستیک های معمولی برای PLA قابل استفاده است (Zhao et al. 2020). تجزیه زیستی PLA اغلب آهسته است ولی با این حال، تجزیه آنزیمی می تواند سرعت تجزیه زیستی را بهبود بخشد (Qi et al. 2017). با تغییر نسبت مونومر می توان خواص PLA را از کریستالی به آمورف تغییر داد. خطی بودن

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

شروع به تجزیه شدن می کند. در یک محیط طبیعی، تخریب ۵ تا ۶ ماه طول می کشد و با گذشت ۱۲ ماه به طور کامل تجزیه می شود (Siracusa et al. 2008).

۱-۲-۵- پلی گلیکولید (PGA)

یکی از ساده ترین پلی استرهای آلیفاتیک با دمای انتقال شیشه ای ۳۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس و نقطه ذوب تقریباً ۲۲۰ تا ۲۵۰ درجه سلسیوس است. به دلیل کریستالی بالای ۴۰ تا ۵۵ درصد در آب نامحلول است و در اکثر حلال های فلئوئوردار حل می شود که می توانند برای تشکیل فیلم های پلیمری با وزن مولکولی بالا استفاده شود. پلیمر پلی گلیکولید در عرض ۵ تا ۶ ماه به طور کامل توسط میکروارگانیسم های خاک تجزیه می شود (Tiberiu et al. 2011).

۱-۲-۶- پلی بوتیلن آدیپات کوترفتالات (PBAT)

PBAT یک کوپلی استر معطر خطی است که از تراکم ۴ و ۱- بوتانیدیول با مخلوطی از اسید ترفتالیک و اسید آدیپیک به دست می آید. در غلظت اسید ترفتالیک بیش از ۳۵٪ مول، خواص بسیار خوبی از خود نشان می دهد. با افزایش محتوای بالای ۵۵٪ میزان تجزیه زیستی PBAT کاهش می یابد. PBAT مانند PCL انعطاف پذیر و نرم است، بنابراین در تولید فیلم ها، رشته ها، بطری ها و محصولات قالب گیری شده استفاده می شود. PBAT را می توان با سلولز، نشاسته و

گلیکول هایی مانند ۱ و ۴- بوتان دیول و اتیلن گلیکول با اسیدهای دی کربوکسیلیک آلیفاتیک مانند اسید آدیپیک و سوکسینیک به دست می آیند. این یک پلیمر کریستالی سفید رنگ با فرآیند پذیری خوب و نقطه ذوب ۹۰-۱۲۰ درجه سلسیوس با ۳۳۰ درصد افزایش طول در نقطه شکست است. PBS دارای خواص مکانیکی تقریباً مانند پلی اتیلن (PE) و پلی پروپیلن (PP) است. آنها اولین بار در سال ۱۹۹۰ با نام تجاری Bionolle (Showa Denko) در ژاپن اختراع شدند. از آن زمان به بعد، بسیاری از کوپلیمرهای مختلف مانند پلی بوتیلن سوکسینات-کو-آدیپات (PBSA) که از ترکیب اسید آدیپیک در یک غلظت خاص به دست می آید، تهیه شده اند. ماهیت دیول ها و دی اسیدهای مورد استفاده بر خواص و سرعت تخریب این پلیمرها تأثیر می گذارد (Wang et al. 2007).

۱-۲-۴- پلی اکتید آلیفاتیک کوپلیمر (CPLA)

CPLA از مخلوط لاکتید و اسیددی کربوکسیلیک تشکیل می شود. خواصی مانند PP و پلی استایرن (polystyrene: PS) دارد که به درصد پلی استر موجود در مخلوط بستگی دارد. تا دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس پایدار است. مقدار CO₂ تولید شده در طول احتراق در مقایسه با PE و PP بسیار کمتر است. هیچ ماده سمی در طی سوزاندن CPLA تولید نمی شود. پس از ۲ هفته مخلوط شدن با غذا

سایر پلیمرهای زیست تخریب پذیر مخلوط کرد. برای بهبود خواص آبگریزی، مکانیکی و حرارتی PBAT با سلولز مخلوط می شود. افزودن PBAT در پلی هیدروکسی بوتیرات والرات (PHBV) درجه بلورینگی را کاهش می دهد (Javadi et al. 2010).

۱-۲-۲- پلی وینیل الکل (PVA)

PVA یک پلیمر نیمه کریستالی است که به طور عمده شامل فاز آمورف با مقدار کمی بلورینگی است و بسته به درجه هیدرولیز پلی وینیل استات از واحدهای ۱، ۳ دیول یا ۱، ۲ دیولی تشکیل شده است. خواص PVA به طور کلی به وزن مولکولی و درجه هیدرولیز آن بستگی دارد و وزن مولکولی PVA به طور معمول بین ۲۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰۰ دالتون متغیر است و بر اساس طول وینیل استات مورد استفاده برای تولید PVA درجه هیدرولیز به طور معمول در محدوده ۸۰-۹۹٪ است (Abdullah et al. 2017). PVA دارویی دارای سمیت کم، دوستدار محیط زیست، پایداری فیزیکوشیمیایی، ایمنی بالا است و به طور گسترده در داروسازی استفاده می شود (Erfani et al. 2023).

۱-۲-۸- کربنات پلی پروپیلن (PPC)

PPC رایج ترین پلی کربنات آلیفاتیک است که از دی اکسید کربن و کربنات پروپیلن توسط کوپلیمریزاسیون تولید می شود. فیلم های PPC در

مقایسه با ترکیب LDPE، PBAT و مخلوط PE/نشاسته، دارای مزایایی از جمله خواص کششی و عایق بهتر نسبت به نفوذ بخار آب و اکسیژن هستند. مقاومت به پارگی فیلم های PPC کمتر از PBAT است. با اینحال، PPC آمورف دارای چندین محدودیت از جمله پایداری حرارتی ضعیف، انقباض زیاد، خواص مکانیکی ضعیف، دمای انتقال شیشه ای پایین در حدود ۲۵-۴۵ درجه سلسیوس است. بسته به نوع کاتالیزور در تهیه پلیمر PPC، تغییر عملکرد خواهیم داشت (Muthuraj et al. 2018).

۱-۳-۳- پلیمرهای به دست آمده از موجودات طبیعی

یا اصلاح شده ژنتیکی

۱-۳-۱- پلی هیدروکسیل آلکانوات ها (PHAs)

جزء جدیدترین و پرکاربردترین پلیمرهای زیست تخریب پذیر برای کاربردهای بسته بندی مواد غذایی هستند. PHA پلی استرهای طبیعی هستند که توسط تخمیر باکتریایی لجن تصفیه فاضلاب شهری، گلوکز و مواد اولیه روغن نباتی تولید می شوند (Zhao et al. 2020; Morgan et al. 2014). باکتری ها PHA را به عنوان یک ماده ذخیره درون سلولی انباشته می کنند. در غلظت ۳۰٪ تا ۸۰٪ وزن خشک تحت نیتروژن محدود و کربن فراوان (Mercan et al. 2002) خواص PHA مشابه پلی وینیل کلرید است. PHA به دلیل نامحلول بودن در آب برای بسیاری از کاربردهای

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

مدت ۵ تا ۶ هفته در یک محیط فعال میکروبیولوژیکی تجزیه می شود و در شرایط هوازی به دی اکسیدکربن و آب ختم می شود. با تولید متان در شرایط بی هوازی، تخریب سریعتر است (Kim et al. 2000).

۲- ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال

بسته بندی فعال با موفقیت برای افزایش ماندگاری غذاهای فرآوری شده و پاسخگویی به نیازهای مصرف کنندگان از نظر ارائه محصولات با کیفیت بالا که تازه و ایمن هستند، استفاده می شود (Labuza et al. 1989). بسته بندی فعال یک مفهوم نوآورانه است و به عنوان یک حالت بسته بندی تعریف می شود که در آن محصول و محیط با هم تعامل دارند تا عمر مفید را طولانی تر کنند یا ایمنی یا خواص حسی را افزایش دهند و در عین حال کیفیت محصول را حفظ کنند. این امر به ویژه در زمینه غذاهای تازه و با ماندگاری طولانی اهمیت دارد (Prasad et al. 2014).

۲-۱- تعریف بسته بندی فعال بر اساس (EC)

همانطوری که در مقررات اروپایی (EC) شماره ۲۰۰۹/۴۵۰ تعریف شده است، سیستم های بسته بندی فعال به گونه ای طراحی شده اند که موادی را به داخل بسته بندی یا از محیط اطراف بسته آزاد یا جذب کند. بسته بندی فعال به منظور افزایش ماندگاری یا بهبود وضعیت مواد غذایی بسته بندی شده استفاده می شود. می توان در تولید

بسته بندی مواد غذایی مناسب است. دمای ذوب PHA بسته به مونومرهای مورد استفاده برای سنتز بین ۴۰ تا ۱۸۰ درجه سلسیوس است. بسته به منبع مواد مغذی PHA ممکن است از پلیمرهای شکننده سفت و سخت تا پلیمر لاستیک مانند ساخته شوند (Zivkovic et al. 2009). ترکیب PHA با ژئین یک فیلم با ویژگی ممانعت کنندگی خوب، افزایش در ضریب نفوذ بخار آب و ضریب نفوذ اکسیژن ایجاد می کند (Fabra et al. 2014). PHA به طور کامل زیست تخریب پذیر است. تجزیه زیستی از طریق فعالیت استراز و شکستن پیوند مونومر از انتهای زنجیره اتفاق می افتد. رایج ترین PHA پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB) است که از پلیمریزاسیون ۳-هیدروکسی بوتیرات تشکیل می شود. PHB دارای بلورینگی بیش از ۵۰٪ است. برای افزایش شرایط فرآیند پذیری، راهکارهای مختلفی مانند کوپلیمریزاسیون با سایر آلکانوات ها، افزودن پلیمر زیست تخریب پذیر یا اختلاط با پلیمر دوم انجام می شود. مسیرهای مختلف پلیمرهای ساختاری متفاوتی تولید می کنند. PHB در شرایط محیطی مختلف توسط باکتری ها، قارچ ها و جلبک های مختلف تخریب می شود. تجزیه هیدرولیتیک ۳-هیدروکسی بوتیریک اسید را با سرعت کم تشکیل می دهد. کوپلیمر پلی هیدروکسی بوتیرات والرات (PHBV) با افزودن اسید پروپیونیک به مواد اولیه سنتز می شود. در

ظروف یکبار مصرف از قابلیت بسته‌بندی‌های فعال استفاده کرد. برای غذای نیمه جامد، بسته‌بندی فعال را می‌توان به دو نوع اصلی شامل ۱- بسته‌بندی مهارکننده فعال (جاذب رطوبت، جاذب دی‌اکسیدکربن و بسته‌بندی آنتی‌اکسیدانی) ۲- بسته‌بندی آزادکننده فعال (بسته‌بندی تولیدکننده دی‌اکسیدکربن و بسته‌بندی ضد میکروبی) طبقه‌بندی کرد.

۲-۲-۲ انواع روش‌های بسته‌بندی فعال

۲-۲-۲-۱ جاذب‌ها

این جاذب‌ها بایستی به صورت جداگانه و بدون تماس مستقیم با ماده خوراکی باشند.

۲-۲-۲-۱-۱ جاذب اکسیژن: به عنوان یک روش تکمیلی در بسته‌بندی‌های تحت خلاء یا اتمسفر اصلاح شده کاربرد دارد و اکسیژنی که از منافذ بسته‌بندی وارد شده یا توسط ماده غذایی داخل بسته‌بندی تولید شده را جذب می‌کنند. این نوع جاذب‌ها در صورت عدم واکنش با پلیمر ظروف بسته‌بندی و ماده غذایی داخل بسته می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند و کیفیت و ماندگاری ماده غذایی را در طی نگهداری افزایش دهند.

۲-۲-۲-۱-۲ جاذب دی‌اکسید کربن: در بسته‌بندی سبزیجات تنفس سلولی منجر به تولید دی‌اکسیدکربن می‌شود که این خود سبب کاهش pH و تغییر رنگ و طعم می‌شود. همچنین برای

قهوه‌های تازه برشته شده که حجم قابل توجهی دی‌اکسیدکربن تولید می‌کنند مناسب است.

۲-۲-۱-۳ جاذب رطوبت: از طریق کاهش فعالیت آبی، کاهش فعالیت میکروبی، حذف آب ناشی از یخ‌زدایی محصولات گوشتی، حذف آب ناشی از جمع شدن بخار آب طی تنفس محصولات باغی و گیاهی به حفظ کیفیت محصول داخل بسته کمک می‌کند.

۲-۲-۱-۴ جاذب اتیلن: اتیلن یک هورمون گیاهی است که میزان تنفس را تسریع می‌کند و منجر به نرم شدن و رسیدن بیش از حد محصول می‌شود. در بسته‌بندی محصولات گیاهی از این جاذب‌ها استفاده می‌شود.

۲-۲-۱-۵ جاذب طعم: می‌تواند بو و طعم نامطبوع مانند آمین‌های حاصل از تجزیه پروتئین‌های عضله ماهی و آلدهیدهای حاصل از اتواکسیداسیون چربی‌ها را حذف کند. بر این اساس آمین‌ها چون قلیایی هستند با نمک‌های آهن و یک اسید آلی مانند اسید آسکوربیک حذف می‌شوند و آلدهیدها می‌توانند بوسیله جذب بر اساس غربال مولکولی جدا شوند. جاذب‌های لیمونین مانند استات سلولز در داخل بسته‌بندی آب مرکبات می‌تواند در جذب طعم تلخ این نوع آبمیوه‌ها موثر باشد. ایجاد بوی ناشی از استالدهید هنگام قالب‌گیری بطری‌های PET از دیگر مواردی

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

(Prasad et al. 2014). انتشار تدریجی می تواند از دست دادن طعم یا بوی محصولات با مدت زمان نگهداری زیاد، را جبران کند (Almenar et al. 2009).

۲-۲-۳- ضد میکروبی ها

آلودگی میکروبی ناشی از باکتری های بیماری زا یا فساد مواد غذایی در طول فرآیند نامناسب یا زمانی که یکپارچگی فضا به دلیل پارگی، سوراخ، فرورفتگی بسته بندی مواد غذایی ایجاد می شود، رخ می دهد (Cutter et al. 2002). بسته بندی ضد میکروبی شامل افزودن مواد ضد میکروبی در یک کیسه متصل به بسته که از آن کیسه ماده ضد میکروبی در طول نگهداری آزاد می شود یا پراکندگی عوامل ضد میکروبی در پلیمرهای بسته بندی و یا پوشش دادن عوامل ضد میکروبی بر روی سطح مواد بسته بندی است (Véronique et al. 2008). مکانیسم اثر آنها انتشار آهسته و مهاجرت در فضای بسته بندی شده یا به محصول غذایی در طول ذخیره سازی و توزیع است. بنابراین، آلودگی را میتوان محدود کرد و رشد میکروبی را مهار کرد. علاوه بر ایفای نقش کلیدی در نگهداری، ترکیب این مواد در لایه ها می تواند تأثیر مثبتی بر روی سطح غذا که بیشتر در معرض رشد میکروبی است، داشته باشد. بدون اختلاط مستقیم ترکیبات فعال با مواد غذایی، این نوع بسته بندی فعال می تواند باعث کاهش رشد و

است که می تواند با جاذب های طعم و بو بر طرف شود.

۲-۲-۲- انتشاردهنده ها

۲-۲-۲-۱- انتشاردهنده های دی اکسید کربن:

دی اکسید کربن فعالیت میکروبی را سرکوب می کند. سطوح نسبتاً بالای دی اکسید کربن بین ۶۰ تا ۸۰٪ رشد میکروبی روی سطوح را مهار می کند و به نوبه خود، ماندگاری مواد غذایی بسته بندی شده را طولانی تر می کند. بنابراین، یک رویکرد تکمیلی برای مهار اکسیژن، آغشته کردن ساختار بسته بندی به یک سیستم تولید دی اکسید کربن یا اضافه کردن آن به شکل یک کیسه است (Ha et al. 2001). از آنجایی که در اکثر فیلم های پلاستیکی نفوذپذیری به دی اکسید کربن تا ۵ برابر بیشتر از اکسیژن است، باید به طور مداوم تولید شود تا غلظت مورد نظر در بسته حفظ شود.

۲-۲-۲-۲- انتشاردهنده های طعم: افزودن

اسانس ها و بوها می تواند مطلوبیت غذا را برای مصرف کننده افزایش دهد، عطر و طعم محصول را بهبود بخشد. این طعم ها و عطرها به آرامی و به طور یکنواخت در محصول بسته بندی شده منتشر می شوند یا می توان آن ها را به گونه ای طراحی کرد که در هنگام بازکردن بسته بندی یا آماده سازی غذا، عطر و طعم محصول منتشر شود

گسترش فساد و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا

شود.

۲-۳-۲- آنتی‌اکسیدان‌ها

خاصیت آنتی‌اکسیدانی از مهمترین ویژگی‌های فیلم‌های فعال است که در بسته‌بندی محصولات غذایی حساس به اکسیداسیون مورد توجه است. فیلم‌های فعال آنتی‌اکسیدانی به راحتی با جذب عوامل اکسنده می‌توانند منجر به افزایش ماندگاری محصولات غذایی مانند روغن‌ها شوند. عوامل آنتی‌اکسیدان مانند اسانس‌ها و نانو ذرات اکسیدهای فلزی با تماس با عوامل اکسنده باعث خاموشی آن‌ها شده و ماده غذایی را از فرآیند اکسیداسیون حفظ می‌کنند (Abdolsattari et al. 2022).

اکسیداسیون چربی‌ها یکی از مهمترین مکانیسم‌هایی است که منجر به فساد مواد غذایی می‌شود. اکسیداسیون لیپیدها در غذا منجر به کاهش ماندگاری به دلیل تغییر در طعم و بو، بدتر شدن بافت و کاهش کیفیت تغذیه می‌شود. با استفاده از جاذب‌های اکسیژن و عوامل آنتی‌اکسیدانی در بسته‌بندی می‌توان از اکسید شدن مواد غذایی جلوگیری کرد. این بسته‌بندی‌ها برای جلوگیری یا کند کردن واکنش‌های اکسیداسیونی که بر کیفیت غذا تأثیر می‌گذارد، کاربرد دارد (Abreu et al. 2011).

۲-۵- بسته‌بندی هوشمند

حسگر ابزاری است که به یک محرک فیزیکی خاص واکنش نشان می‌دهد و یک سیگنال الکتریکی قابل اندازه‌گیری تولید می‌کند (Pirsa and Nejad, 2017; Pirsa and Purghorbani, 2024; Sheikh-Mohseni and Pirsa, 2016; Alizadeh and Pirsa, 2015; Alizadeh et al. 2015; pirsa et al. 2015). فضای بسته‌های مواد غذایی در طول زمان دچار تغییراتی می‌شود که با استفاده از حسگرهای هوشمند این تغییرات قابل شناسایی و اندازه‌گیری است. اساس بسته‌بندی هوشمند دستگاه‌هایی است که قادر به شناسایی و گزارش تغییرات بسته‌بندی در حین انتقال و نگهداری هستند. شاخص تغییرات باید به راحتی فعال شود و تغییری را نشان دهد که به راحتی قابل اندازه‌گیری و برگشت‌ناپذیر باشد. تغییرات وابسته به زمان و دما باید تکرار شوند و با استاندارد مطابقت داشته باشند (Yam et al. 2005).

۲-۳- پلیمرهای اصلی مورد استفاده در بسته‌بندی

فعال (AP)

بسته‌بندی مواد غذایی به عنوان سیستمی تعریف می‌شود که نه تنها می‌تواند به عنوان یک مانع عمل کند، بلکه با برقراری ارتباط مطلوب با مواد غذایی از مواد غذایی محافظت می‌کند (Yorghanlu et al. 2022).

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

هیدروکسی بوتیرات (PHB) و پلی لاکتیک کوگلیکولیک اسید (PLGA) بیوپلیمرهای پلی لاکتیک اسید (PLA) و پلی گلیکولید (PGA) نیز به طور گسترده برای کاربردهای AP گزارش شده است. بیوپلیمرهای سازنده فیلم سازگار با مواد غذایی شامل آلژینات، سلولز، کیتوزان، پکتین، نشاسته، آگار، دکستران، کازئین، پروتئین آب پنیر و کاراگینان هستند. پلی ساکاریدهای آلژینات و آگار از جلبک دریایی استخراج می شوند. این پلیمرهای زیستی خواص مکانیکی خوبی از جمله استحکام کششی بالا و افزایش مقاومت در برابر شکست را دارند (Carina et al. 2021).

۳- طبقه بندی انواع ظروف یکبار مصرف بر اساس جنس

۳-۱- ظروف یکبار مصرف پلاستیکی

پرمصرف ترین ظروف یکبار مصرف به شمار می آید. این ظروف نرم اما مقاوم در برابر شکستن هستند. همچنین در برخورد با مواد غذایی داغ ترکیبی آزاد نمی کنند. این ظروف پلیمری براساس نوع پلیمر و فراوانی به موارد زیر تقسیم می شوند:

- ظروف پلی استایرن (PS)
- ظروف پلی استایرنی خود به گروه های HIPS (high impact polystyrene) و GPPS (general purpose polystyrene) تقسیم می شوند.
- ظروف پلی پروپیلن (PP)

با توجه به اهمیت زیست تخریب پذیری پلیمرهای مورد استفاده در بسته بندی و مزایای گسترده بسته بندی فعال، بهترین روش استفاده از پلیمرهای زیست تخریب پذیر در مقایسه با پلیمرهای زیست تخریب ناپذیر در بسته بندی های فعال است. پلیمرهای اصلی مورد استفاده در توسعه بسته بندی فعال (AP) بر اساس منبع آنها بر پایه نفت یا پایه زیستی و ظرفیت تجزیه زیستی آنها طبقه بندی می شود. پلیمرهای زیست تخریب پذیر مبتنی بر زیست توده (بیومس) امیدوارکننده ترین مواد برای تحقق اهداف زیست محیطی نسبت به پلاستیک های معمولی هستند و بیوپلیمرهای خاص، با پتانسیل بالا در این دسته برای توسعه بیشتر مورد بحث قرار می گیرند.

۳-۲-۱- پلیمرهای زیست تخریب پذیر مبتنی بر نفت

پلی کاپرولاکتون (PCL) و پلی بوتیرات آدیپات ترفتالات (PBAT)

۳-۲-۲- پلیمرهای زیست تخریب ناپذیر مبتنی بر زیست

پلی اتیلن زیستی (bio-PE)، پلی پروپیلن زیستی (bio-PP)، پلی آمید زیستی (bio-PA)، بیوپلی تری متیلن ترفتالات (bio-PTT) و بیوپلی اتیلن ترفتالات (bio-PET)

۳-۳-۲- پلیمرهای زیست تخریب پذیر مبتنی بر زیست

- ظروف پت یا پلی اتیلن ترفتالات (PET) که از این ظروف بیشتر در ساخت بطری‌های آب آشامیدنی استفاده می‌شود.

- ظروف پلی وینیل کلراید (PVC) برای استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی و دارویی

۳-۲- ظرف یکبار مصرف آلومینیومی

این ظروف در برابر گرما و سرما مقاوم بوده و غذا را مدت بیشتری گرم نگه می‌دارند. همچنین این ظروف قابلیت استفاده در ماکروویو را دارند. قیمت این ظروف در مقایسه با انواع ظروف یکبار مصرف پلاستیکی گران‌تر است. با این وجود به دلیل کاربردی بودن آن، بسیار محبوب واقع شده‌اند و در هتل‌ها، رستوران‌ها و مصارف خانگی به چشم می‌خورند.

۳-۳- ظروف یکبار مصرف گیاهی

به محیط زیست آسیبی وارد نمی‌کنند و بعد از مدتی تجزیه می‌شوند و به طبیعت بر می‌گردند. مواد تشکیل‌دهنده این ظروف از طبیعت است و شامل نشاسته به‌دست آمده از ذرت، سیب زمینی و یا گندم است. نسبت به سایر ظروف گران‌تر است.

۳-۴- ظروف یکبار مصرف کاغذی

ظروف یکبار مصرف کاغذی نه تنها از نظر بصری بسیار شیک و زیبا هستند، بلکه در نگهداری دما نیز توانایی بالایی دارند. در عین حال تجزیه پذیر هستند. در تولید ظروف یکبار

مصرف کاغذی تقریباً ۸۰٪ انرژی کمتری نسبت به تولید ظروف یکبار مصرف پلاستیکی استفاده می‌شود. این ظروف با حدود قیمت ۲ تا ۳ برابر ظروف پلاستیکی می‌توانند جایگزین مناسبی برای آن‌ها باشد.

۳-۵- ظروف یکبار مصرف فومی

برای تولید ظروف پلی استایرنی فوم‌دار از گاز هگزان استفاده می‌شود. این گاز در دمای حدودی ۱۶۰ درجه آزاد می‌شود، پس امکان ترکیب شدن با ماده غذایی در دماهای بسیار بالا وجود دارد. این گاز در بدن انسان موجب عوارضی مانند سردرد خواهد شد. اما به‌طور کلی ظروف یکبار مصرف فومی برای نگهداری و پخش مواد غذایی سرد، گرم و حتی مرطوب بسیار محبوب هستند. این ظروف ظاهری شکیل و سفید رنگ دارند و معمولاً نسبت به ظروف یکبار مصرف کاغذی ارجح شناخته می‌شوند.

۴- معایب و مزایای استفاده از ظروف یکبار مصرف

زیست تخریب پذیر

پلیمرهای نفتی (پلاستیک) دارای ویژگی‌های خوبی از جمله قیمت پایین، چاپ خوب، انعطاف پذیری و مقاومت شیمیایی بالا هستند که باعث افزایش کاربرد این پلیمرها می‌شود (Pirsa et al. 2020). مهمترین مزیت ظروف زیست تخریب پذیر عاری بودن آنها از مواد سمی و مفید بودن برای

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

محیط زیست است. سایر مزایا از جمله قابلیت استفاده مجدد، بازیافت، صرفه جویی در هزینه (آب، محصولات شوینده، تولید و بسته بندی) و زمان است. بعد از مصرف ظروف از زباله های بسته بندی به عنوان کمپوست استفاده می شود. کمپوست مواد مغذی را به خاک اضافه می کند و به تقویت تولید مواد غذایی و کشاورزی کمک می کند. ظروف قابل کمپوست تایید شده مانند TIPA، برای تجزیه زیستی تحت شرایط تنظیم شده در یک دوره زمانی استاندارد طراحی شده است. بسته بندی هایی که به عنوان زیست تخریب پذیر تأیید شده اند، به طور معمول ظرف یک سال در سطل های کمپوست خانگی و در عرض ۳ تا ۶ ماه در محیط های کمپوست صنعتی تجزیه می شوند. مصرف این ظروف راه حلی ایمن و سالم برای انواع محصولات غذایی ارائه می دهد. همچنین مصرف این ظروف در رستوران ها یک روش بهداشتی و ایمن برای اطمینان از عدم تماس ظروف با ویروس است؛ زیرا پس از اتمام غذا توسط مشتری دور ریخته می شود. جهت طراحی متفاوت و خلاقانه می توان نوع مواد، شکل بشقاب ها و لیوان ها و رنگ ظروف را با سلیقه، نوع غذا و دکوراسیون خود مطابقت داد. با اینحال، مزایای عملکرد زیست محیطی به خودی خود کافی نیست تا پلیمرهای بیوپلاستیک به طور گسترده تری به عنوان جایگزینی برای پلاستیک های

معمولی مورد استفاده قرار گیرند. آنها باید مقرون به صرفه باشند و مزایای منحصر به فردی را در استفاده ارائه کنند (Miller et al. 2005). پلاستیک های زیست تخریب پذیر با قابلیت های قابل مقایسه با پلاستیک های سنتی مبتنی بر پتروشیمی برای کاربردهای بسته بندی توسعه یافته اند. دفع مواد بسته بندی با توجه به تمرکز محیط زیست بر تولید و مدیریت زباله به عنوان یکی از جنبه های زیست محیطی مهم جامعه امروزی شناخته می شود. بسته بندی های زیست تخریب پذیر برخلاف بسته بندی های پلاستیکی نیاز به مدیریت زباله و استفاده از روش های مختلف برای بازیافت ندارند. مواد زیست تخریب پذیر با هضم بی هوازی یا کمپوست سبب کاهش دفن زباله ها می شوند (Song et al. 2009).

۵- کاربردهای پلیمرهای زیست تخریب پذیر

می توان آنها را با استفاده از فناوری هایی که به طور گسترده در صنعت پلیمر استفاده می شود مانند قالب گیری، ترکیب و فرآیند فیلم تولید کرد. آنها در بسیاری از کاربردهای کوتاه مدت جایی که تجزیه پذیری زیستی یک مزیت است از جمله بسته بندی لوازم برقی، صنعتی، کشاورزی و در بسته بندی مواد غذایی، ظروف غذاخوری، کارد، چنگال، زباله های باغی یا خانگی، مالچ کشاورزی و پوشک استفاده کرد. همچنین در کاربردهای

ذخیره سازی در انبار را بهینه کند، ۶- به دلیل شفافیت ظروف و برچسب هایی که به پیدا کردن سریعتر مواد غذایی کمک می کند؛ شناسایی مواد غذایی را آسانتر می کند، ۷- پارامترهای فیزیکی و مکانیکی این محصولات مانند استحکام خمشی و مقاومت در برابر نشت یا دمای متغیر مطلوب باشد، ۸- ایمنی زیستی و شیمیایی مواد موجود در ترکیب آنها رعایت شود (Buxoo et al. 2020). تولید، بسته بندی و حمل آنها به مشتری جزء شروط ضروری و بدیهی است که باید رعایت شود؛ زیرا پارامترهای فیزیکی و مکانیکی ضعیف انتخاب شده به ایجاد کالاهای معیوب کمک می کند که توسط مصرف کنندگان غیر قابل قبول هستند یا اجازه تولید اقلام به صورت سه بعدی را نمی دهند (Buxoo et al. 2020).

۶- نکات ایمنی مورد توجه در ساخت ظروف یکبار

مصرف

از آنجایی که مواد خوراکی در تماس با این ظروف هستند باید ظروف از نظر میکروبی ایمن باشند. تولید از ضایعات کشاورزی خطر ورود میکروارگانیسم های مختلف را به همراه دارد. میکروارگانیسم ها ممکن است طی فرآوری در دمای بالای تولید دوام بیاورند. بنابراین، چنین محصولاتی باید مانند مواد غذایی، مطابق با

بادوام تر مانند منسوجات، قطعات خودرو و ساختمان که در آن تمرکز بر استفاده از منابع تجدیدپذیر زیستی است نیز کاربرد دارند. عمده کاربرد ظروف یکبار مصرف، مربوط به سرو مواد غذایی است. ظرف یکبار مصرف برای نگهداری مواد غذایی در دمای اتاق، یخچال یا فریزر استفاده می شود. قبل از انتخاب نوع ظرف مورد استفاده، باید چندین فاکتور از جمله نوع نگهداری (دمای اتاق، یخچال یا فریزر)، مواد غذایی نگهداری شده، مدت نگهداری و فضای نگهداری را در نظر گرفت. از دیگر کاربردهای بسته بندی زیست تخریب پذیر فعال بر اساس بیوپلیمرهای زیست تخریب پذیر می توان به غشاهای فیلتراسیون آب اشاره کرد. برای غشاهای تصفیه، یک فیلم بیوپلاستیک ضد میکروبی از اتصال باکتری ها و میکروارگانیسم ها جلوگیری می کند. همچنین از دیگر کاربردهای آن فیلم هایی مانند پوشش های زخم است. پوشش های زخم پزشکی با کمک این فناوری از عفونت ها جلوگیری می کنند (Westlake et al. 2023). در همه موارد، جزء فعال بسته بندی برای بهینه سازی عملکرد مورد نظر حیاتی است. ویژگی های ظروف یکبار مصرف در نگهداری مواد غذایی شامل ۱- غیر قابل نفوذ هوا باشد، ۲- قابلیت واکنش با مواد غذایی داخل ظرف را نداشته باشد، ۳- تازگی و ماندگاری غذا را حفظ کند، ۴- حشرات و موش ها را از غذا دور کند، ۵-

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

استانداردهای قابل اجرا آزمایش شوند. هر گونه آلودگی باکتریایی به ویژه انتروباکتریاسه، استافیلوکوکوس/ورئوس، مخمر و کپک باید شناسایی شود. رطوبت، گرما و میکروارگانیسم ها نگرانی های اصلی هستند که انبار و حمل و نقل طولانی مدت ظروف حاوی مواد خوراکی را دشوار می کند و باید از بسته بندی های اضافی به طور معمول برای نگهداری آنها استفاده شود. به منظور افزایش سفتی فنجان ها یا بشقاب ها از روکش های اضافی استفاده می شود. این مواد همیشه برای سلامت انسان ایمن نیستند. مشکل پوشش های خوراکی تا حد زیادی به بسته بندی خوراکی مربوط می شود. آنها لایه های نازکی هستند که پوششی بر روی محصول ایجاد می کنند که می تواند به عنوان فیلم جداکننده مواد غذایی نیز استفاده شود. اغلب، چنین محصولاتی از پلیمرهای طبیعی، به طور عمده پلی ساکاریدها و همچنین پروتئین های گیاهی و حیوانی ساخته می شوند. مزیت بسته بندی خوراکی این است که می توان آن را همراه با محصول بسته بندی شده مصرف کرد و دوستدار محیط زیست است (Regalado et al. 2006).

در صنایع غذایی از روکش های خوراکی در فرآوری گوشت، ماهی، میوه، سبزیجات و لبنیات استفاده می شود.

۷- زیست تخریب پذیری

زیست تخریب پذیر موادی هستند که به طور طبیعی تخریب یا تجزیه می شوند. مواد غیرقابل تجزیه زیستی مواردی هستند که به راحتی تخریب نمی شوند. ترکیبات زیست تخریب پذیر مانند ضایعات گیاهان و حیوانات، میوه ها، کاغذ و سبزیجات به واحدهای ساده تری تبدیل می شوند. مواد زیست تخریب پذیر به عنوان کود، بیوگاز و کود کمپوست استفاده می شوند. این مواد غیرسمی، غیرآلاینده و سازگار با محیط زیست هستند. پس از مصرف ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر پلیمرهای موجود در آن باید به طور صحیح و با مدیریت مناسب بازیافت شوند. پلیمرهای زیست تخریب پذیر (biodegradable polymers: BDPs) یا پلاستیک های زیست تخریب پذیر، گزینه بالقوه ای را برای تصفیه زباله از طریق کمپوست به عنوان راهی برای بازیابی مواد و تولید محصول مفید فراهم می کنند (Song et al. 2009). محصولات کمپوست پذیر برای تجزیه نیاز به تنظیمات خاصی دارند. به طور معمول، کمپوست کردن یک فرآیند سریعتر است، اما فقط در شرایط مناسب از جمله دمای و رطوبت بالا، شرایط هوازی و حضور میکروارگانیسم ها انجام می شود. روش های آزمایش کمپوست پذیری یک ماده در صنعت شامل آزمایش های تجزیه زیستی (ISO 14855)، تست های تجزیه (ISO 16929)، آزمایش های سمیت زیست محیطی و آزمایش های

- فلزات سنگین است (Ghosh et al. 2021). وجود یا عدم وجود میکروارگانیزم‌ها در حداکثر دوره آزمایش برای کمپوست ۱۸۰ روز، در محدوده دمایی مشخص شده است (Narancic et al. 2018).
- کمپوست مواد غنی از مواد مغذی را فراهم می‌کند در حالی که دفن زباله دی‌اکسیدکربن و متان را آزاد می‌کند؛ بنابراین جایگزینی پلاستیک‌های معمولی با پلاستیک‌های قابل کمپوست، بسیار سودمند است. پلاستیک‌های قابل کمپوست ساخته شده از مواد گیاهی بر خلاف پلاستیک‌های معمولی که در صورت آلودگی با مواد غذایی غیرقابل بازیافت می‌شوند، همچنان قابل کمپوست باقی می‌مانند (Westlake et al. 2023).
- وجود یا عدم وجود میکروارگانیزم‌ها در محیط تخریب تأثیر زیادی بر کمپوست‌پذیری یا تجزیه‌پذیری یک پلیمر زیستی دارد. روش‌های تخریب مدیریت شده (تاسیسات صنعتی) و مدیریت نشده (محیط‌های طبیعی، خاک، آب، دفن زباله، کمپوست) اغلب نتایج مشخصی را به دلیل شرایط محیطی مختلف مانند قرار گرفتن در معرض نور UV و وجود یا عدم وجود اکسیژن، به همراه دارند (Ghosh et al. 2021). جدول ۱ مقالات منتشر شده بر روی ظروف ساخته شده از ضایعات صنعت کشاورزی و غذایی را نشان می‌دهد.

جدول ۱-مقالات منتشر شده در زمینه ساخت ظروف یکبار مصرف از ضایعات غذایی و کشاورزی

رفرنس	اساس کار	نام مقاله
(Buxoo et al. 2020).	تولید لیوان‌های کاغذی یکبار مصرف زیست‌تخریب‌پذیر با خواص مقاومتی قابل قبول از پوست آناناس، پوست پرتقال و کنف موریس	امکان سنجی تولید لیوان کاغذی یکبار مصرف زیست‌تخریب‌پذیر از پوست آناناس، پوست پرتقال و برگ شاهدانه موریس با پوشش موم زنبور عسل
(Gustafsson et al. 2019).	تفاله سیب از پروتئین کم و قند بالا به‌طور عمده سلولز، نشاسته، پکتین و لیگنین نامحلول تشکیل شده است. از این مواد می‌توان برای تولید بیوپلاستیک استفاده کرد. اشیاء سه بعدی از تفاله سیب با استفاده از روش‌های ریخته‌گری و قالب‌گیری تهیه شدند. این مطالعه با معرفی یک رویکرد جدید و سازگار با محیط زیست برای تولید مواد زیستی پایدار از تفاله سیب مانند ظروف خوراکی یکبار مصرف یا بسته‌بندی مواد غذایی استفاده کرده است.	توسعه فیلم‌های زیستی و اشیاء سه بعدی از تفاله سیب
(Gautam et al. 2017).	در تولید فنجان از خمیر سودا و سپس قالب‌گیری خلاء استفاده شده است. نخل آرکا، <i>Areca catechu</i> L.، درخت سال <i>Shorea robusta Gaertn</i> ، خزنه مالو <i>Bauhinia vahlii Villar</i> ، موز <i>Musa acuminata Colla</i> و محصولات جانبی درخت نارگیل <i>Cocos nucifera</i> L. همچنین ممکن است به‌عنوان مواد خام برای تهیه ظروف آماده زیست‌تخریب‌پذیر استفاده شود.	مطالعه، طراحی، تجزیه و تحلیل جایگزین‌های پایدار برای کارد و چنگال و ظروف غذاخوری پلاستیکی

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

بسته بندی مواد غذایی یکبار مصرف و مواد سرو و روندها و زیست تخریب پذیری	قاشق های خوراکی از جنس شکر نیشکر توسط شرکت Candy Cutlery تولید شده است. آنها به صورت ساده و همچنین در طعم های قهوه، وانیل، توت فرنگی و نعنای در دسترس هستند. این شرکت لیوان های شیشه ای ساخته شده از شکر را ارائه کرد که در سراسر کانادا محبوبیت پیدا کرده است. یکی دیگر از زیرمجموعه های خوراکی محصولاتی است که منشا جلبک دریایی دارند. فنجان های رنگی خوراکی ساخته شده از جلبک دریایی با زمان تخمینی ۳۰ روز تجزیه زیستی، معروف به فنجان های Ello Jello، توسط Eovaware تولید شده است. نی های مبتنی بر جلبک دریایی توسط Loliware تولید می شوند.	(Dybka-Ściepien et al. 2021)
بسته بندی بر پایه جلبک دریایی	خواص خوب تشکیل فیلم، کم هزینه، زیست سازگاری و زیست تخریب پذیری، ژلاتین ماهی به تازگی برای تهیه فیلم های زیست تخریب پذیر در بسته بندی مواد غذایی فعال، جایگزین پلیمرهای غیر قابل تجزیه معمولی شده است و همچنین استخراج بیوپلیمرهای کیتوزان، کلاژن از ضایعات ماهی و استفاده در صنعت بسته بندی مواد غذایی	(Eovaware et al. 2021; Loliware et al. 2021)
کاربردهای اخیر بیوپلیمرهای مشتق شده از ضایعات صنعت ماهی در بسته بندی مواد غذایی	سلولزی که از ضایعات لیگنوسلولزی استخراج می شود، فراوان و غیر سمی است که می تواند به عنوان یک ماده بسته بندی مواد غذایی تجدید پذیر استفاده شود. بقایای کشاورزی مانند کاه، تفاله نیشکر و بامبو را می توان خمیر کرد، فرآوری کرد و به عنوان ماده اولیه برای محصولات در برنامه بسته بندی و تحویل غذا استفاده کرد.	(Lionetto et al. 2021)
از ضایعات سلولزی کشاورزی تا بسته بندی تحویل مواد غذایی؛ یک بررسی کوچک	سلولزی که از ضایعات لیگنوسلولزی استخراج می شود، فراوان و غیر سمی است که می تواند به عنوان یک ماده بسته بندی مواد غذایی تجدید پذیر استفاده شود. بقایای کشاورزی مانند کاه، تفاله نیشکر و بامبو را می توان خمیر کرد، فرآوری کرد و به عنوان ماده اولیه برای محصولات در برنامه بسته بندی و تحویل غذا استفاده کرد.	(Ma et al. 2023)
استفاده پایدار از محصولات جانبی میوه و سبزیجات برای افزایش عملکرد بسته بندی مواد غذایی	بسته بندی تهیه شده با استفاده از محصولات جانبی حاصل از ضایعات فرآوری میوه و سبزیجات، جایگزین مناسبی برای کاهش هزینه تولید فیلم ها و پوشش های خوراکی و افزودن ارزش به محصولات جانبی غذایی است. علاوه بر این، به دلیل خواص بیولوژیکی شناخته شده خود یعنی فیبرهای غذایی (الیگوساکاریدها)، آنتی اکسیدان ها (پلی فنل ها و رنگدانه ها) و ضد میکروبی ها (روغن های اسانس)، این اجزای باقی مانده می توانند عملکرد بسته بندی مواد غذایی را افزایش دهند.	(Dilucia et al. 2020)
مواد برای ساخت قالب های زیست تخریب پذیر از سبوس و روش های آن	علاقه به ظروف قابل تجزیه زیستی که از سبوس و سایر محصولات جانبی صنایع غذایی کشاورزی در جهان تولید می شود، خیلی زودتر رخ داده است. اولین اختراعات در آغاز قرن بیست و یکم ایجاد شد، اما در دهه گذشته بیشتر و بیشتر به ثبت رسیده است. مواد ترموپلاستیک مبتنی بر نشاسته با گرم کردن نشاسته حاوی آب تحت فشار در حضور افزودنی های روان کننده موجود در آن به دست می آیند. محصولات ساخته شده از این مواد با استفاده از فرآیند اکستروژن با استفاده از ابزار معمولی مشابه آنچه در تولید محصولات قالب گیری شده با اکستروژن پلاستیکی استفاده می شود، تولید می شوند.	(Wysocki et al. 2003)
ابزار غذاخوری و طرز تهیه	ترکیبی از مواد برای استفاده در یک ابزار خوراکی مانند قاشق ارائه شده است. این ترکیب شامل آرد گلوتن دار و آرد فاقد گلوتن و یک مایع است. ابزار غذاخوری به شکل سه بعدی و خوراکی و زیست تخریب پذیر است.	(Bhagat et al. 2019)

نتیجه گیری

پلیمرهای زیست تخریب پذیر می توانند به صناعی تبدیل شوند که به توسعه پایدار و تقویت اقتصاد سبز و کاهش گازهای گلخانه ای در محیط زیست و کاهش زباله های رها شده در طبیعت کمک می کنند. زیست تخریب پذیری و فعالیت ضد میکروبی مواد بسته بندی مواد غذایی از مهم ترین پارامترهای صنایع مدرن بسته بندی مواد غذایی به شمار می آیند. بنابراین توسعه روشی برای استفاده از پلیمرهای زیست تخریب پذیر در صنعت ساخت ظروف یکبار مصرف که همزمان خواص بسته بندی فعال را داشته باشند حائز اهمیت است.

ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر از پلیمرهای که به طور مستقیم از مواد طبیعی استخراج و جدا شده اند مثل کلاژن، نشاسته، گلوتن و سلولز یا از پلیمرهای که توسط سنتز شیمیایی از بیومنومرها از جمله پلی لاکتیک اسید و پلی کاپرولاکتون تولید شده یا پلیمرهای که از موجودات طبیعی یا اصلاح شده ژنتیکی مانند پلی هیدروکسی الکانوات ها ساخته شده اند. مقبولیت استفاده از پلاستیک های زیست تخریب پذیر در کشاورزی و صنایع بسته بندی مواد غذایی در حال افزایش است.

References

فهرست منابع

- Abdolsattari P, Rezazadeh Bari M, Pirsa S. 2022.** Comparison of physicochemical properties of biodegradable conductive films of polylactic acid containing polypyrrole/copper oxide with polyaniline/copper oxide. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 19(123): 161-174.
- Abdullah ZW, Dong Y, Davies IJ, Barbhuiya S. 2017.** PVA, PVA blends, and their nanocomposites for biodegradable packaging application. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 56(12): 1307-1344.
- Alizadeh N, Ataei AA, Pirsa S. 2015.** Nanostructured conducting polypyrrole film prepared by chemical vapor deposition on the interdigital electrodes at room temperature under atmospheric condition and its application as gas sensor. *Journal of the Iranian Chemical Society*. 12: 1585-1594.
- Alizadeh N, Pirsa S, Mani-Varnosfaderani A, Alizadeh MS. 2015.** Design and fabrication of open-tubular array gas sensors based on conducting polypyrrole modified with crown ethers for simultaneous determination of alkylamines. *IEEE Sensors Journal*. 15(7): 4130-4136.
- Almenar E, Catala R, Hernandez-Muñoz P, Gavara R. 2009.** Optimization of an active package for wild strawberries based on the release of 2-nonanone. *LWT-Food Science and Technology*. 42(2): 587-593.
- Angellier H, Molina-Boisseau S, Dole P, Dufresne A. 2006.** Thermoplastic starch- waxy maize starch nanocrystals nanocomposites. *Biomacromolecules*. 7(2): 531-539.
- Antonkiewicz J, Pelka R, Bik-Małodzińska M, Żukowska G, Gleń-Karolczyk K. 2018.** The effect of cellulose production waste and municipal sewage sludge on biomass and heavy metal uptake by a plant mixture. *Environmental Science and Pollution Research*. 25: 31101-31112.
- Barretto R, Qi G, Jones C, Li Y, Sun XS, Wang D. 2024.** Bio- based disposable containers for food services. *Advances in Polymer Technology*. 2024(1): 5536535.

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

- Bhagat M, Zafari R, Savorware LLC. 2019.** Edible eating device and method of making. U.S. Patent Application 16/437,980.
- Bhunia K, Sablani SS, Tang J, Rasco B. 2013.** Migration of chemical compounds from packaging polymers during microwave, conventional heat treatment, and storage. *Comprehensive Reviews in food Science and food Safety*. 12(5): 523-545.
- Buxoo S and Jeetah P. 2020.** Feasibility of producing biodegradable disposable paper cup from pineapple peels, orange peels and Mauritian hemp leaves with beeswax coating. *SN Applied Sciences*. 2: 1-15.
- Carina D, Sharma S, Jaiswal AK, Jaiswal S. 2021.** Seaweeds polysaccharides in active food packaging: A review of recent progress. *Trends in Food Science & Technology*. 110: 559-572.
- Chen CS, Liau WY, Tsai GJ. 1998.** Antibacterial effects of N-sulfonated and N-sulfobenzoyl chitosan and application to oyster preservation. *Journal of Food Protection*. 61(9): 1124-1128.
- Corradini E, Curti PS, Meniqueti AB, Martins AF, Rubira AF, Muniz EC. 2014.** Recent advances in food-packing, pharmaceutical and biomedical applications of zein and zein-based materials. *International Journal of Molecular Sciences*. 15(12). 22438-22470.
- Cutter CN. 2002.** Microbial control by packaging: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 42(2): 151-161.
- de Abreu DP, Losada PP, Maroto J, Cruz JM. 2011.** Lipid damage during frozen storage of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in active packaging film containing antioxidants. *Food Chemistry*. 126(1): 315-320.
- de Oliveira WQ, de Azeredo HMC, Neri-Numa IA, Pastore GM. 2021.** Food packaging wastes amid the COVID-19 pandemic: Trends and challenges. *Trends in Food Science & Technology*. 116: 1195-1199.
- Dilucia F, Lacivita V, Conte A, Del Nobile MA. 2020.** Sustainable use of fruit and vegetable by-products to enhance food packaging performance. *Foods*. 9(7): 857.
- Dybka-Ściepien K, Antolak H, Kmiotek M, Piechota D, Koziróg A. 2021.** Disposable food packaging and serving materials—trends and biodegradability. *Polymers*. 13(20): 3606.
- Erfani A, Pirouzifard MK, Pirsā S. 2023.** Photochromic biodegradable film based on polyvinyl alcohol modified with silver chloride nanoparticles and spirulina; investigation of physicochemical, antimicrobial and optical properties. *Food Chemistry*. 411: 135459.
- Evoware. 2021.** Seaweed-Based Packaging. Available online: <https://www.webpackaging.com/en/portals/evoware/> (accessed on 17 July 2021).
- Fabra MJ, Lopez-Rubio A, Lagaron JM. 2014.** Nanostructured interlayers of zein to improve the barrier properties of high barrier polyhydroxyalkanoates and other polyesters. *Journal of Food Engineering*. 127: 1-9.
- Filiciotto L and Rothenberg G. 2021.** Biodegradable plastics: Standards, policies, and impacts. *ChemSusChem*. 14(1): 56-72.
- Flórez M, Guerra-Rodríguez E, Cazón P, Vázquez M. 2022.** Chitosan for food packaging: Recent advances in active and intelligent films. *Food Hydrocolloids*. 124: 107328.
- Gautam AM and Caetano N. 2017.** Study, design and analysis of sustainable alternatives to plastic takeaway cutlery and crockery. *Energy Procedia*. 136: 507-512.
- Gelse K, Pöschl E, Aigner T. 2003.** Collagens—structure, function, and biosynthesis. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 55(12): 1531-1546.
- Ghasemi M, Miri MA, Najafi MA, Tavakoli M, Hadadi T. 2022.** Encapsulation of Cumin essential oil in zein electrospun fibers: Characterization and antibacterial effect. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 16(2): 1613-1624.
- Ghosh K and Jones BH. 2021.** Roadmap to biodegradable plastics—current state and research needs. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 9(18): 6170-6187.
- Gómez-Guillén MC, Pérez-Mateos M, Gómez-Estaca J, López-Caballero E, Giménez B, Montero P. 2009.** Fish gelatin: a renewable material for developing active biodegradable films. *Trends in Food Science & Technology*. 20(1): 3-16.
- Gross RA and Kalra B. 2002.** Biodegradable polymers for the environment. *Science*. 297(5582): 803-807.
- Gustafsson J, Landberg M, Bátori V, Åkesson D, Taherzadeh MJ, Zamani A. 2019.** Development of bio-based films and 3D objects from apple pomace. *Polymers*. 11(2): 289.
- Ha JU, Kim YM, Lee DS. 2001.** Multilayered antimicrobial polyethylene films applied to the packaging of ground beef. *Packaging Technology and Science: An International Journal*. 14(2): 55-62.

- Hosseini N and Farzi J. 2021.** Biodegradable film of modified starch/albumin containing magnesium oxide nanoparticles; Investigation of color, transparency, mechanical, and calorimetry properties. *Journal of food science and technology (Iran)*. 18(111): 169-188.
- Huang J, Hu Z, Hu L, Li G, Yao Q, Hu Y. 2021.** Pectin-based active packaging: A critical review on preparation, physical properties and novel application in food preservation. *Trends in Food Science & Technology*. 118: 167-178.
- Javadi A, Kramschuster AJ, Pilla S, Lee J, Gong S, Turng LS. 2010.** Processing and characterization of microcellular PHBV/PBAT blends. *Polymer Engineering and Science*. 50(7): 1440.
- Kale G, Auras R, Singh SP. 2006.** Degradation of commercial biodegradable packages under real composting and ambient exposure conditions. *Journal of Polymers and the Environment*. 14: 317-334.
- Kim MN, Lee AR, Yoon JS, Chin IJ. 2000.** Biodegradation of poly (3-hydroxybutyrate), Sky-Green® and Mater-Bi® by fungi isolated from soils. *European Polymer Journal*. 36(8): 1677-1685.
- Klemm D, Heublein B, Fink HP, Bohn A. 2005.** Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International Edition*. 44(22): 3358-3393.
- Kostic D, Vukasinovic-Sekulic M, Armentano I, Torre L, Obradovic B. 2019.** Multifunctional ternary composite films based on PLA and Ag/alginate microbeads: Physical characterization and silver release kinetics. *Materials Science and Engineering: C*. 98: 1159-1168.
- Kumari SVG, Pakshirajan K, Pugazhenth G. 2022.** Recent advances and future prospects of cellulose, starch, chitosan, polylactic acid and polyhydroxyalkanoates for sustainable food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. 221: 163-182
- Labuza TP and Breene WM. 1989.** Applications of "active packaging" for improvement of shelf- life and nutritional quality of fresh and extended shelf- life foods 1. *Journal of Food Processing and Preservation*. 13(1); 1-69.
- Lionetto F and Esposito Corcione C. 2021.** Recent applications of biopolymers derived from fish industry waste in food packaging. *Polymers*. 13(14): 2337.
- Lodha P and Netravali AN. 2005.** Thermal and mechanical properties of environment-friendly 'green' plastics from stearic acid modified-soy protein isolate. *Industrial crops and products*. 21(1): 49-64.
- Ma J, He J, Kong X, Zheng J, Han L, Liu Y, Zhu Z, Zhang Z. 2023.** From agricultural cellulosic waste to food delivery packaging: A mini-review. *Chinese Chemical Letters*, 34(2), p.107407.
- Mastromatteo M, Barbuzzi G, Conte A, Del Nobile MA. 2009.** Controlled release of thymol from zein based film. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 10(2): 222-227.
- Mercan N, Aslim B, Yüksekdağ ZN, Beyatli Y. 2002.** Production of poly-b-hydroxybutyrate (PHB) by some *Rhizobium* bacteria. *Turkish Journal of Biology*. 26(4): 215-219.
- Miller R. 2005.** The landscape for biopolymers in packaging. Miller-Klein Associates report. Summary and Full Report available from The National Non-Food Crops Centre, Heslington, York, UK www.nnfcc.co.uk.
- Mohareb E and Mittal GS. 2007.** Formulation and process conditions for biodegradable/edible soy- based packaging trays. *Packaging Technology and Science: An International Journal*. 20(1): 1-15.
- Morgan-Sagastume F, Valentino F, Hjort M, Cirne D, Karabegovic L, Gerardin F, Johansson P, Karlsson A, Magnusson P, Alexandersson T, Bengtsson S. 2014.** Polyhydroxyalkanoate (PHA) production from sludge and municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology*. 69(1): 177-184.
- Muthuraj R, Misra M, Mohanty AK. 2018.** Biodegradable compatibilized polymer blends for packaging applications: A literature review. *Journal of Applied Polymer Science*. 135(24): 45726.
- Narancic, T., Verstichel, S., Reddy Chaganti, S., Morales-Gamez, L., Kenny, S.T., De Wilde, B., Babu Padamati R and O'Connor KE. 2018.** Biodegradable plastic blends create new possibilities for end-of-life management of plastics but they are not a panacea for plastic pollution. *Environmental Science & Technology*. 52(18): 10441-10452.
- Narayan R. 2006.** Biobased and biodegradable polymer materials: rationale, drivers, and technology exemplars. 282-306.
- Narayan R. 2006.** Rationale, drivers, standards, and technology for biobased materials; ch 1 in renewable resources and renewable energy, Ed Mauro Graziani & Paolo Fornasiero.
- Netravali AN and Chabba S. 2003.** Composites get greener. *Materials Today*. 4(6): 22-29.
- Omerović N, Djisalov M, Živojević K, Mladenović M, Vunduk J, Milenković I, Knežević NŽ, Gadjanski I, Vidić J. 2021.** Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 20(3): 2428-2454.

"پورقربانی و پیرسا، مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست تخریب پذیر فعال؛ روش های تولید و کاربردهای..."

- Petersen K, Nielsen PV, Bertelsen G, Lawther M, Olsen MB, Nilsson NH, Mortensen G. 1999. Potential of biobased materials for food packaging. Trends in Food Science & Technology. 10(2): 52-68.
- Pirsa S, Abdolsattari P, Peighambardoust SJ, Fasihnia SH, Peighambardoust SH. 2020. Investigating microbial properties of traditional Iranian white cheese packed in active LDPE films incorporating metallic and organoclay nanoparticles. Chemical Review and Letters. 3(4): 168-174.
- Pirsa S, Heidari H, Lotfi J. 2016. Design selective gas sensors based on nano-sized polypyrrole/polytetrafluoroethylene and polypropylene membranes. IEEE Sensors Journal. 16(9): 2922-2928.
- Pirsa S and Nejad FM. 2017. Simultaneous analysis of some volatile compounds in food samples by array gas sensors based on polypyrrole nano-composites. Sensor Review. 37(2): 155-164.
- Pirsa S and Purghorbani F. 2024. An overview of hydrogen peroxide sensors and their applications in food quality control. Sensor Review. 44(2): 159-170.
- Pirsa S, Zandi M, Almasi H, Hasanlu S. 2015. Selective hydrogen peroxide gas sensor based on nanosized polypyrrole modified by CuO nanoparticles. Sensor Letters. 13(7): 578-583.
- Prasad P and Kochhar A. 2014. Active packaging in food industry: a review. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 8(5): 1-7.
- Qi X, Ren Y, Wang X. 2017. New advances in the biodegradation of Poly (lactic) acid. International Biodeterioration & Biodegradation. 117: 215-223.
- Ratnayake WS, Hoover R, Shahidi F, Perera C, Jane J. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. Food Chemistry. 74(2): 189-202.
- Regalado C, Pérez-Pérez C, Lara-Cortés E, Garcia-Almendarez B. 2006. Whey protein based edible food packaging films and coatings. Advances in Agricultural and Food Biotechnology. 237-261.
- Sarasam AR, Krishnaswamy RK, Madihally SV. 2006. Blending chitosan with polycaprolactone: effects on physicochemical and antibacterial properties. Biomacromolecules. 7(4): 1131-1138.
- Shabkhiz MA, Pirouzifard MK, Pirsa S, Mahdavinia GR. 2021. Alginate hydrogel beads containing *Thymus daenensis* essential oils/Glycyrrhizic acid loaded in β -cyclodextrin. Investigation of structural, antioxidant/antimicrobial properties and release assessment. Journal of Molecular Liquids. 344: 117738.
- Shaikh S, Yaqoob M, Aggarwal P. 2021. An overview of biodegradable packaging in food industry. Current Research in Food Science. 4: 503-520.
- Sheikh- Mohseni MA and Pirsa S. 2016. Nanostructured conducting polymer/copper oxide as a modifier for fabrication of L- DOPA and uric acid electrochemical sensor. Electroanalysis. 28(9): 2075-2080.
- Singla R and Mehta R. 2012. Preparation and characterization of polylactic acid-based biodegradable blends processed under microwave radiation. Polymer-Plastics Technology and Engineering. 51(10): 1014-1017.
- Song JH, Murphy RJ, Narayan R, Davies GBH. 2009. Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. Philosophical transactions of the royal society B: Biological Sciences. 364(1526): 2127-2139.
- Souza VGL and Fernando AL. 2016. Nanoparticles in food packaging: Biodegradability and potential migration to food— A review. Food Packaging and Shelf Life. 8: 63-70.
- Taverna ME, Busatto CA, Saires PJ, Bertero MP, Sedran UA, Estenoz DA. 2022. Bio-composite films based on alginate and rice husk tar microparticles loaded with eugenol for active packaging. Waste and Biomass Valorization. 13(6): 3061-3070.
- Teng WL, Khor E, Tan TK, Lim LY, Tan SC. 2001. Concurrent production of chitin from shrimp shells and fungi. Carbohydrate research, 332(3): 305-316.
- Tiberiu N. 2011. Concepts in biological analysis of resorbable materials in oro-maxillo facial surgery. Oro-Maxillo-Fac Implantol (Romania). 2(1): 33-38.
- Véronique COMA. 2008. Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. Meat Science. 78(1-2): 90-103.
- Wang X, Zhou J, Li L. 2007. Multiple melting behavior of poly (butylene succinate). European Polymer Journal. 43(8): 3163-3170.
- Westlake JR, Tran MW, Jiang Y, Zhang X, Burrows AD, Xie M. 2023. Biodegradable biopolymers for active packaging: demand, development and directions. Sustainable Food Technology. 1(1): 50-72.
- Wysocki J. 2003. Material for making biodegradable mouldings from bran and method thereof. U.S. Patent Application. 10/161,330.

Yam KL, Takhistov PT, Miltz J. 2005. Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of Food Science*. 70(1): R1-R10.

Yorghanlu RA, Hemmati H, Pirsa S, Makhani A. 2022. Production of biodegradable sodium caseinate film containing titanium oxide nanoparticles and grape seed essence and investigation of physicochemical properties. *Polymer Bulletin*. 79(10): 8217-8240.

Zhao X, Cornish K, Vodovotz Y. 2020. Narrowing the gap for bioplastic use in food packaging: an update. *Environmental Science & Technology*. 54(8): 4712-4732.

Zhao Y and McDaniel M. 2005. Sensory quality of foods associated with edible film and coating systems and shelf-life extension. In *Innovations in food packaging*. 434-453. Academic Press.

Zivkovic N. 2009. Polyhydroxyalkanoates, green chemistry (seminar). *Food Technology Zagreb*, (in Croatian). 14.

An Overview of Active Biodegradable Disposable Containers; Production Methods and Their Applications in Different Industries

Fahimeh Pourghorbani^{*1} and Sajad Pirsa²

1- Master's Student, Food Chemistry, Urmia University, Iran.

2- Professor, Department of Food Industry, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.

flowerfly601@gmail.com

Abstract

With the industrialization of societies and the new lifestyle and the epidemic of corona disease, the use of disposable containers has become a must. On the other hand, despite the harmful effects of plastic containers on human health, environmental pollution and the creation of nondegradable waste, society has moved towards the use of containers based on biodegradable polymers. These polymers should be selected according to the type of product and its storage conditions and lack of reactivity with food inside them. Active packaging changes the conditions of the closed atmosphere in a way that increases the shelf life of food. Active packaging methods can be used in the production of these disposable containers. In this study, we tried to collect research on the types of polymers used in the preparation of biodegradable disposable containers that show active properties. Different polymers can be used for production according to its source, but these packaging polymers must be able to be decomposed by nature or reused as animal and poultry feed after discarding. In this way, many pollutions and problems of using these containers will be solved.

Keywords: Packaging, Polymer, Biodegradable, Single-Use Plastics (SUP) Active.