مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

مروری بر ظروف یکبار مصرف زیست‌تخریب‌پذیر فعال؛ روش‌های تولید و کاربردهای آنها در صنایع مختلف

نوع مقاله: مروری

فهیمه پورقربانی[1*]، سجاد پیرسا[2]

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 ۱۲۲-۹۵

چکیده

با صنعتی شدن جوامع و سبک زندگی جدید و همه‌گیری بیماری کرونا، استفاده از ظروف یکبار مصرف به امری واجب تبدیل شده است. از طرفی با وجود مضرات ظروف پلاستیکی بر روی سلامتی انسان، آلودگی‌های زیست محیطی و ایجاد زباله‌های تخریب‌ناپذیر، جامعه به سمت استفاده از ظروف بر پایه‌ی پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر پیش رفته است. این پلیمرها باید با توجه به نوع محصول و شرایط نگهداری آن و عدم واکنش‌پذیری با مواد غذایی داخل آنها، انتخاب شوند. بسته‌بندی فعال شرایط جو بسته را به گونه‌ای تغییر می‌دهد که موجب افزایش عمر نگهداری موادغذایی می‌شود. می‌توان در تولید این ظروف یکبار مصرف، از روش‌های بسته‌بندی فعال استفاده کرد. در این مطالعه تلاش شده است تا پژوهش‌های انجام شده بر روی انواع پلیمرهای مورد استفاده در تهیه ظروف یکبار مصرف زیست‌تخریب‌پذیر که خاصیت فعال دارند، گردآوری و بررسی شود. پلیمرهای مختلف با توجه به منبع آن، برای تولید مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی این پلیمرهای بسته‌بندی، پس از استفاده باید بتوانند توسط طبیعت تجزیه شوند یا به صورت خوراک دام و طیور دوباره مصرف شوند. به این صورت بسیاری از آلودگی‌ها و مشکلات مصرف این ظروف حل خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی، پلیمر، زیست‌تخریب‌پذیر، ظروف یکبار مصرف فعال.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

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 تجزیه‌پذیر است و به‌طور طبیعی تجزیه می‌شود، در حالیکه کیسه‌های پلاستیکی برای صدها سال باقی می‌مانند. در صنعت کشاورزی برگ‌ها، دانه‌ها، پوست‌ها و سایر محصولات ناشی از فرآوری مواد غذایی سرشار از نشاسته، پکتین و سلولز هستند (Barretto et al. 2024). موادغذایی زباله‌های آلی قابل کمپوست هستند. اما بسیاری از بسته‌بندی‌های موادغذایی به این صورت نیستند. ۶۳٪ از زباله‌های جامد تولید شده در ایالات متحده صرفاً از بسته‌بندی به وجود می‌آید و این رقم همچنان در حال افزایش است. با تغییر به سمت بسته‌بندی‌های تجزیه‌پذیر، صنایع غذایی می‌تواند از این منبع ضایعات استفاده کرده و آنها را به سمت کمپوست هدایت کند. علاوه‌براین، می‌تواند خاک غنی از مواد مغذی برای حمایت از کشاورزی و تولید مواد غذایی بیشتر را فراهم سازد. بنابراین، بسته‌بندی مواد غذایی زیست‌تخریب‌پذیر به جای آسیب رساندن به محیط زیست می‌تواند به بخشی از یک سیستم تبدیل شود که هم ضایعات را از بین می‌برد و هم تولید مواد غذایی را افزایش می‌دهد. ما می‌توانیم مواد ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی را وارد پلیمرهای بسته‌بندی موادغذایی کنیم تا بسته‌بندی ما هم خاصیت زیست‌تخریب‌پذیری و هم خاصیت بسته‌بندی‌های فعال را داشته باشد. این بسته‌بندی موادغذایی را به مدت طولانی و با کیفیت بالا حفظ می‌کند. پس از استفاده نیز به‌عنوان کمپوست و خوراک دام مجدد وارد چرخه مصرف می‌شود که در این مقاله به صورت مختصر به بررسی آنها پرداخته شده است.

تشخیص زیست‌تخریب‌پذیری با کربن بیوژنیک

بسیاری از فرمول‌های تجاری برای کاهش هزینه و افزایش عملکرد منابع تجدیدپذیر زیستی و منابع تجدیدناپذیر پتروشیمی را باهم ترکیب می کنند. بنابراین، پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر اغلب شامل ترکیبات پلیمری هستند که تا حدی حاوی کربن بیوژنیک تجدیدپذیر مشتق شده از زیست‌توده وتا حدی کربن پتروشیمی هستند. درصد کربن بیوژنیک موجود در یک محصول پلاستیکی یا پلیمری را می‌توان 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 می‌شود. این کربن به سرعت به کربن‌دی‌اکسید رادیواکتیو اکسید می‌شود. سپس از طریق فتوسنتز و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

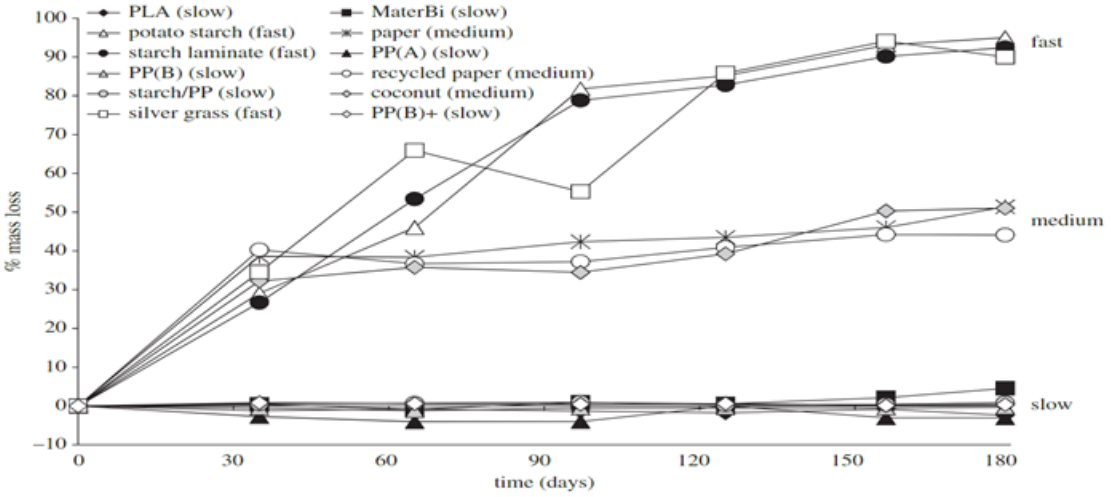
زنجیره‌غذایی وارد گیاهان و جانوران می‌شود. گیاهان و حیواناتی که از کربن در زنجیره‌های غذایی زیستی استفاده می‌کنند، در طول عمر خود کربن ۱۴ را مصرف می‌کنند. آنها در تعادل با غلظت کربن ۱۴ اتمسفر هستند، یعنی تعداد اتم‌های کربن ۱۴ و اتم‌های کربن‌غیررادیواکتیو تقریباً در طول زمان ثابت می‌مانند. به محض مرگ، یک گیاه یا حیوان عملکرد متابولیکی جذب کربن متوقف می‌شود. به این معنی که کربن‌رادیواکتیو دوباره جایگزین نمی‌شود، فقط پوسیدگی وجود دارد. از آنجایی‌که نیمه‌عمر 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 می‌توان با احتراق ماده آزمایشی در پلیمر در حضور اکسیژن و تجزیه و تحلیل گاز CO_2 ایجاد شده برای اندازه‌گیری محتوی کربن ۱۲ و کربن ۱۴ آن تعیین کرد (مطابق استاندارد ASTM D-6866 – روش‌های تست استاندارد برای تعیین محتوای مبتنی‌بر زیست نمونه‌های جامد، مایع و گاز با استفاده از آنالیز رادیوکربن) (شکل ۱). درصد کاهش جرم در طول زمان در واحدهای بسته‌بندی مختلف به‌عنوان شاخص تجزیه‌زیستی نشان داده شده و سرعت تخریب با مقادیر آهسته، متوسط و سریع تقسیم‌بندی شده است. سه گروه از مواد را می‌توان به وضوح پس از ۹۰ روز تشخیص داد.

- تجزیه‌شونده‌های سریع شامل پلیمرهای مبتنی‌بر نشاسته و چمن نقره‌ای *Miscanthus sinensis* با پایه فیبرگیاهی که کاهش جرمی تقریباً ۸۰ درصد را نشان می‌دهند.
- تجزیه‌شونده‌های متوسط کاغذ بر پایه الیاف چوب و الیاف نارگیل با کاهش جرمی تقریباً ۴۰ درصد.
- تجزیه‌شونده‌های آهسته شامل (ترکیب پلی‌لاکتیک‌اسید (polylactic acid: PLA) و پلی‌پروپیلن (polypropylene: PP) با مواد افزودنی) و نشاسته/پلی کاپرولاکتون (Polycaprolactone: PCL) با کاهش جرم کمتر از ۵ درصد (Song et al. 2009).

آزمایش‌های زیست‌تخریب‌پذیر دارای استانداردهای شناخته‌شده‌ای است. این آزمایش‌ها نسبتاً عمومی هستند مانند دوره‌های حداقلی و حداکثری. اگر ماده‌ای در عرض ۱۴ روز حداقل ۷۰٪ تجزیه شود، ممکن است به‌عنوان ذاتاً تجزیه‌پذیر نامیده شود. یک بیوپلاستیک اگر حداقل ۹۰٪ در عرض ۶ ماه در محیط‌های آبی یا ۲۴ ماه در خاک تجزیه شود، می‌تواند به‌عنوان تجزیه‌پذیر نامیده شود (Filiciotto and Rothenberg, 2021). به همین دلیل فرصتی برای پلاستیک‌های تشکیل‌دهنده میکروپلاستیک وجود دارد که در این تعاریف به‌عنوان زیست تخریب‌پذیر تعریف شوند (Westlake et al.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

.(2023



شکل ۱- درصد کاهش جرم در طول زمان در واحدهای بسته‌بندی مختلف به‌عنوان شاخص تجزیه زیستی.(Song et al. 2009)

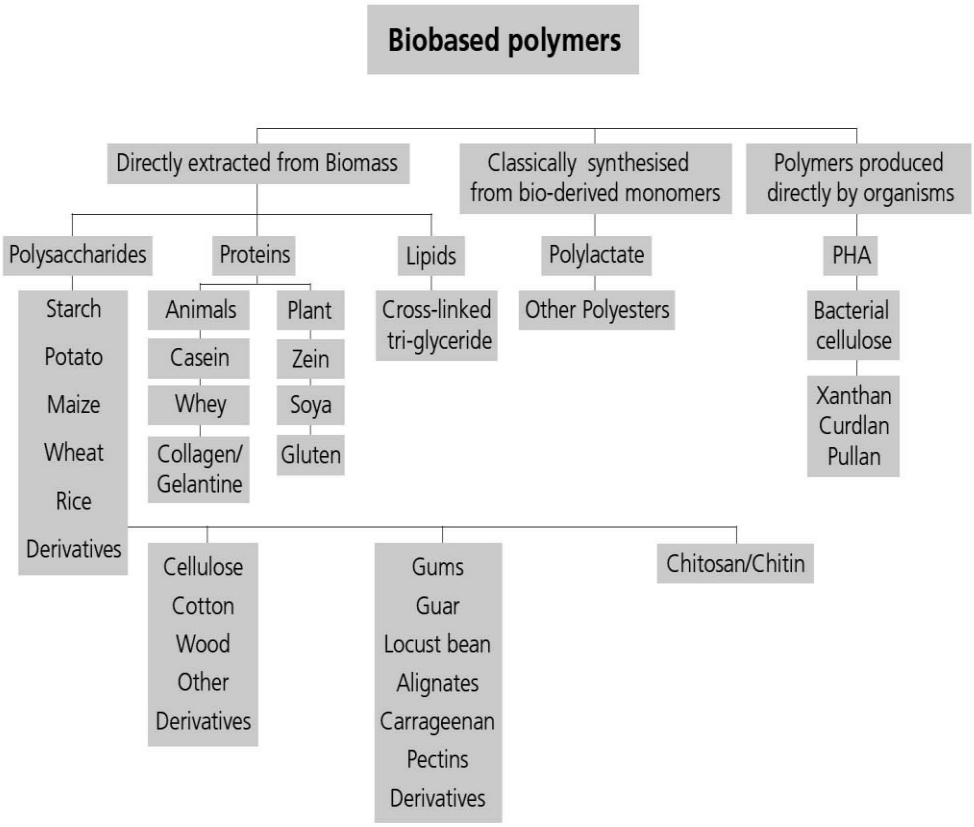
زیست‌تخریب‌پذیری پلیمرها به الف) طول زنجیره یا وزن مولکولی پلیمر(ب) پیچیدگی فرمول شیمیایی و (ج) بلورینگی پلیمر (Souza et al. 2016; Zhao et al. 2020) بستگی دارد. بالاترین سرعت تخریب برای پلیمرهای بی‌شکل (amorphous polymer) با وزن مولکولی کم با سطوح پیچیدگی پایین رخ می‌دهد.

۱- پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر مورد استفاده در تولید ظروف یکبار مصرف

به‌طور معمول تصور می‌شود بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر فقط از منبع زیستی یا گیاهی ساخته می‌شود، اما این درست نیست. زیست‌تخریب‌پذیری به ساختار مولکولی و قدرت زنجیره پلیمری یک ماده بستگی دارد. برای تجزیه‌زیستی، ساختار پلیمری رشته‌ای از مونومرها که مواد را تشکیل می‌دهند، باید قادر به تجزیه یا شکسته‌شدن به قطعات کوچکی باشد که می‌توانند به‌طور ایمن توسط میکروارگانیسم‌ها هضم شوند. پس می‌توان ظروف یکبار مصرف را از پلیمرهای مبتنی‌بر مواد زیستی و فسیلی ساخت. پلاستیک‌های تجزیه‌ناپذیر و تجزیه‌پذیر اگر بتوانند از پلیمرهای فسیلی ساخته شوند، دو حالت دارند. در حالت اول بسته‌بندی‌های پلاستیکی معمولی از زنجیره‌های کربنی قوی مانند پلی‌اتیلن (polyethylene: PE)، پلی‌اتیلن ترفتالات (polyethylene terephthalate: PET) و PP تشکیل شده‌اند و قرن‌ها طول می‌کشد تا تجزیه شوند و این مواد زیست‌تخریب‌پذیر در نظر گرفته نمی‌شوند. در حالت دوم بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر مانند کاغذ یا سلولز

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

ساختارمولکولی ضعیفی دارند، بنابراین به سرعت تجزیه می‌شوند. پلیمرهای زیستی یا مواد بسته‌بندی مبتنی‌بر پلیمرهای‌زیستی بسته به منشا و روش آنها به سه گروه اصلی (شکل ۲) طبقه‌بندی می‌شوند.



شکل ۲- طبقه‌بندی پلیمرهای‌زیستی.(Shaikh et al. 2021).

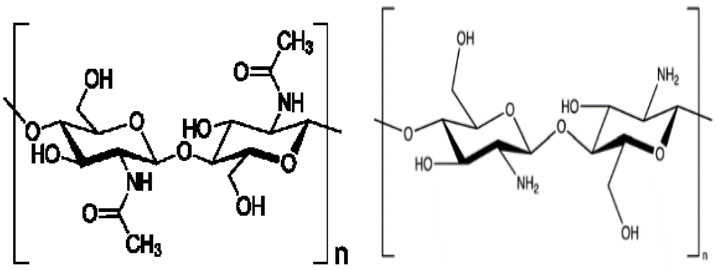
۱-۱- پلیمرهایی که مستقیماً از زیست‌توده یا مواد طبیعی استخراج و جدا شده‌اند.

۱-۱-۱- کیتین و کیتوزان

کیتین یک کوپلیمر خطی با پیوند بتا۱ به۴ از ان‌استیل‌گلوکزآمین است (شکل ۳). کیتین به‌طور عمده در پوسته حشرات، خرچنگ‌ها 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 می‌شود. حلالیت کیتین بسیار کم است به همین دلیل در بسته‌بندی باید با مواد دیگر ترکیب شود و به تنهایی نمی‌تواند برای بسته‌بندی مورد استفاده قرارگیرد. آنزیم کیتیناز کیتین را تجزیه می‌کند

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

(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 حلال های متوسط مانند اسید استیک رقیق شده نشان می‌دهد و چندین گروه آمین آزاد را به‌عنوان مکان‌های فعال ارائه می‌دهد. این باعث 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 لیزوزیم تجزیه می‌شود. نامحلول بودن آنها در بیشتر حلال‌ها کاربردهای کیتین و کیتوزان را محدود می‌کند (Toiserkani and Sadaghat, 2013).



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

از هر دو برای تولید لایه‌های زیست‌تخریب‌پذیر مختلف برای بسته‌بندی استفاده می‌شود و بیشتر به‌عنوان یک پوشش خوراکی برای افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات تازه استفاده می‌شوند (Zhao and McDaniel, 2005). کیتین و کیتوزان دارای خواص ضدمیکروبی مناسبی روی انواع قارچ‌ها، مخمرها و باکتری‌های موجود در غذا هستند. چن و همکاران فعالیت ضد میکروبی ذاتی کیتوزان دی‌اسیله شده را در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی گزارش کردند (Chen et al. 1998). به‌تازگی 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 به‌طور کامل کمپوست‌پذیر و غیرسمی با پتانسیل خوب برای جایگزینی پلاستیک‌های معمولی است و به‌عنوان یک ماده‌غذایی توسط سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) تایید شده است. این دومین ترکیب آلی فراوان بعد از سلولز

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

است که می‌تواند 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 آلفا۱ به ۶ دگلوکوپیرانوزید و آمیلوزپلی آلفا۱ به ۴ دگلوکوپیرانوزید تشکیل شده است. به‌طور معمول نشاسته از گندم، برنج، سیب زمینی و ذرت استخراج می‌شود. یکی از منابع دیگر نشاسته مواد آلی زائد در تصفیه‌خانه زیستی ریزجلبک‌ها است (Kumari et al. 2022). با تغییرمنبع، محتوای آمیلوز و آمیلوپکتین تغییر می‌کند. افزایش طول و استحکام نشاسته با افزایش محتوای آمیلوز افزایش می‌یابد (Ratnayake et al. 2001). نشاسته از جمله پلی‌ساکاریدهای 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 نمی‌تواند به تنهایی فیلم مطلوبی تولید کند. خاصیت آب‌دوستی 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 می‌شود (Hosseini and Farzi, 2021). فیلم‌های بر پایه نشاسته خصوصیات فیزیکی مناسبی از خود نشان می دهند به‌طوری‌که این فیلم‌ها بدون بو، بدون مزه، فاقد رنگ و نفوذپذیر به اکسیژن هستند. نشاسته به علت دارا بودن ساختمانی ویژه و نیمه کریستالی، دمای انتقال شیشه‌ای آن بالاتر از دمای تخریبش بوده و بنابراین قابلیت ذوب و روان شدن را ندارد. در صنعت پلاستیک‌سازی خواص مکانیکی و فرآیندپذیری پلیمرهای نشاسته را بهبود می‌بخشند (Gross and Kalra, 2002). در صنعت نشاسته را با نرم‌کننده‌ها و پلیمرها دیگر مخلوط می‌کنند تا نشاسته خام به نشاسته ترموپلاستیک (thermoplastic starch: TPS) تبدیل شود (Angellier et al. 2006). علت نامگذاری TPS قابلیت فرآیندپذیری حرارتی توسط تمامی دستگاه‌های متداول در فرآیند ترموپلاستیک‌های مصنوعی همچون اکستروژن، قالب‌گیری تزریقی و بادی و فشاری آن است. در کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی از نشاسته ذرت به‌عنوان TPS استفاده می‌شود. این ماده به‌طور عمده در تولید کیسه‌های ذخیره‌سازی مواد غذایی و ظروف غذا کاربرد دارد. TPS به رطوبت بسیار حساس است و خواص حرارتی آن با محتوای آب تغییر می‌کند. نشاسته ترموپلاستیک به‌عنوان جایگزینی برای پلیمرهای مصنوعی عمل می‌کند. تجزیه زیستی TPS از طریق هیدرولیز پیوند استال انجام می‌شود. آمیلازها پیوند آلفا ۱ به ۴ را می‌شکنند و گلوکوزیدازها پیوند آلفا ۱ به ۶ را

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

جدا می‌کنند (Netravali and Chabba, 2003). یکی از اهداف تولید فیلم‌های خوراکی، کنترل انتقال رطوبت بین غذا و اتمسفر احاطه کننده‌ی 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 هیدروفیلیک فیلم های 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 حلال ها و سایر مواد شیمیایی است. علاوه‌بر این، زباله های 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 است که بیشتر در پژوهش‌های بسته‌بندی فعال استفاده می‌شود. پکتین را می توان 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 مبتنی‌بر پکتین می‌شوند، برجسته شده است (Westlake et al. 2023). بررسی Huang و همکاران در ۲۰۲۱ اصلاح بسته‌بندی مبتنی‌بر 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). فیلم های طبیعی آلژینات ذاتا ضد میکروبی و آبگریز هستند. خواص مکانیکی وحرارتی فیلم‌های آلژینات 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 مبتنی‌بر آلژینات 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

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

آلژینات به‌عنوان حامل مناسبی از مواد فعال محسوب می‌شوند. دانه‌های هیدروژل آلژینات در نگهداری و کنترل رهاسازی داروها و عوامل فعال کشاورزی نقش دارند (Shabkhiz et al. 2021).

۱-۱-۳- کلاژن و ژلاتین

کلاژن یک پروتئین بافت همبند است که از پلی‌پپتیدهای مختلف شامل هیدروکسی‌پرولین، پرولین، گلایسین و لیزین تشکیل شده است. گلایسین مسئول انعطاف‌پذیری کلاژن است (Gelse et al. 2003). کلاژن در فیلم‌های سلولزی و پلی وینیل الکل (PVA) گنجانده می‌شود. کلاژن در اثر تجزیه شیمیایی به ژلاتین تبدیل می‌شود. ژلاتین پلی‌پپتیدی 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 نرم‌کننده‌ها استفاده شده به میزان زیادی برخاصیت مکانیکی فیلم خوراکی تأثیر می‌گذارد (Gómez-Guillén et al. 2009). پایداری‌حرارتی کم ژلاتین در طول فرآیند کاربردهای آن را محدود می‌کند. برای بهبود یا اصلاح خواص مکانیکی و بازدارنده فیلم از افزودنی‌های مختلفی در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود.

۱-۱-۴- گلوتن گندم و سویا و زئین

گلوتن گندم قیمت پایینی دارد و محصول فرعی تولید نشاسته است. سرعت تجزیه آن در مقایسه با سایر پلیمرها بدون هیچگونه محصول مضری بالاتر است. گلوتن برای تشکیل فیلم عالی است ولی برای جلوگیری از شکنندگی آن باید از نرم‌کننده استفاده کرد. پروتئین کنسانتره سویا کربوهیدرات‌های محلول در آب ندارد. به همین جهت پروتئین کنسانتره را با دادن مقداری بافت به پروتئین گیاهی بافت‌دار (textured soy protein) تبدیل می‌کنند. فیلم‌های TSP به دلیل ماهیت آبدوست پروتئین خواص مکانیکی خوبی ندارند. فیلم‌های پروتئین سویا جدا شده به رطوبت حساس هستند. افزودن ۲۵٪ اسید استئاریک باعث بهبود خواص حرارتی و کششی و کاهش حساسیت به رطوبت می‌شود (Lodha and Netravali, 2005). فیلم پروتئین سویا ترکیب شده با گلیسرول، صمغ ژلان یا کاپا کاراگینان برای تولید ظروف بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر مبتنی‌بر سویا استفاده شده است (Mohareb and Mittal, 2007).

زئین از ذرت استخراج می‌شود و تقریبا ۸۰٪ پروتئین گیاهی ذرت را تشکیل می‌دهد (Corradini et al. 2014). زئین یک بیوپلیمر فراوان است که برای تشکیل فیلم پلاستیکی قابل استفاده است. به‌عنوان مثال زئین با عامل فعال تیمول ترکیب شده است تا یک فیلم فعال خوراکی تولیدکند. الیاف الکتروریسی شده زئین نیز برای کپسوله‌سازی درفناوری بسته‌بندی فعال استفاده

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

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

۱-۲- پلیمرهای تولید شده توسط سنتز شیمیایی کلاسیک از بیومنومرها

۱-۲-۲- پلی لاکتیک اسید (PLA)

پلی‌لاکتیک‌اسید یک پلیمر ترموپلاستیک آلیفاتیک خطی است که می‌تواند ۱۰۰٪ از منابع تجدیدپذیر مانند ذرت تولید شود. پلی لاکتیک اسید از پلیمریزاسیون حلقه بازکننده مونومر لاکتید به دست می‌آید. مونومرهای اسید لاکتیک به‌طور معمول از تخمیر مواد تجدیدپذیر مانند ذرت و شکر به دست می‌آیند. پلی‌لاکتیک اسید قابلیت بازیافت، کمپوست‌پذیری، زمان تجزیه کوتاه، وزن مولکولی، شفافیت، آب گریزی و استحکام کششی بالا (Singla and Mehta, 2012)، انعطاف‌پذیری و پایداری کم و دمای تغییر شکل حرارتی پایین دارد (Zhao et al. 2020; Omerović et al. 2021). فیلم‌های تک لایه یا فیلم‌های بسته‌بندی چند لایه را تشکیل می‌دهد (de Oliveiraet al. 2021). نکته مهم این است که فناوری تولید پلاستیک‌های معمولی برای PLA قابل استفاده است (Zhao et al. 2020). تجزیه زیستی PLA اغلب آهسته است ولی با این حال، تجزیه آنزیمی می‌تواند سرعت تجزیه زیستی را بهبود بخشد (Qi et al. 2017). با تغییر نسبت مونومر می‌توان خواص PLA را از کریستالی به آمورف تغییر داد. خطی بودن کریستال اولیه و محتوای مونومر سرعت تخریب پلیمر کامل را تغییر می‌دهد که در آن کمترین تخریب توسط بالاترین محتوای مونومر به دلیل ماهیت کریستالی بالا نشان داده می‌شود (Kale et al. 2006).

۱-۲-۲- پلی کاپرولاکتون (PCL)

پلی‌کاپرولاکتون (PCL) یک بیوپلیمر ترموپلاستیک است که از نفت خام سنتز می‌شود PCL اغلب با نشاسته مخلوط می‌شود تا هزینه‌ها و استفاده از مواد اولیه را کاهش دهد. PCL یک پلیمر نیمه کریستالی، کاملا زیست‌تخریب‌پذیر، با فرآیند تولید آسان و ارزان قیمت است. این ماده در بسیاری از حلال‌های آلی و معدنی محلول است و دمای انتقال شیشه‌ای ۶۰- درجه سلسیوس دارد. یکی از که کاربردهای آن افزایش سختی پلی اورتان (polyurethane) افزایش می‌دهد. افزودن PCL به پلیمر کیتوزان آب‌دوست، آب گریزی کلی مخلوط را افزایش می‌دهد. سرعت انتقال بخار آب (WVTR) کمتر در ترکیب نسبت به فیلم‌های خالص کیتوزان مشاهده شد. با توجه به این خاصیت، موادغذایی نگهداری شده در چنین فیلم‌هایی ماندگاری طولانی‌تری دارند (Sarasam et al. 2006).

۱-۲-۳- پلی بوتیلن سوکسینات (PBS)

سوکسینات‌های پلی‌بوتیلن متعلق به خانواده پلی‌آلکندی کربوکسیلات هستند و از پلی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

گلیکول‌هایی مانند ۱و ۴ - بوتان دیول و اتیلن‌گلیکول با اسیدهای‌دی‌کربوکسیلیک آلیفاتیک مانند اسیدآدیپیک و سوکسینیک به دست می‌آیند. این یک پلیمر کریستالی سفید رنگ با فرآیندپذیری خوب و نقطه ذوب ۹۰-۱۲۰ درجه سلسیوس با ۳۳۰ درصد افزایش طول در نقطه شکست است. PBS دارای خواص مکانیکی تقریباً مانند پلی‌اتیلن (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 پلی‌بوتیلن سوکسینات-کو-آدیپات (PBSA) که از ترکیب اسید آدیپیک در یک غلظت خاص به دست می‌آید، تهیه شده‌اند. ماهیت دیول‌ها و دی‌اسیدهای مورد استفاده بر خواص و سرعت تخریب این پلیمرها تأثیر می‌گذارد (Wang et al. 2007).

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

CPLA از مخلوط لاکتید و اسیددی‌کربوکسیلیک تشکیل می‌شود. 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 CO_2 تولیدشده در طول احتراق در مقایسه با PE و PP بسیار کمتر است. هیچ ماده سمی در طی سوزاندن CPLA تولید نمی‌شود. پس از ۲ هفته مخلوط شدن با غذا شروع به تجزیه شدن می‌کند. در یک محیط طبیعی، تخریب ۵ تا ۶ ماه طول می‌کشد وبا گذشت ۱۲ ماه به‌طور کامل تجزیه می‌شود (Siracusa et al. 2008).

۱-۲-۵- پلی گلیکولید (PGA)

یکی ازساده ترین پلی‌استرهای‌آلیفاتیک با دمای انتقال شیشه ای ۳۵تا۴۰ درجه سلسیوس و نقطه ذوب تقریباً۲۲۰تا۲۵۰ درجه سلسیوس است. به دلیل کریستالی بالای ۴۰ تا ۵۵ درصد در آب نامحلول است و در اکثر حلال‌های فلوئوردار حل می‌شود که می‌توانند برای تشکیل فیلم‌های پلیمری با وزن مولکولی بالا استفاده شود. پلیمر پلی‌گلیکولید در عرض ۵ تا ۶ ماه به‌طور کامل توسط میکروارگانیسم‌های خاک تجزیه می‌شود (Tiberiu et al. 2011).

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

PBAT یک کوپلی استر معطر خطی است که از تراکم ۱و۴- بوتاندیول با مخلوطی از اسید ترفتالیک و اسید آدیپیک به دست می‌آید. در غلظت اسید ترفتالیک بیش از ۳۵٪ مول، خواص بسیار خوبی از خود نشان می‌دهد. با افزایش محتوای بالای ۵۵٪ میزان تجزیه زیستی PBAT کاهش می‌یابد. PBAT مانند PCL انعطاف‌پذیر و نرم است، بنابراین در تولید فیلم‌ها، رشته‌ها، بطری‌ها و محصولات قالب‌گیری شده استفاده می‌شود. PBAT را می‌توان با سلولز، نشاسته و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

سایر پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر مخلوط کرد. برای بهبود خواص آبگریزی، مکانیکی و حرارتی PBAT با سلولز مخلوط می‌شود. افزودن PBAT در پلی هیدروکسی بوتیرات والرات (PHBV) درجه بلورینگی را کاهش می‌دهد (Javadi et al. 2010).

۱-۲-۷- پلی وینیل الکل(PVA)

PVA یک پلیمر نیمه کریستالی است که به‌طور عمده شامل فاز آمورف با مقدار کمی بلورینگی است و بسته به درجه هیدرولیز پلی وینیل استات از واحدهای۱، ۳ دیول یا ۱، ۲دیولی تشکیل شده است. خواص PVA به‌طور کلی به وزن مولکولی و درجه هیدرولیز آن بستگی دارد و وزن مولکولی PVA به‌طور معمول بین ۲۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰۰ دالتون متغیر است و بر اساس طول وینیل استات مورد استفاده برای تولید PVA درجه هیدرولیز به‌طور معمول در محدود ۸۰-۹۹٪ است (Abdullah et al. 2017). PVA دارویی دارای سمیت کم، دوستدار محیط زیست، پایداری فیزیکوشیمیایی، ایمنی بالا است و به‌طور گسترده در داروسازی استفاده می‌شود (Erfani et al. 2023).

۱-۲-۸- کربنات پلی پروپیلن (PPC)

PPC رایج ترین پلی کربنات آلیفاتیک است که از دی‌اکسیدکربن و کربنات پروپیلن توسط کوپلیمریزاسیون تولید می‌شود. فیلم‌های PPC در مقایسه با ترکیب PBAT، LDPE و مخلوط PE/نشاسته، دارای مزایایی از جمله خواص کششی و عایق بهتر نسبت به نفوذ بخار آب و اکسیژن هستند. مقاومت به پارگی فیلم‌های PPC کمتر از PBAT است. با اینحال، PPC آمورف دارای چندین محدودیت از جمله پایداری حرارتی ضعیف، انقباض زیاد، خواص مکانیکی ضعیف، دمای انتقال شیشه‌ای 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- پلیمرهای به‌دست آمده از موجودات طبیعی یا اصلاح شده ژنتیکی

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

جزء جدیدترین و پرکاربردترین پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر برای کاربردهای بسته‌بندی موادغذایی هستند. PHA پلی استرهای طبیعی هستند که توسط تخمیر باکتریایی لجن تصفیه فاضلاب شهری، گلوکز و مواد اولیه روغن نباتی تولید می‌شوند (Zhao et al. 2020; Morgan et al. 2014). باکتری‌ها PHA را به‌عنوان یک ماده ذخیره درون سلولی انباشته می‌کنند. 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

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

بسته‌بندی موادغذایی مناسب است. دمای ذوب PHA بسته به مونومرهای مورد استفاده برای سنتز بین ۴۰ تا ۱۸۰درجه 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 زئین یک فیلم با ویژگی ممانعت‌کنندگی خوب، افزایش در ضریب نفوذ بخار آب و ضریب نفوذ اکسیژن ایجاد می‌کند (Fabra et al. 2014). PHA به‌طور کامل زیست‌تخریب‌پذیر است. تجزیه زیستی از طریق فعالیت استراز و شکستن پیوند مونومر از انتهای زنجیره اتفاق می‌افتد. رایج‌ترین PHA پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB) است که از پلیمریزاسیون ۳-هیدروکسی بوتیرات تشکیل می‌شود. PHB دارای بلورینگی بیش از ۵۰٪ است. برای افزایش شرایط فرآیندپذیری، راهکارهای مختلفی مانند کوپلیمریزاسیون با سایر آلکانوات‌ها، افزودن پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر یا اختلاط با پلیمر دوم انجام می‌شود. مسیرهای مختلف پلیمرهای ساختاری متفاوتی تولید می‌کنند. PHB در شرایط محیطی مختلف توسط باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌های مختلف تخریب می‌شود. تجزیه هیدرولیتیک ۳-هیدروکسی بوتیریک اسید را با سرعت کم تشکیل می‌دهد. کوپلیمر پلی هیدروکسی بوتیرات والرات (PHBV) با افزودن اسید پروپیونیک به مواد اولیه سنتز می‌شود. در مدت ۵ تا ۶ هفته در یک محیط فعال میکروبیولوژیکی تجزیه می‌شود و در شرایط هوازی به دی اکسیدکربن وآب ختم می‌شود. با تولید متان در شرایط بی هوازی، تخریب سریعتر است (Kim et al. 2000).

۲- ظروف یکبار مصرف زیست‌تخریب‌پذیر فعال

بسته‌بندی 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 می‌شود (Labuza et al. 1989). بسته‌بندی فعال یک مفهوم نوآورانه است و به‌عنوان یک حالت بسته‌بندی تعریف می‌شود که در آن محصول و محیط با هم تعامل دارند تا عمر مفید را طولانی‌تر 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 بسته‌بندی فعال بر اساس (EC)

همانطوری‌که در مقررات اروپایی (EC) شماره ۲۰۰۹/۴۵۰ تعریف شده‌است، سیستم‌های بسته‌بندی‌فعال به گونه‌ای طراحی شده‌اند که موادی را به داخل بسته‌بندی یا از محیط اطراف بسته آزاد یا جذب کند. بسته‌بندی فعال به منظور افزایش ماندگاری یا بهبود وضعیت مواد غذایی بسته‌بندی شده استفاده می‌شود. می‌توان در تولید

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

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- انواع روش‌های بسته‌بندی فعال

۲-۲-۱- جاذب‌ها

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

۲-۲-۱-۱- جاذب اکسیژن: به‌عنوان یک روش تکمیلی در بسته‌بندی‌های تحت خلاء یا اتمسفر اصلاح شده کاربرد دارد و اکسیژنی که از منافذ بسته‌بندی وارد شده یا توسط ماده‌غذایی 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.

۲-۲-۱-۲- جاذب دی اکسید 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 وگیاهی 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 وطعم نامطبوع مانند آمین‌های حاصل از تجزیه پروتئین‌های عضله ماهی وآلدهیدهای 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

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

است که می‌تواند با جاذب‌های طعم و بو بر طرف شود.

۲-۲-۲- انتشاردهنده‌ها

۲-۲-۲-۱- انتشاردهنده‌های دی‌اکسیدکربن: دی‌اکسیدکربن فعالیت میکروبی را سرکوب می‌کند. سطوح نسبتاً بالای دی اکسید کربن بین ۶۰ تا ۸۰٪ رشد میکروبی روی سطوح را مهار می‌کند و به نوبه خود، ماندگاری موادغذایی بسته‌بندی شده را طولانی‌تر می‌کند. بنابراین، یک رویکرد تکمیلی برای مهار اکسیژن، آغشته کردن ساختار بسته‌بندی به یک سیستم تولید دی اکسیدکربن یا اضافه کردن آن به شکل یک کیسه است (Ha et al. 2001). از آنجایی‌که در اکثر فیلم‌های پلاستیکی نفوذپذیری به دی‌اکسیدکربن تا ۵ برابر بیشتر از اکسیژن است، باید به‌طور مداوم تولید شود تا غلظت مورد نظر در بسته حفظ شود.

۲-۲-۲-۲- انتشاردهنده‌های طعم: افزودن اسانس‌ها و بوها می‌تواند مطلوبیت غذا را برای مصرف‌کننده افزایش دهد، عطر وطعم محصول را بهبود بخشد. این طعم‌ها و عطرها به آرامی و به‌طور یکنواخت در محصول بسته‌بندی شده منتشر می‌شوند یا می‌توان آن‌ها را به گونه‌ای طراحی کرد که درهنگام بازکردن بسته‌بندی یا آماده‌سازی غذا، عطر و طعم محصول منتشرشود (Prasad et al. 2014). انتشار تدریجی می‌تواند از دست دادن طعم یا بوی محصولات با مدت زمان نگهداری زیاد، را جبران کند (Almenar et al. 2009).

۲-۲-۳- ضد میکروبی‌ها

آلودگی میکروبی ناشی از باکتری‌های بیماری زا یا فساد موادغذایی در طول فرآیند نامناسب یا زمانی‌که یکپارچگی فضا به دلیل پارگی، سوراخ، فرورفتگی بسته‌بندی موادغذایی ایجاد می‌شود، رخ می‌دهد (Cutter et al. 2002). بسته‌بندی ضد میکروبی شامل افزودن مواد ضد میکروبی در یک کیسه متصل به بسته که از آن کیسه ماده ضد میکروبی در طول نگهداری آزاد می‌شود یا پراکندگی عوامل ضد میکروبی در پلیمرهای بسته‌بندی و یا پوشش‌دادن عوامل ضد میکروبی بر روی سطح مواد بسته‌بندی است (Véronique et al. 2008). مکانیسم اثر آنها انتشار آهسته و مهاجرت در فضای بسته‌بندی شده یا به محصول غذایی در طول ذخیره‌سازی و توزیع است. بنابراین، آلودگی را میتوان محدود کرد و رشد میکروبی را مهار کرد. علاوه‌بر ایفای نقش کلیدی در نگهداری، ترکیب این مواد در لایه‌ها می‌تواند 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 بسته‌بندی فعال می تواند باعث کاهش رشد و

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

گسترش فساد و میکروارگانیسم‌های بیماری زا شود.

۲-۲-۳- 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 ماده‌غذایی 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 وکاهش 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 کندکردن واکنش‌های اکسیداسیونی که بر کیفیت غذا تأثیر می‌گذارد، کاربرد دارد (de Abreu et al. 2011).

۲-۲-۵-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 موادغذایی 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 به‌عنوان سیستمی تعریف می‌شود که نه تنها می‌تواند به‌عنوان یک مانع عمل کند، بلکه با برقراری ارتباط مطلوب با مواد غذایی از مواد غذایی محافظت می‌کند (Yorghanlu et al. 2022).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

با توجه به اهمیت زیست‌تخریب‌پذیری پلیمرهای مورد استفاده در بسته‌بندی و مزایای گسترده بسته‌بندی فعال، بهترین روش استفاده از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر در مقایسه با پلیمرهای زیست‌تخریب‌ناپذیر در بسته‌بندی‌های فعال است. پلیمرهای اصلی مورد استفاده در توسعه بسته‌بندی فعال (AP) بر اساس منبع آنها بر پایه نفت یا پایه زیستی و ظرفیت تجزیه زیستی آنها طبقه‌بندی می‌شود. پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر مبتنی‌بر زیست‌توده (بیومس) امیدوارکننده‌ترین مواد برای تحقق اهداف زیست محیطی نسبت به پلاستیک‌های معمولی هستند و بیوپلیمرهای خاص، با پتانسیل بالا دراین دسته برای توسعه بیشتر مورد بحث قرار می‌گیرند.

۲-۳-۱- پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر مبتنی‌بر نفت

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

۲-۳-۲- پلیمرهای زیست‌تخریب‌ناپذیر مبتنی‌بر زیست

پلی‌اتیلن‌زیستی (bio-PE)، پلی‌پروپیلن‌زیستی (bio-PP)، پلی‌آمید زیستی(bio-PA)، بیوپلی‌تری‌متیلن‌ترفتالات (bio-PTT) و بیو پلی‌اتیلن‌ترفتالات (bio-PET)

۲-۳-۳- پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر مبتنی‌بر زیست

هیدروکسی بوتیرات (PHB) و پلی‌لاکتیک کوگلیکولیک اسید (PLGA)

بیوپلیمرهای پلی‌لاکتیک‌اسید (PLA) و پلی‌گلیکولید (PGA) نیز به‌طور گسترده برای کاربردهای AP گزارش شده است. بیوپلیمرهای سازنده فیلم سازگار با موادغذایی شامل آلژینات، سلولز، کیتوزان، پکتین، نشاسته، آگار، دکستران، کازئین، پروتئین آب‌پنیر و کاراگینان هستند. پلی‌ساکاریدهای آلژینات و آگار از جلبک دریایی استخراج می‌شوند. این پلیمرهای زیستی خواص مکانیکی خوبی از جمله استحکام کششی بالا و افزایش مقاومت در برابر شکست را دارند (Carina et al. 2021).

۳- طبقه‌بندی انواع ظروف یکبار مصرف بر اساس جنس

۳-۱- ظروف یکبار مصرف پلاستیکی

پرمصرف‌ترین ظروف یکبار مصرف به شمار می‌آید. این ظروف نرم اما مقاوم در برابر شکستن هستند. همچنین در برخورد با موادغذایی داغ ترکیبی آزاد نمی‌کنند. این ظروف پلیمری براساس نوع پلیمرو فراوانی به موارد زیر تقسیم می‌شوند:

- ظروف پلی‌استایرن (PS)

ظروف پلی‌استایرنی خود به گروه های HIPS (high impact polystyrene) و GPPS (general purpose polystyrene) تقسیم می‌شوند.

- ظروف پلی‌پروپیلن (PP)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

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

- ظروف پلی‌وینیل‌کلراید (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 وشامل 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 تجزیه‌پذیر هستند. درتولید ظروف یکبار مصرف کاغذی تقریبا 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 پلی‌استایرنی 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 معمولا نسبت به ظروف یکبار مصرف کاغذی ارجح شناخته می‌شوند.

۴- معایب و مزایای استفاده از ظروف یکبار مصرف زیست‌تخریب‌پذیر

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 زیست‌تخریب‌پذیر عاری بودن آنها از مواد سمی و مفید بودن برای

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

محیط زیست است. سایر مزایا از جمله قابلیت استفاده مجدد، بازیافت، صرفه‌جویی در هزینه (آب، محصولات شوینده، تولید و بسته‌بندی) و زمان است. بعد از مصرف ظروف از زباله های بسته‌بندی به‌عنوان کمپوست استفاده می‌شود. کمپوست موادمغذی را به خاک اضافه می‌کند و به تقویت تولید موادغذایی وکشاورزی کمک می‌کند. ظروف قابل کمپوست تایید شده مانند TIPA، برای تجزیه‌زیستی تحت شرایط تنظیم شده در یک دوره زمانی استاندارد طراحی شده است. بسته‌بندی‌هایی که به‌عنوان زیست‌تخریب‌پذیر تأیید شده‌اند، به‌طور معمول ظرف یک سال در سطل‌های کمپوست خانگی و در عرض ۳ تا ۶ ماه در محیط‌های کمپوست صنعتی تجزیه می‌شوند. مصرف این ظروف راه حلی ایمن و سالم برای انواع محصولات غذایی ارائه می‌دهد. همچنین مصرف این ظروف در رستوران‌ها یک روش بهداشتی و ایمن برای اطمینان از عدم تماس ظروف با ویروس است؛ زیرا پس از اتمام غذا توسط مشتری دور ریخته می‌شود. جهت طراحی متفاوت وخلاقانه می‌توان نوع مواد، شکل بشقاب‌ها و لیوان‌ها 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 به‌طور گسترده‌تری به‌عنوان جایگزینی برای پلاستیک‌های 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 زیست‌تخریب‌پذیر با قابلیت‌های قابل مقایسه با پلاستیک‌های سنتی مبتنی‌بر پتروشیمی برای کاربردهای بسته‌بندی توسعه یافته‌اند. دفع مواد بسته‌بندی با توجه به تمرکز محیط زیست بر تولید و مدیریت زباله به‌عنوان یکی از جنبه‌های زیست محیطی مهم جامعه امروزی شناخته می‌شود. بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر برخلاف بسته بندی های پلاستیکی نیاز به مدیریت زباله و استفاده از روش‌های مختلف برای بازیافت ندارند. مواد زیست‌تخریب‌پذیر با هضم بی هوازی یا کمپوست سبب کاش دفن زباله‌ها می‌شوند (Song et al. 2009).

۵- کاربردهای پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر

می‌توان آنها را با استفاده از فناوری‌هایی که به‌طور گسترده در صنعت پلیمر استفاده می‌شود مانند قالب‌گیری، ترکیب و فرآیند فیلم تولید کرد. آنها در بسیاری از کاربردهای کوتاه مدت جایی که تجزیه‌پذیری‌زیستی یک مزیت است از جمله بسته‌بندی لوازم برقی، صنعتی، کشاورزی و در بسته‌بندی مواد غذایی، ظروف غذاخوری، کارد، چنگال، زباله‌های باغی یا خانگی، مالچ کشاورزی و پوشک استفاده کرد. همچنین در کاربردهای

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

بادوام‌تر 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 موادغذایی در دمای اتاق، یخچال یا فریزر استفاده می‌شود. 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 دیگرکاربردهای بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر فعال بر اساس بیوپلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر می‌توان به غشاهای فیلتراسیون آب اشاره کرد. برای غشاهای تصفیه، یک فیلم بیوپلاستیک ضدمیکروبی از اتصال باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها جلوگیری می‌کند. همچنین از دیگر کاربردهای آن فیلم‌هایی مانند پوشش‌های زخم است. پوشش‌های زخم پزشکی با کمک این فناوری از عفونت‌ها جلوگیری می‌کنند (Westlake et al. 2023). در همه موارد، جزء فعال بسته‌بندی برای بهینه سازی عملکرد مورد نظرحیاتی است. ویژگی های ظروف یکبار مصرف در نگهداری مواد غذایی شامل ۱-غیر قابل نفوذ هوا باشد، ۲- قابلیت واکنش با موادغذایی داخل ظرف را نداشته باشد، ۳- تازگی و ماندگاری غذا را حفظ کند، ۴- حشرات و موش‌ها را از غذا دور کند، ۵- ذخیره‌سازی در انبار را بهینه کند، ۶- به دلیل شفافیت ظروف و برچسب‌هایی که به پیدا کردن سریعتر موادغذایی کمک می‌کند؛ شناسایی موادغذایی را آسانتر می‌کند، ۷- پارامترهای فیزیکی و مکانیکی این محصولات مانند استحکام خمشی و مقاومت در برابر نشت یا دمای متغیرمطلوب باشد، ۸- ایمنی زیستی و شیمیایی مواد موجود در ترکیب آنها رعایت شود (Buxoo et al. 2020). تولید، بسته‌بندی 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 می‌کند که توسط مصرف‌کنندگان غیرقابل قبول هستند یا اجازه تولید اقلام به صورت سه‌بعدی را نمی‌دهند (Buxoo et al. 2020).

۶- نکات ایمنی مورد توجه در ساخت ظروف یکبار مصرف

از آنجایی‌که موادخوراکی در تماس با این ظروف هستند بایدظروف از نظر میکروبی ایمن باشند. تولید از ضایعات کشاورزی خطر ورود میکروارگانیسم‌های مختلف را به همراه دارد. میکروارگانیسم‌ها ممکن است طی فرآوری در دمای بالای تولید دوام بیاورند. بنابراین، چنین محصولاتی باید مانند موادغذایی، مطابق با

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

استانداردهای قابل اجرا آزمایش شوند. هر گونه آلودگی باکتریایی به ویژه انتروباکتریاسه، *استافیلوکوکوس اورئوس*، مخمر و کپک باید شناسایی شود. رطوبت، گرما و میکروارگانیسم‌ها نگرانی‌های اصلی هستند که انبار و حمل و نقل طولانی‌مدت ظروف حاوی مواد خوراکی را دشوار می‌کند و باید از بسته‌بندی‌های اضافی به‌طور معمول برای نگهداری آنها استفاده شود. به منظور افزایش سفتی فنجان‌ها یا بشقاب‌ها از روکش‌های اضافی استفاده می شود. این مواد همیشه برای سلامت انسان ایمن نیستند. مشکل پوشش‌های خوراکی تا حد زیادی به بسته‌بندی خوراکی مربوط می‌شود. آنها لایه‌های نازکی هستند که پوششی بر روی محصول ایجاد می‌کنند که می‌تواند به‌عنوان فیلم جداکننده موادغذایی نیز استفاده شود. اغلب، چنین محصولاتی از پلیمرهای طبیعی، به‌طور عمده پلی‌ساکاریدها و همچنین پروتئین های گیاهی و حیوانی ساخته می‌شوند. مزیت بسته‌بندی خوراکی این است که می‌توان آن را همراه با محصول بسته‌بندی شده مصرف کرد و دوستدار محیط زیست است (Regalado et al. 2006).

در صنایع غذایی از روکش‌های خوراکی در فرآوری گوشت، ماهی، میوه، سبزیجات و لبنیات استفاده می‌شود.

۷- زیست‌تخریب‌پذیری

زیست‌تخریب‌پذیر موادی هستند که به‌طور طبیعی تخریب یا تجزیه می‌شوند. مواد غیرقابل تجزیه زیستی مواردی هستند که به راحتی تخریب نمی‌شوند. ترکیبات زیست‌تخریب‌پذیر مانند ضایعات گیاهان و حیوانات، میوه‌ها، کاغذ و سبزیجات به واحدهای ساده‌تری تبدیل می‌شوند. مواد زیست‌تخریب‌پذیر به‌عنوان کود، بیوگاز و کود کمپوست استفاده می‌شوند. این مواد غیرسمی، غیرآلاینده و سازگار با محیط زیست هستند. پس از مصرف ظروف یکبار مصرف زیست‌تخریب‌پذیر پلیمرهای موجود در آن باید به‌طور صحیح و با مدیریت مناسب بازیافت شوند. پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر (biodegradable polymers: BDPs) یا پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر، گزینه بالقوه‌ای را برای تصفیه زباله از طریق کمپوست به‌عنوان راهی برای بازیابی مواد و تولید محصول مفید فراهم می‌کنند (Song et al. 2009). محصولات کمپوست‌پذیر برای تجزیه نیاز به تنظیمات خاصی دارند. به‌طور معمول، کمپوست کردن یک فرآیند سریعتر است، اما فقط در شرایط مناسب از جمله دمای و رطوبت بالا، شرایط هوازی و حضور میکروارگانیسم‌ها انجام می‌شود. روش‌های آزمایش کمپوست‌پذیری یک ماده درصنعت شامل آزمایش‌های تجزیه‌زیستی(ISO 14855)، تست‌های تجزیه (ISO 16929)، آزمایش‌های سمیت زیست محیطی و آزمایش‌های

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

فلـزات سـنگین اسـت (Ghosh et al. 2021). حداکثر دوره آزمایش برای کمپوست ۱۸۰روز، در محدوده دمایی مشخص شده است (Narancic et al. 2018).

کمپوسـت مـواد غنـی از موادمغـذی را فـراهم می‌کند در حالی‌کـه دفـن زبالـه دی‌اکسـیدکربن و متـــان را آزاد می‌کنـــد؛ بنـــابراین جـــایگزینی پلاسـتیک‌های معمـولی بـا پلاسـتیک‌های قابـل کمپوست، بسیار سودمند است. پلاستیک‌های قابل کمپوست ساخته شده از مـواد گیـاهی بـر خـلاف پلاستیک های معمولی که درصـورت آلـودگی بـا موادغذایی غیرقابـل بازیافـت می‌شـوند، همچنـان قابل کمپوسـت بـاقی می‌ماننـد (Westlake et al. 2023). وجود یا عدم وجود میکروارگانیسـم‌ها در محیط تخریب تأثیر زیادی بر کمپوسـت‌پذیری یـا تجزیه‌پذیری یک پلیمـر زیسـتی دارد. روش‌هـای تخریـب مـدیریت شـده (تاسیسـات صـنعتی) و مدیریت نشده (محیط‌های طبیعی، خاک، آب، دفن زباله، کمپوست) اغلب نتایج مشخصی را به دلیـل شـرایط محیطـی مختلـف ماننـد قـرار گـرفتن در معرض نور UV و وجود یا عدم وجـود اکسـیژن، به همـراه دارنـد (Ghosh et al. 2021). جـدول ۱ مقالات منتشر شده بر روی ظروف ساخته شده از ضایعات صنعت کشاورزی و غذایی را نشـان مـی دهد.

جدول۱-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 موادغذایی استفاده کرده است.	توسعه فیلم های 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 *Areca catechu* L.، درخت سال *Shorea robusta Gaertn*، خزنده مالو *Bauhinia vahlii Villar*، موز *Musa acuminata Colla* و محصولات جانبی درخت نارگیل *Cocos nucifera* L. همچنین ممکن است به‌عنوان مواد خام برای تهیه ظروف آماده زیست‌تخریب‌پذیر استفاده شود.	مطالعه، طراحی، تجزیه و تحلیل جایگزین های پایدار برای کارد و چنگال و ظروف غذاخوری پلاستیکی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

(Dybka-Stępień et al. 2021).	قاشق‌های خوراکی از جنس شکر نیشکرتوسط شرکت Candy Cutlery تولید شده است. آنها به صورت ساده و همچنین در طعم‌های قهوه، وانیل، توت فرنگی و نعناع در دسترس هستند. این شرکت لیوان‌های شیشه‌ای ساخته شده از شکر را ارائه کرد که در سراسر کانادا محبوبیت پیدا کرده است.	بسته‌بندی مواد غذایی یکبار مصرف و مواد سرو و روندها و زیست‌تخریب‌پذیری
(Evoware et al. 2021; Loliware et al. 2021).	یکی دیگر از زیرمجموعه‌های خوراکی محصولاتی است که منشا جلبک دریایی دارند. فنجان‌های رنگی خوراکی ساخته شده از جلبک دریایی با زمان تخمینی ۳۰ روز تجزیه زیستی، معروف به فنجان‌های Ello Jello، توسط Evowareتولید شده است. نی‌های مبتنی‌بر جلبک دریایی توسط Loliware تولید می‌شوند.	بسته‌بندی بر پایه جلبک دریایی
(Lionetto et al. 2021).	خواص خوب تشکیل فیلم، کم هزینه، زیست سازگاری و زیست‌تخریب‌پذیری، ژلاتین ماهی به‌تازگی برای تهیه فیلم‌های زیست‌تخریب پذیر در بسته‌بندی موادغذایی فعال، جایگزین پلیمرهای غیرقابل تجزیه معمولی شده است و همچنین استخراج بیوپلیمرهای کیتوزان، کلاژن از ضایعات ماهی و استفاده در صنعت بسته‌بندی موادغذایی	کاربردهای اخیر بیوپلیمرهای مشتق شده از ضایعات صنعت ماهی در بسته‌بندی مواد غذایی
(Ma et al. 2023).	سلولزی که از ضایعات لیگنوسلولزی استخراج می‌شود، فراوان و غیرسمی است که می‌تواند به‌عنوان یک ماده بسته‌بندی مواد غذایی تجدیدپذیر استفاده شود. بقایای کشاورزی مانند کاه، تفاله نیشکر و بامبو را می‌توان خمیر کرد، فرآوری کرد و به‌عنوان ماده اولیه برای محصولات در برنامه بسته‌بندی و تحویل غذا استفاده کرد.	از ضایعات سلولزی کشاورزی تا بسته‌بندی تحویل مواد غذایی؛ یک بررسی کوچک
(Dilucia et al. 2020).	بسته‌بندی تهیه شده با استفاده از محصولات جانبی حاصل از ضایعات فرآوری میوه و سبزیجات، جایگزین مناسبی برای کاهش هزینه تولید فیلم‌ها و پوشش های خوراکی و افزودن ارزش به محصولات جانبی غذایی است.علاوه‌بر این، به دلیل خواص بیولوژیکی شناخته شده خود یعنی فیبرهای غذایی (الیگوساکاریدها)، آنتی‌اکسیدان‌ها (پلی‌فنل‌ها و رنگدانه‌ها) و ضد میکروبی‌ها (روغن‌های اسانسی)، این اجزای باقی مانده می توانند عملکرد بسته‌بندی مواد غذایی را افزایش دهند.	استفاده پایدار از محصولات جانبی میوه و سبزیجات برای افزایش عملکرد بسته‌بندی مواد غذایی
(Wysocki et al. 2003).	علاقه به ظروف قابل تجزیه زیستی که از سبوس و سایر محصولات جانبی صنایع غذایی کشاورزی در جهان تولید می شود، خیلی زودتر رخ داده‌است. اولین اختراعات در آغاز قرن بیست و یکم ایجاد شد، اما در دهه گذشته بیشتر و بیشتر به ثبت رسیده است. مواد ترموپلاستیک مبتنی‌بر نشاسته با گرم کردن نشاسته حاوی آب تحت فشار در حضور افزودنی‌های روان‌کننده موجود در آن به دست می‌آیند. محصولات ساخته شده از این مواد با استفاده از فرآیند اکستروژن با استفاده از ابزار معمولی مشابه آنچه در تولید محصولات قالب‌گیری شده با اکستروژن پلاستیکی استفاده می‌شود، تولید می‌شوند.	مواد برای ساخت قالب های زیست‌تخریب‌پذیر از سبوس و روش های آن
(Bhagat et al. 2019).	ترکیبی از مواد برای استفاده در یک ابزار خوراکی مانند قاشق ارائه شده است. این ترکیب شامل آرد گلوتن دار و آرد فاقدگلوتن و یک مایع است. ابزار غذاخوری به شکل سه بعدی و خوراکی و زیست‌تخریب‌پذیر است.	ابزار غذاخوری و طرز تهیه

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

نتیجه‌گیری

ظروف یکبار مصرف زیست‌تخریب‌پذیر از پلیمرهای که به‌طور مستقیم از مواد طبیعی استخراج و جدا شده‌اند مثل کلاژن، نشاسته، گلوتن و سلولز یا از پلیمرهای که توسط سنتز شیمیایی از بیومنومرها از جمله پلی‌لاکتیک‌اسید و پلی‌کاپرولاکتون تولید شده یا پلیمرهای که از موجودات طبیعی یا اصلاح‌شده ژنتیکی مانند پلی‌هیدروکسی‌الکانوات‌ها ساخته شده اند. مقبولیت استفاده از پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر در کشاورزی و صنایع بسته‌بندی موادغذایی در حال افزایش است. پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر می‌توانند به صنایعی تبدیل شوند که به توسعه پایدار و تقویت اقتصاد سبز و کاهش گازهای گلخانه‌ای درمحیط‌زیست و کاهش زباله‌های رها شده در طبیعت کمک می‌کنند. زیست‌تخریب‌پذیری و فعالیت ضد میکروبی مواد بسته‌بندی موادغذایی از مهم‌ترین پارامترهای صنایع مدرن بسته‌بندی مواد غذایی به شمار می‌آیند. بنابراین توسعه روشی برای استفاده از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر در صنعت ساخت ظروف یکبار مصرف که همزمان خواص بسته‌بندی فعال را داشته باشند حائز اهمیت است.

فهرست منابع

References

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, Pełka 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.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

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-Stępień 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, Pirsa 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.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

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, Pugazhenthi 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.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

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 s1hrimp 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.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]

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 Pirsa[2]

1- Master's Student, Food Chemistry, Urmia University, Iran.
2- Professor, Department of Food Industry, Faculty of Agriculture, Urmia Universit, 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.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-16]