دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال یازدهم، شماره‌ی ۴۳
تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۳۹-۳۱

ارزیابی عملکرد فیلم‌های زیست‌تخریب پذیر در بسته‌بندی مواد غذایی

مهسا اکبری نژاد اقدم وایقان
گروه شیمی کاربردی، واحد اهر، دانشگاه آزاداسلامی، اهر، ایران

لیلا محمدپور ریحان
گروه شیمی کاربردی، واحد اهر، دانشگاه آزاداسلامی، اهر، ایران

زهره قاضی طباطبایی*
گروه شیمی کاربردی، واحد اهر، دانشگاه آزاداسلامی، اهر، ایران
Email: Zo.GT1355@iau.ac.ir

چکیده

پلاستیک‌های بر پایه نفت مشکلات جدی را برای محیط زیست ایجاد کرده‌اند و به همین دلیل محققین به دنبال تولید ساختارهای پایدار جایگزینی بوده‌اند. فیلم‌های خوراکی و قابل تجزیه نمونه‌ای از موادی بودند که برای این هدف تولید شدند و مورد استفاده قرار گرفتند. فیلم‌های خوراکی لایه‌های نازکی از مواد قابل خوردن هستند که می‌توانند روی مواد غذایی و یا بین آن قرار گیرند ولی یک پوشش خوراکی به طور عمده روی محصولات غذایی قرار می‌گیرد. چندین سال است که مطالعات زیادی در این زمینه انجام می‌شود ولی یک مطالعه مروری جامع در این زمینه وجود ندارد. مطالعه‌ی حاضر با هدف بررسی عملکرد فیلم‌های زیست‌تخریب پذیر در بسته‌بندی مواد غذایی انجام شد. مطالعات مختلف از مواد مختلفی همانند نشاسته، ژلاتین، سلولز و ..... برای تولید فیلم‌های زیستی استفاده کرده‌اند که در کنار مزایایی همانند قابلیت تجزیه، دارای معایبی مثل خصوصیات مکانیکی و ممانعتی ضعیف هستند. در این مطالعه به بررسی کارایی فیلم‌های زیست‌تخریب پذیر در بسته بندی مواد غذایی پرداخته می‌شود.

کلید واژه: فیلم، زیست تخریب پذیر، پایداری، محیط زیست.

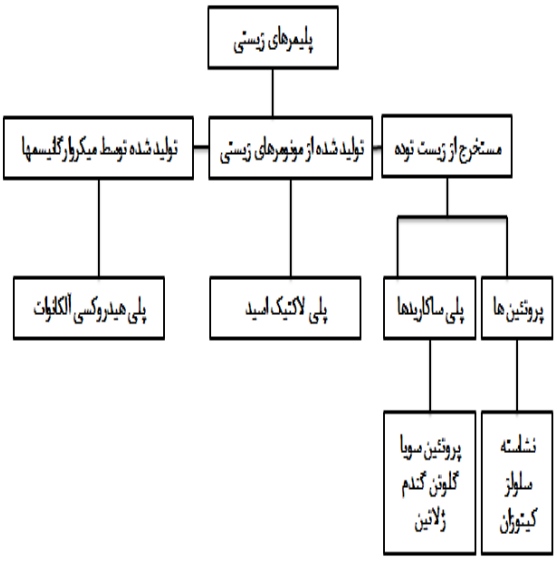
مقدمه

تولید جهانی پلاستیک از دهه ۱۹۵۰ رشد سریعی را تجربه کرده است و اخیراً حدود ۴۵۰ میلیون تن تولید سالانه را به خود اختصاص داده است. علیرغم راحتی و ارزش بالایی که پلاستیک به ارمغان می‌آورد، نگرانی‌های زیست محیطی آلودگی پلاستیک توجه جهانی را به خود جلب کرده است. گزارش شده است که بیش از ۳۴۰ میلیون تن زباله پلاستیکی در سطح جهان تولید شده است که حدود ۴۶ درصد از این ضایعات مربوط به بسته‌بندی است [۱]. نرخ بازیافت پلاستیک از صفر درصد در دهه ۱۹۸۰ به ۱۹/۵۰ درصد در پیش‌بینی‌های فعلی افزایش یافته است. بسته‌بندی‌های پلاستیکی به دلیل گزینش پذیری همراه با ایمنی و حفاظت در حمل و نقل و ذخیره سازی، ماندگاری و ثبات مواد غذایی را افزایش می‌دهند. پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر را با تجزیه/کمپوست می‌توان به‌عنوان جایگزین‌های عالی برای بسته‌بندی‌های زیست تخریب ناپذیر بکار برد [۲]. با وجود تلاش‌های زیاد محققین برای ترویج کاربرد پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر در بسته‌بندی، تعداد کمی از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر در بازار وجود دارد که بتواند تقاضای بالا برای بسته‌بندی مواد غذایی را در جامعه مدرن برآورده کند. این امر ناشی از چالش‌ها در به دست آوردن عملکرد در برابر اکسیژن یا بخارآب در سطوح قابل مقایسه با پلاستیک‌های سنتی بر پایه نفت یا ترکیبات آن-هاست که می‌تواند طراحی صنعتی بسته‌بندهای پایدار را برای نیازهای بازارهای آینده ارتقاء دهد [۳]. گزارشات سال ۲۰۱۸ نشان داده است که چین، اندونزی، مالزی، فیلیپین، تایلند و ویتنام حدود ۶۰ درصد از ۸ میلیون تن پلاستیک مصرفی جهان را تولید می‌کنند که هر سال وارد اقیانوس‌های جهانی می‌شود که بخش اعظمی از آن‌ها در محل‌های دفن زباله مدفون شده که تهدیدی برای محیط زیست است [۴]. با توجه به اثرات منفی و مخرب این پلاستیک‌ها برای محیط زیست و این‌که بخش اعظمی از این پلاستیک‌ها در زمینه‌ی صنایع غذایی و بسته بندی استفاده می‌شوند، نیاز بود موادی تهیه و تولید شوند که قابلیت تجزیه‌پذیری را داشته باشند. یکی از موادی که در این زمینه قابلیت استفاده را دارد، پلیمرهای زیست تخریب پذیر است. فناوری‌های جدید بسته‌بندی مواد غذایی در پاسخ به تقاضای مصرف کنندگان و تولید صنعتی محصولات تازه، خوشمزه با قابلیت حمل راحت و عمر نگهداری ایده‌آل در حال توسعه است. تغییر در شیوه‌های خرده فروشی و سبک زندگی مصرف‌کنندگان، چالش‌های عمده و جدیدی را برای صنعت بسته‌بندی مواد غذایی به وجود آورده است. ایده‌های جدید و نوآورانه در حوزه بسته بندی‌های فعال و هوشمند نقش مهمی را در افزایش عمر مفید و نگهداری، بهبود و نظارت بر کیفیت و ایمنی مواد غذایی ایفا می‌کنند. بسته‌بندی فعال نوعی بسته‌بندی است که با تغییر در شرایط بسته غذایی، عمر نگهداری محصول را افزایش و باعث بهبود کیفیت حسی و ایمنی می‌گردد [۵].

پلیمرهای زیست تخریب پذیر به دلیل سازگاری با محیط زیست، به عنوان یک موضوع مهم مورد توجه مباحث علمی و صنعتی بوده که به نفع اقتصاد بازار و تکرار خطرات زیست محیطی، مواد زیست تخریب پذیر باید نقش مهم‌تری در بسته بندی مواد داشته باشند، که در حال حاضر ۶۰ درصد از محصولات پلاستیکی را تشکیل می-دهند. با این حال، چالش‌های مختلفی برای پلیمرهای زیست تخریب پذیر به سمت کاربردهای بسته بندی عملی باقی می‌ماند. به ویژه مربوط به مسائل ضعیف سد گاز/ رطوبت است که کاربرد بسته‌بندی مواد غذایی پلیمرهای زیست تخریب پذیر فعلی را تا حد زیادی محدود می‌کند. پلیمرهای زیستی بصورت عمده در سه دسته عمده بر اساس منبع تولیدی آن‌ها، تقسیم می‌شوند (شکل ۱).

دسته‌ی اول شامل پلیمرهای تولید شده توسط فرآیندهای شیمیایی است که توسط یک فرآیند شیمیایی با استفاده از مونومرهای تجدیدپذیر تولید می‌شوند، از جمله‌ی این مواد می‌توان به پلی هیدروکسی آلکونات‌های تهیه شده

توسط مونومرهای تجزیه پذیر اشاره کرد که با کمک میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند و پلیمرها مستقیما از زیست توده‌ی گیاهی و یا حیوانی تولید می‌شوند [۶]. دیگر دسته‌های این پلیمرها در شکل ۱ نشان داده شده است. این مواد در صنعت بسته‌بندی به شکل قابل توجهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. چندین سال است که مطالعات زیادی در این زمینه انجام می‌شود ولی یک مطالعه مروری جامع در این زمینه وجود ندارد. مطالعه‌ی حاضر با هدف بررسی عملکرد فیلم‌های زیست‌تخریب پذیر دربسته بندی مواد غذایی انجام شد. مطالعات مختلف از مواد مختلفی همانند نشاسته، ژلاتین، سلولز و ..... برای تولید فیلم‌های زیستی استفاده کرده‌اند که در کنار مزایایی همانند قابلیت تجزیه، دارای معایبی همانند خصوصیات مکانیکی و حفاظتی و ممانعتی ضعیف هستند. در این مطالعه به بررسی کارایی فیلم‌های زیست‌تخریب پذیر دربسته بندی مواد غذایی پرداخته می‌شود.



شکل ۱: طبقات مختلف فیلم‌های زیستی مورد استفاده در بسته بندی مواد غذایی

- معرفی فیلم های زیست تخریب پذیر

فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر در ۳ دسته‌ی هیدروکلوئیدها، لیپیدها و کامپوزیت‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. هیدرو کلوئیدها، پلیمرهی آب‌دوستی هستند که دارای منشا طبیعی و سنتتیک هستند و به‌علت تعداد زیادی گروه هیدروکسیلی در آب یک ژل را تشکیل می‌دهند و توانایی تشکیل فیلم را دارند. لیپیدها مولکول‌های آب-گریزی هستند که شامل موم‌ها، آسیل گلیسرول‌ها و اسیدهای چرب هستند. کامپوزیت‌ها از دو یا بیش‌تر از دو جزء تشکیل شده‌اند [۷]. در ادامه به شرح این فیلم‌های زیست‌تخریب پذیر پرداخته می‌شود.

- نشاسته

یکی از پلی‌ساکاریدهای مورد استفاده، نشاسته است. نشاسته، پلیمری از گلوکز است که از واحدهای آمیلوز و واحدهای آمیلوپکتین شاخه‌دار تشکیل شده است که برای تولید فیلم‌ها استفاده می‌شود، زیرا آن ارزان قیمت، فراوان، قابل تجریه است و به آسانی قابل دست‌کاری است [۸]. در حقیقت، اولین فیلم تجاری زیست تخریب پذیر توسط مخلوطی از پلیمرهای سنتزی و نشاسته گرانوله تهیه شده است. فیلم‌های بر پایه‌ی نشاسته تا حدود زیادی بعنوان مانع گازی عمل می‌کنند [۹]. این فیلم‌ها در بسته‌بندی بشکل قابل توجهی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. محققین نشان داده‌اند که با وجود تمامی ویژگی‌های و مزایای نشاسته در صنعت بسته بندی همانند فراوانی، ارزانی و توانایی تشکیل فیلم و همچنین ویژگی‌های ارگانولپتیکی دارای خصوصیات مکانیکی ضعیفی است. تلاش‌های زیادی برای غلبه بر این محدودیت‌ها در انجام شده است، همانند افزودن کوپلیمرهای زیستی و یا دیگر مواد ثانویه که خصوصیات مکانیکی را بهبود می‌بخشند. تغییراتی روی دما و زمان، در زمان تشکیل فیلم نیز انجام شده است [۱۰]. کارایی این فیلم‌ها در بسته بندی ماهی و میوه گزارش شده است [۱۱-۱۳].

- کیتوزان

کیتوزان یک پلی ساکارید خطی کاتیونیک است که از واحدهای دگلوکوزآمین با پیوند های ۴-۱ بتا تشکیل شده و از داستیلاسیون کیتین موجود در پوسته سخت پوستانی چون خرچنگ و میگو تحت شرایط قلیایی بدست می‌آید. کیتوزان

از طریق ایجاد نمک با اسیدهای مختلف بر روی گروه آمینی واحدهای گلوکزآمین در آب حل می شود. مطالعات بیانگر اثرات ضد میکروبی، کاهش کلسترول، افزایش ایمنی و اثرات ضد توموری و اثرات آنتی اکسیدانی می‌باشد [۱۴]. کیتوزان یک پلیمر با خصوصیاتی همانند زیست تجزیه پذیری، و عدم سمیت است. کیتوزان بشکل قابل توجهی در تهیه‌ی مواد نانوپزشکی برای دارو رسانی و فرمولاسیون در شکل نانوذرات استفاده می‌شوند. کیتوزان و مشتقاتشان فعالیت آنتی باکتریایی علیه عوامل بیماری‌زای میکروبی را نشان می‌دهند. نانوذرات روی اکسید و کیتوزان دارای یک بار مثبت هستند و به سطوح منفی توسط تعامل الکترواستاتیکی اثراتشان را نشان می‌دهند. کیتوزان دارای فعالیت آنتی باکتریایی است [۱۵]. کیتوزان در صنعت بسته بندی بشکل قابل توجهی مورد استفاده قرار می گیرد. فیلم‌های بر پایه‌ی کیتوزان و پوشش‌های بر پایه‌ی آن دارای خصوصیات مکانیکی خوب و همچنین دارای نفوذ پذیری انتخابی به دی اکسید کربن و گازهای اکسیژن هستند. با این حال، نفوذپذیری زیاد به بخار آب، بکارگیری آن را با محدودیت روبرو ساخته است [۱۶]. کیتوزان با دیگر پلیمرهای زیستی برای غلبه بر این محدودیت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. کامپوزیت‌های بر پایه‌ی کیتوزان و ذرت دارای الاستیسیته خوب و نفوذپذیری مناسب به بخار آب بودند که در مقایسه با فرم جدا از هرکدام از این پلیمرها، اثرات قابل توجه بود [۱۷]. فرمولاسیون پوششی کامپوزیتی بر پایه‌ی کیتوزان باعث افزایش ماندگاری محصولات غذایی می‌شوند. استفاده از کیتوزان باعث تولید آنزیم‌های ذفاعی همانند کیتیناز می‌شود که به محافظت میوه‌ها از قارچ‌ها می-پردازد [۸]. این پلیمر در صنعت بشکل قابل توجهی برای بسته بندی میوه و ماهی استفاده شده است. چندین مطالعه کارایی این پلیمر را در بسته‌بندی مواد غذایی گزارش کرده‌اند و از آن بعنوان پلیمر ایمن و قابل تجزیه یاد کرده‌اند [۱۹- ۱۸- ۱۴-۱۵]. کارایی کیتوزان در بسته‌بندی مربوط به خصوصیات آنتی اکسیدانی، آنتی باکتریایی و ویژگی‌های مکانیکی آن می‌باشد.

- سلولز

سلولز [با فرمول شیمیایی $(C_6H_{10}O_5)n$] ترکیبی است ارگانیک که فراوان‌ترین بیوپلیمر بر روی زمین شناخته می‌شود. این ماده کربوهیدرات یا پلی‌ساکارید پیچیده‌ای مشتمل بر صدها الی هزاران مولکول گلوکز است که با هم پیوند خورده و تشکیل زنجیره داده‌اند. گیاهان، جلبک‌ها و برخی باکتری و دیگر ارگانیسم‌ها بر خلاف حیوانات توانایی تولید این ماده را دارند. سلولز مولکول ساختاری اصلی در دیواره‌های سلولی گیاهان و جلبک‌هاست. کیتوزان و سلولز، فیلم‌های کامپوزیتی یکدستی را تولید می‌کنند که بعلت شباهت‌هایی در ساختار اولیه آن‌ها است که باعث بهبود خصوصیات کارکردی آن‌ها می‌باشد. در مطالعه‌ای نشان داده شد که فیلم‌های کیتوزان و سلولز علیه لیستریا مونوسیتوژنز کارایی قابل توجهی دارند [۲۰]. کامپوزیت‌های بر پایه‌ی سلولز/کیتوزان دارای فعالیت آنتی‌باکتریایی هستند [۲۱]. مطالعات کارایی فیلم‌های بر پایه‌ی سلولز را برای بسته‌بندی میوه و ماهی نشان داده‌اند [۲۲-۲۳].

- آلژینات

آلژینات یک پلی ساکارید خطی و یک کوپلیمر است که از جلبک دریایی قهوه‌ای تهیه می گردد. آن یک بیوپلیمر ارزان در دسترس است که بخاطر داشتن خواصی چون تجزیه پذیری زیستی و ماهیت طبیعی بسیار مورد توجه قرار دارد. این پلیمر به خوبی تشکیل فیلم می‌دهد که آن را در زمینه‌ی غذایی ارزشمند می‌سازد. این ساختار دارای محدودیت‌های مکانیکی است که می‌تواند توسط بکارگیری نشاسته، اولیگوساکاریدها و دیگر قندهای ساده بهبود یابد [۲۴]. در مطالعه‌ای نشان داده شد که بکارگیری آنتی اکسیدان‌ها در فیلم‌های آلژینات باعث افزایش طول عمر محصولات غذایی می‌شود [۲۵]. در مطالعات مروری نشان داده شده است که فیلم‌های بر پایه‌ی آلژینات دارای خصوصیات مکانیکی و آنتی باکتریایی مناسبی هستند که می‌توانند در صنایع غذایی

مورد استفاده قرار بگیرند [۲۴]. چندین مطالعه کارایی فیلم-های بر پایه‌ی آلژینات را برای بسته‌بندی مواد غذایی گزارش کرده‌اند [۲۴-۲۶].

- پلی لاکتیک اسید

پلی‌لاکتیک-

اسیدنوعی پلی‌استر آلفاتیک ترموپلاستیک قابل تجزیه زیستی و فعال زیستی می‌باشد که از منابع تجدید پذیر مانند نشاسته ذرت و کاساوا به‌دست می‌آید. سیستم‌های بسته بندی جدید با استفاده از پلی لاکتیک اسید بدست آمده-اند. این فیلم‌ها قابلیت حفظ و نگهداری مواد و محصولات غذایی را دارد و این قابلیت را دارد که از مواد غذایی محافظت نماید [۲۷-۲۸].

- پلی کاپرولاکتون

یک پلی استر زیست تخریب پذیر با دمای ذوب حدود ۶۰ درجه سلسیوس و دمای انتقال شیشه ۶۰ درجه سلسیوس است. واحدهای سازنده آن هگزانوات است و در گروه پلی-استرهای الیفاتیک قرار دارد. بیش‌ترین موارد استفاده پلی-کاپرولاکتون در تولید پلی‌اورتان‌ها است. البته که به دلیل پذیری با انواعی از پلیمرها و زیست تخریب پذیری نیز بسیار مورد توجه است. پلی‌کپرولاکتون‌ها مقاومت خوبی در برابر آب، روغن، حلال و کلر حاصل از پلی‌اورتان تولید شده دارند. این ماده را می‌توان در گروه پلیمرهای هوشمند و از دسته مواد هوشمند در نظر گرفت [۲۹]. مطالعات کارایی پلی‌کاپرولاکتون را برای نگهداری مواد آنتی باکتریال و آنتی اکسیدان و همچنین بعنوان پوشش برای نگهداری میوه و مواد غذایی گزارش کرده‌اند [۳۰-۳۳].

-پروتئین‌ها

پروتئین‌ها، اجزای ساختاری و عملکردی سلول‌های گیاهی و حیوانی هستند که توسط پیوندهای پپتیدی بهم دیگر اتصال یافته‌اند. پروتئین‌ها از منابع گیاهی و حیوانی برای تهیه‌ی فیلم-ها استفاده می‌شوند. پروتئین‌های گیاهی مورد استفاده شامل پروتئین سویا، گلوتن گندم، زئین ذرت و پروتئین گندم هستند و همچنین شامل ژلاتین، کراتین و کلاژن هستند که برای ساختن فیلم استفاده می‌شوند. با این‌حال، با در نظر گرفتن آلرژی‌های غذایی و عدم تحمل گلوتن گندم، عدم تحمل پروتئین شیر و باورهای دینی وجود دارد که ممکن است روی بسته‌بندی مواد غذایی تأثیر داشته باشد. فیلم‌های بر پایه‌ی گلوتن گندم توانستند به نگهداری توت فرنگی در دمای ۱۰-۷ درجه سانتی‌گراد در طی یک دوره ۱۲ روزه کمک کنند [۳۴].

نویسندگان این مطالعه معتقد بودند که فیلم گلوتن توانست برای کنترل کردن فساد در مقایسه با فیلم‌های بر پایه‌ی گلوتن کاراتر بود. ژلاتین یک ماده فعال خوراکی است که می‌تواند برای تهیه فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی استفاده شود. به دلیل خواص ضد باکتریایی و آنتی اکسیدانی منحصر به فرد، ماده ای موثر برای نگهداری مواد غذایی تازه است. با این حال، ژلاتین، با حلالیت در آب و ویسکوزیته بالا، به شدت تحت تأثیر شرایط آب و هوایی طبیعی و رطوبت هوا قرار می‌گیرد، بنابراین هنوز محدودیت‌های زیادی در بسته بندی مواد غذایی وجود دارد. به عنوان مثال، با از دست دادن مواد محلول و آب، ساختار سطحی فیلم ژلاتینی از بین می رود و دستیابی به اثر تازه ماندگاری ایده آل در هنگام نگهداری میوه‌ها، سبزیجات و محصولات آبزی دشوار است. برای غلبه بر محدودیت‌های اصلی فیلم ژلاتین خالص، که به راحتی در آب قابل حل است، محققان معمولا ژلاتین را با پلیمر بیولوژیکی سنتی مخلوط می‌کنند و آن را با برخی از مواد فعال طبیعی ترکیب می‌کنند تا فیلم‌ها و پوشش‌های کامپوزیت خوراکی اصلاح شده را به دست آورند. در مجموع این فیلم‌ها قابل تجزیه هستند و توانایی این را دارند که بعنوان یک فیلم مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳۵-۳۶].

- لیپیدها

پوشش‌های لیپیدی و فیلم‌ها عمدتا برای خصوصیات آب-گریزشان مورد استفاده قرار می‌گیرند و این خصوصیت را دارند که مانع از دست رفتن رطوبت شوند. موم‌ها، اسیدهای

چرب و گلیسرول‌ها برای تشکیل فیلم مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعلت عدم یکپارچگی ساختاری، لیپیدها برای تهیه‌ی فیلم دارای خصوصیات ضعیفی هستند.

خصوصیات مکانیکی ضعیف این فیلم‌ها می‌تواند توسط ترکیب شدن با مواد پلی ساکاریدی احاطه شود و فیلم‌های دولایه را تشکیل دهند. فیلم دولایه عمدتا فیلم هیدروکلوئیدی لامینه با لایه لیپیدی تشکیل می‌شود. افزودن مواد آب‌گریز در فرمولاسیون فیلم نمی‌تواند خصوصیات ممانعتی فیلم قابل خوردن را علیه رطوبت بهبود بخشد [۳۷]. مخلوطی از مواد هیدروکلوئیدی، امولسیفایرها، مولکول‌های لیپیدی کارایی قابل توجهی برای نگهداری میوه و سبزی نشان داده‌اند [۳۸].

- فیلم‌های تجاری زیست تخریب‌پذیر تجاری در دسترس

برخی از صنایع سعی کرده‌اند تلاش‌های زیادی را به منظور توسعه و تجاری سازی بسته‌بندی مواد غذایی با کمک فیلم‌های قابل تجزیه انجام دهند. در جدول ۱ تعدادی از صنایع و شرکت‌هایی که توانستند پلیمرهای قابل تجزیه را صنعتی کنند و مورد استفاده قرار دهند، گزارش شده است. این تجاری‌سازی از گذشته تاکنون ادامه داشته است. در مطالعه‌ای، دل نوبایل[1] (۲۰۰۸) از فیلم‌های قابل تجزیه Novamont برای طولانی کردن دوره نگهداری برای نگهداری میوه برای یک دوره ۵ روزه استفاده کردند و نتایج را با فیلم‌های سنتی مقایسه کردند و نشان دادند که این فیلم‌ها در مقایسه با فیلم‌های سنتی از کارایی بسیار خوبی برخوردار هستند [۳۹].

این فیلم‌ها محصول کشور ایتالیا بودند. این فیلم‌های در واقع مخلوطی از پلی استرهای قابل تجزیه بودند که از چندین لایه تشکیل شده بودند. لوسرا[2] و همکاران (۲۰۱۰) اثرات بسته بندی‌های همانند پلی پروپیلن و بیوپلیمرهای پلی استری برای افزایش طول عمر و نگهداری میوه‌ها استفاده کردند. این محققین نشان دادند که نمونه‌های بسته بندی شده در فیلم‌های قبال تجزیه و غیر قابل تجزیه تفاوت‌های معنی‌داری برای ویژگی‌های حسی و میکروبی در یک دوره ۹ روزه در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نشان دادند [۴۰].

در مطالعه‌ی دیگر، طول عمر و بلوبری‌ها در دمای ۲۳ درجه‌ی سانتی‌گراد حدود ۹ روز بود که در مقایسه با سیستم‌های سنتی قدیمی، قابل مقایسه بود [۴۱]. امروزه، چندین فیلم بر پایه‌ی نشاسته تجاری سازی شده‌اند. برای مثال فیلم Bio-P-TM® که از مواد نشاسته سیب زمینی قابل تجزیه تهیه شده است و یک پلاستیک ترموپلاستیک است و دارای توانایی و خصوصیات قابل توجهی برای حفظ و نگهداری میوه‌ها بودند [۴۲].

جدول ۱ - برخی از زیست پلاستیک‌های تجاری شده

شرکت	پلیمر زیستی	کاربرد
Bioenvelop	نشاسته	فیلم‌های پوششی برای جلوگیری از افزایش رطوبت
EverCorn	نشاسته	فیلم‌هایی برای بسته بندی مواد غذایی
FKur Kunststoffe GmbH	سلولز	فیلم کامپوزیتی برای بسته بندی مواد غذایی
Metabolix	پلی هیدروکسی آلکانوات	استفاده بعنوان فیلم
NatureWorks LLC	پلی لاکتیک اسید	برای بسته‌بندی مواد غذایی
NODAX	پلی هیدروکسی آلکانوات	کمک به بهبود خواص حسی و مناسب برای بسته بندی مواد غذایی
Fresh Del Monte Produce Inc	پلی لاکتیک اسید	بسته‌بندی میوه‌های تازه
ILIP	پلی لاکتیک اسید	بسته‌بندی میوه‌های تازه

[1] Del Nobile
[2] Lucera

- تجزیه و تخریب پذیری فیلم‌های زیست تخریب پذیر در محیط زیست

یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌ها در زمینه‌ی پلیمرها و فیلم‌ها، بحث تجزیه پذیری آن‌ها می‌باشد. پلیمرهای زیست تخریب پذیر توجه زیادی را بعنوان جایگزین‌های مواد تجدید ناپذیر جذب کرده‌اند. آن‌ها توسط میکروارگانیسم‌ها ممکن است تجزیه شوند. تحت شرایط طبیعی، این ساختارها کاملا تجزیه می‌شوند ولی تمامی این پلیمرهای زیست تخریب پذیر چنین ویژگی‌هایی را ندارند. فرآیند اصلی تجزیه‌ی این پلیمرها در دوسته‌ی عمده‌ی قطعه قطعه شدن و تجزیه پذیری قرار می‌گیرد. پلیمرهای غیر زیست تخریب پذیر همانند پلی پروپیلن توسط نیروهای فیزیکی و شیمیایی تجزیه می‌شوند، اگرچه سیستم‌های میکروبی نیز ممکن است در تجزیه‌ی آن‌ها نقش داشته باشند. در مواد زیست تخریب پذیر، به استثنای نیروهای تجزیه‌ی غیر زیستی، ریز ارگانیسم‌های اختصاصی، پلاستیک‌های خرد شده را به آب و دی اکسید کربن بعنوان محصول نهایی تجزیه می‌کنند. برخی از پلیمرهای زیستی تخریب پذیر دارای سطح گسترده‌ای هستند که به شکل قابل توجهی در خاک تجزیه می‌شوند. اختلافات ساختاری در پلیمرها حتی در شرایط آزمایشگاهی مشابه باعث نتایج متفاوتی برای تجزیه‌ی آن‌ها می‌شود. برای مثال پیوندهای متقاطع و عرضی بین ساختار پلیمرهای فیلم‌ها تجزیه پذیری آن‌ها را متفاوت می‌کند. برای مثال کریستالیزاسیون پلیمرها باعث می‌شود که تجزیه پذیری آن‌ها بشکل قابل توجهی به تأخیر بیفتد [۴۳]. فیلم‌های زیست تخریب پذیر توسط نور آفتاب، فرسایش زیستی و فیزیکی، هیدرولیز نیز از بین می‌روند. این فرآیند در پلیمرهای برپایه نفت نیز اتفاق می‌افتد ولی در پلیمرهای غیر زیست تخریب پذیر باعث آزادسازی موادی می‌شود که برای طبیعت ضرر دارند، درحالی‌که در حالت زیست تخریب پذیر، عمدتا توسط میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها در محیط زیست تجزیه می‌شوند و باعث مینرالیزاسیون خاک می‌شوند که برای کشاورزی نیز سودمند است.

نتیجه‌گیری

فیلم‌های تجزیه پذیر بسته بندی، ترکیباتی قابل تجزیه و پلیمرهای زیستی و دوست دار محیط زیست هستند. چندین مطالعه در گذشته با هدف تولید فیلم‌های تجزیه پذیر و در دسترس انجام شده است که تمامی این مواد به منظور نگهداری محصولات کشاورزی بوده است. نشاسته، سلولز، پلی لاکتیک اسید، ژلاتین و کیتوزان برای این منظور استفاده شده‌اند. مواد آنتی میکروبی همانند نانوذرات، اسانس‌های گیاهی و .... می‌توانند در داخل این فیلم‌ها برای افزایش دادن خصوصیات آنتی میکروبی و آنتی اکسیدانی استفاده شوند. اکثر فیلم‌هایی که مورد بررسی قرار گرفته اند در کنار این که ترکیباتی ایمن و تجزیه‌پذیر بودند، دارای محدودیت‌هایی همانند ضعف‌های مکانیکی بوده‌اند که با افزودن دیگر ترکیبات به داخل ساختار آن‌ها، این ضعف به شکل قابل توجهی بهبود یافت. ترکیبات بر پایه‌ی کیتوزان ظاهرا نسبت به دیگر فیلم‌های قابل تجزیه خصوصیات بهتری داشتند چون علاوه بر خصوصیات زیست تجزیه‌پذیری دارای خصوصیات آنتی باکتریایی بودند که در بسته‌بندی فیلم‌ها بسیار حائز اهمیت است. از ویژگی‌های مهم فیلم‌های زیست تخریب پذیر انتشار بخار آب، ممانعت از ورود اکسیژن و دی اکسید کربن می‌باشد، که در آن صورت فیلم قابلیت استفاده در صنایع غذایی و بسته‌بندی را خواهد داشت.

منابع

[1] Tsakona, M., Rucevska, I., 2020, Baseline report on plastic waste. Document No. UNEP/CHW/PWPWG. 1/INF/4: basel convention. United Nations Environ-Ment Programme (UNEP). p. 68.

[2] Yamoah, FA., Sivarajah, U., Mahroof, K., Peña, IG., 2022, Demystifying corporate inertia towards transition to circular economy: A management frame of reference. International Journal of Production Economics; 244:108388.

[3] Mohanty, AK., Vivekanandhan, S., Pin, J-M., Misra, M., 2018, Composites from renewable and sustainable resources: Challenges and innovations. Science;362(6414):536-42.

[4] George, A., Shah, PA., Shrivastav, PS., 2019, Natural biodegradable polymers based nano-formulations for drug delivery: A review. International journal of pharmaceutics;561:244-64.

[5] Mir, SA., Dar, B., Wani, AA., Shah, MA., 2018, Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. Trends in Food Science & Technology ;80:141-54.

[6] Abdul Khalil, H., Banerjee, A., Saurabh, CK., Tye, Y., Suriani., A, Mohamed A., 2018, et al. Biodegradable films for fruits and vegetables packaging application: preparation and properties. Food Engineering Reviews;10(3):139-53.

[7] Hernandez-Izquierdo, V., Krochta, J., 2008, Thermoplastic processing of proteins for film formation—a review. Journal of food science;73(2):R-۳۰R9.

[8] Noorbakhsh-Soltani, S., Zerafat, M., Sabbaghi, S., 2018, A comparative study of gelatin and starch-based nano-composite films modified by nano-cellulose and chitosan for food packaging applications. Carbohydrate polymers;189:48-55.

[9] Becker, WD., Harrer, H., Huber, A., Brodsky, W., Krabbenhoft, R., Cracraft, M., 2015, et al. Electronic packaging of the IBM z13 processor drawer. IBM Journal of Research and Development;59(4/5):13: 1-: 2.

[10] Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, CJ., Bowyer, M., Singh, S., Vuong, QV., 2019, Starch-based films: Major factors affecting their properties. International journal of biological macromolecules;132:1079-89.

[11] Lopes, J., Gonçalves, I., Nunes, C., Teixeira, B., Mendes, R., Ferreira, P., 2021, et al. Potato peel phenolics as additives for developing active starch-based films with potential to pack smoked fish fillets. Food Packaging and Shelf Life;28:100644.

[12] Naghdi, S., Rezaei, M., Abdollahi, M., 2021, A starch-based pH-sensing and ammonia detector film containing betacyanin of paperflower for application in intelligent packaging of fish. International Journal of Biological Macromolecules;191:161-70.

[13] de Oliveira Filho, JG., Albiero, BR., Cipriano, L., de Oliveira Nobre Bezerra, CC., Oldoni, FCA., Egea, MB., 2021, et al. Arrowroot starch-based films incorporated with a carnauba wax nanoemulsion, cellulose nanocrystals, and essential oils: A new functional material for food packaging applications. Cellulose;28(10):6499-511.

[14] Kumar, S., Mukherjee, A., Dutta, J., 2020, Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives. Trends in Food Science & Technology;97:196-209.

[15] Priyadarshi, R., Rhim, J-W., 2020, Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. Innovative Food Science & Emerging Technologies.;62:102346.

[16] Gautam, G., Rani, R., Badwaik, LS. Mahanta, CL., 2022, Chitosan-Based Films and Coatings. Biopolymer-Based Food Packaging: Innovations and Technology Applications:110-46.

[17] Garcia, MA., Pinotti, A., Zaritzky, NE., 2006, Physicochemical, water vapor barrier and mechanical properties of corn starch and chitosan composite films. Starch-Stärke.;58(9):453-63.

[18] Haghighi, H., Licciardello, F., Fava, P., Siesler, HW., Pulvirenti, A., 2020, Recent advances on chitosan-based films for sustainable food packaging applications. Food Packaging and Shelf Life;26:100551.

[19] Wang, H., Qian, J., Ding, F., 2018, Emerging chitosan-based films for food packaging applications. Journal of agricultural and food chemistry;66(2):395-413.

[20] García, J., Medina, R., Olías, J., 1998, Quality of strawberries automatically packed in different plastic films. Journal of Food Science;63(6):1037-41.

[21] Sangsuwan, J., Rattanapanone, N., Rachtanapun, P., 2008, Effect of chitosan/methyl cellulose films on microbial and quality characteristics of fresh-cut cantaloupe and pineapple. Postharvest Biology and Technology;49(3):403-10.

[22] Zhou, N., Wang, L., You, P., Wang, L, Mu, R., Pang, J., 2021, Preparation of pH-sensitive food packaging film based on konjac glucomannan and hydroxypropyl methyl cellulose incorporated with mulberry extract. International Journal of Biological Macromolecules;172:515-23.

[23] Ezati, P., Rhim, J-W., Molaei, R., Priyadarshi, R., Han, S., 2022, Cellulose nanofiber-based coating film integrated with nitrogen-functionalized carbon dots for active packaging applications of fresh fruit. Postharvest Biology and Technology.;186:111845.

[24] Senturk Parreidt, T., Müller, K., Schmid, M., 2018, Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications. Foods;7(10):170.

[25] González-Buesa, J., Page, N., Kaminski, C., Ryser, ET., Beaudry, R., Almenar, E., 2014, Effect of non-conventional atmospheres and bio-based packaging on the quality and safety of Listeria monocytogenes-inoculated fresh-cut celery (Apium graveolens L.) during storage. Postharvest Biology and Technology;93:29-37.

[26] Nair, MS., Tomar, M., Punia, S., Kukula-Koch, W., Kumar, M., 2020, 2020, Enhancing the functionality of chitosan-and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. International Journal of Biological Macromolecules;164:304-20.

[27] Ncube, LK., Ude, AU., Ogunmuyiwa, EN., Zulkifli, R., Beas IN. Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials. Materials. 2۰13;20.

[28] Aung, SPS., Shein, HHH., Aye, KN., New, N., 2018, Environment-friendly biopolymers for food packaging: Starch, protein, and poly-lactic acid (PLA). Bio-based Materials for Food Packaging: Springer. p. 173-95.

[29] Bartnikowski, M., Dargaville, TR., Ivanovski, S., 2019, Hutmacher DW. Degradation mechanisms of polycaprolactone in the context of chemistry, geometry and environment. Progress in Polymer Science;96:1-20.

[30] Seyrek, ME., Okur, M., Saraçoğlu, N., 2021, Improvement of mechanical, thermal and antimicrobial properties of organically modified montmorillonite loaded polycaprolactone for food packaging. Journal of Vinyl and Additive Technology.;27(4):894-908.

[31] Zou, Y., Zhang, C., Wang, P., Zhang, Y., Zhang, H., 2020, Electrospun chitosan/polycaprolactone nanofibers containing chlorogenic acid-loaded halloysite nanotube for active food packaging. Carbohydrate polymers;247:116711.

[32] Choi, I., Chang, Y., Kim, SY., Han, J., 2021, Polycaprolactone film functionalized with bacteriophage T4 promotes antibacterial activity of food packaging toward Escherichia coli. Food Chemistry;346:128883.

[33] Piri, H., Moradi, S., Amiri, R., 2021, The fabrication of a novel film based on polycaprolactone incorporated with chitosan and rutin: potential as an antibacterial carrier for rainbow trout packaging. Food Science and Biotechnology;30(5):683-90.

[34] Tanada-Palmu, PS., Grosso, CR., 2005, Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (Fragaria ananassa) quality. Postharvest biology and technology.;36(2):199.

[35] Martins, V., Romani, V., Martins, P., Nogueira, D., 2021, Protein-based materials for packaging applications. Bio-based Packaging: Material, Environmental and Economic Aspects.:27-49.

[36] Tian, H., Guo, G., Fu, X., Yao, Y., Yuan, L., Xiang, A., 2018, Fabrication, properties and applications of soy-protein-based materials: A review. International journal of biological macromolecules;120:475-90.

[37] Karbowiak, T., Debeaufort, F., Voilley, A., 2007, Influence of thermal process on structure and functional properties of emulsion-based edible films. Food Hydrocolloids;21(5-6):879-88.

[38] Dhall, R., 2013, Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. Critical reviews in food science and nutrition;53(5):435-50.

[39] Del Nobile, MA., Conte, A., 2008, Cannarsi M, Sinigaglia M. Use of biodegradable films for prolonging the shelf life of minimally processed lettuce. Journal of Food Engineering;85(3):317-25.

[40] Lucera, A., Costa, C., Mastromatteo, M., Conte, A., 2010, Del Nobile M. Influence of different packaging systems on fresh-cut zucchini (Cucurbita pepo). Innovative Food Science & Emerging Technologies;11(2):361-8.

[41] Almenar, E., Samsudin, H., Auras, R., Harte, B., Rubino, M., 2008, Postharvest shelf life extension of blueberries using a biodegradable package. Food Chemistry, 110-120.

[42] Tokiwa, Y., Calabia, BP., Ugwu, CU., Aiba, S., 2009, Biodegradability of plastics. International journal of molecular sciences. 2009;10(9):3722-42.

[43] Qin, M., Chen, C., Song, B., Shen, M., Cao, W., Yang, H., 2021, et al. A review of biodegradable plastics to biodegradable microplastics: Another ecological threat to soil environments? Journal of Cleaner Production;312:127816.