

مروری بر استفاده از ضایعات محصولات کشاورزی در تولید فیلم‌های بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر

مریم سالک‌نجات

دکتری تخصصی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

## چکیده

افزایش تقاضا برای پلاستیک‌های مبتنی بر نفت به دلیل تجزیه‌ناپذیری و تولید مواد شیمیایی خطرناک، نگرانی‌های زیادی را ایجاد نموده است. مسائل زیست‌محیطی متعدد ناشی از مصرف روزافزون پلاستیک‌ها، محققان را به ایجاد پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر از منابع بیولوژیکی ترغیب نموده است؛ از طرفی دفع زباله‌های زیست‌تخریب‌پذیر تولید شده از بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، صنایع و خانوارها نیز در کشورهای پرجمعیت به یک مسئله بسیار ضروری تبدیل شده است. نتایج بررسی محققان نشان می‌دهد، ضایعات کشاورزی و کارخانه‌های صنایع غذایی با توجه به هزینه ناچیز و سهولت دسترسی به- عنوان بهترین منبع برای تولید بیوپلیمرها می‌باشند. فرآوری میوه و سبزی‌ها نیز منجر به ایجاد پسماندهایی در قالب پوست، دانه و تفاله می‌شود که این محصولات جانبی نیز به عنوان منابعی غنی از مواد مغذی و بیوپلیمری درجه یک (نظیر پلی- ساکاریدها و فیبرهای غذایی) و ترکیبات زیست‌فعال می‌باشند؛ لذا تولید فیلم‌های خوراکی از محصولات جانبی صنعت کشاورزی به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. تولید فیلم از ضایعات محصولات کشاورزی علاوه بر امکان استفاده از محتوای بیوپلیمرهای موجود در آنها (نظیر پکتین و ترکیبات سلولزی)، می‌تواند موجب ارائه ترکیبات مغذی مازاد شده و به- عنوان جایگزینی برای مواد بسته‌بندی با پایه نفتی، استفاده شود. لذا با جایگزینی پلاستیک‌ها فعلی با انواع زیست تخریب‌پذیر، ضایعات تولید شده به سادگی کاهش یافته و راهی به سوی آینده‌ای پایدار و محیطی سبزتر فراهم می‌کند، بنابراین هدف از این مطالعه، مروری بر استفاده از ضایعات محصولات کشاورزی در تولید فیلم‌های بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** بسته‌بندی، بیوفیلم، زیست‌تخریب‌پذیر، ضایعات کشاورزی

## ۱- مقدمه

پلاستیک‌ها به دلیل کاربردهای مختلف در محصولات متفاوت جایگاه ویژه‌ای در زندگی روزمره دارند (Chidambarampadmavathy et al, 2017). استفاده روز افزون از پلاستیک‌ها به دلیل ماندگاری و زیست‌تخریب‌ناپذیری خطرات زیست محیطی و بهداشتی مختلفی را به دنبال دارد (Huang et al, 2022)؛ همچنین پلاستیک‌ها به دلیل انباشتگی در محیط‌های آبی و خشکی منجر به آلودگی‌های زیست محیطی می‌گردند (Ukaogo et al, 2020). سنتز و سوزاندن پلاستیک‌ها مواد شیمیایی سمی متعددی را تولید می‌کند که بر محیط‌زیست تاثیر می‌گذارد (Choi et al, 2022). بیوپلیمرها به عنوان یک جایگزین واقعی برای پلیمرهای معمولی در نظر گرفته می‌شوند، زیرا می‌توانند به راحتی بدون تاثیر بر محیط زیست تجزیه شوند (Medeiros et al, 2020). مسائل زیست محیطی، مالی و بهداشتی متعدد ناشی از پلاستیک‌های معمولی، محققان را به ایجاد پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر که به عنوان بیوپلاستیک‌ها نیز شناخته می‌شوند، ترغیب کرده است که این محققان ثابت کرده‌اند، بیوپلیمرها جایگزین‌های امن‌تری برای پلاستیک‌های سمی مبتنی بر نفت هستند (Shafqat et al, 2020). از مواد آلی طبیعی از جمله پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها برای ساخت بیوپلاستیک‌ها استفاده می‌شود (Reichert et al, 2020). نشاسته، کیتین، لیگنین و سلولز پلی‌ساکاریدهای رایجی هستند که برای سنتز بیوپلاستیک‌ها استفاده می‌شوند، همچنین از ژلاتین، کازئین و گلوتن و روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی که به ترتیب پروتئین‌ها و لیپیدهای طبیعی هستند نیز جهت سنتز بیوپلاستیک‌ها استفاده می‌شود. بیوپلاستیک‌ها یا بیوپلیمرها می‌توانند در مدت زمان کوتاهی و تحت شرایط محیطی مناسب توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه شوند (Khare and Deshmukh, 2016). پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر موجود تجاری عبارتند از پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها (PHAs)، پلی‌لاکتیک‌اسید (PLAs)، پلی‌هیدروکسی بوتیرات (PHB) و پلی‌گلیکولید (PGA) (Albuquerque and Malafaia, 2018).

در حال حاضر، پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر از اهمیت بالایی برخوردارند و تقاضا برای استفاده از آنها در سال‌های آینده نیز افزایش خواهد یافت (Vinod et al, 2020). موانع اصلی موفقیت بیوپلاستیک‌ها ویژگی‌های آنها شامل ناپایداری حرارتی، دشواری در زبندی حرارتی، شکنندگی، مقاومت ذوب پایین، انتقال بخار آب بالا و نفوذپذیری اکسیژن بالا است که این ویژگی‌ها را نیز می‌توان در آینده نزدیک با مطالعات تحقیقاتی مازاد تصحیح نمود (Jabeen et al, 2015). کاربرد و مزیت بیوپلیمرها فقط به دلیل زیست‌تخریب‌پذیری آنها نمی‌باشد بلکه چون در سنتز آنها از بازیافت زباله‌ها و ... نیز استفاده می‌شود، از اهمیت بالایی برخوردارند؛ همچنین بیوپلاستیک‌ها نسبت به پلاستیک‌های مشتق شده از سوخت‌های فسیلی می‌توانند سریعتر تجزیه شوند و ساختار و ترکیب بیوپلاستیک‌های بر فرازند تجزیه زیستی تاثیر می‌گذارد و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد (Jabeen et al, 2015).

## ۲- پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر

پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر موادی هستند که با تولید آب و دی‌اکسیدکربن در محیط زیست تجزیه می‌شوند (Westlake et al, 2022). عبارت "زیست‌تخریب‌پذیر" به موادی اطلاق می‌شود که وقتی این مواد در معرض شرایط میکروبیولوژیکی و رطوبت قرار می‌گیرند، تجزیه شده و یا به طور طبیعی به گازهای زیستی و یا بیومس عمدتاً آب و دی-اکسیدکربن تجزیه می‌شوند (Asgher et al, 2020). پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر بعد از مواجهه با عوامل بیولوژیکی تجزیه می‌شوند (Gowman et al, 2019). معمولاً ۳ فاز اولیه در تجزیه زیستی پلیمرها دیده می‌شود که شامل:

۱. نابودی زیستی (biodegradation): خواص مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی پلیمر در اثر رشد میکروارگانیسم‌ها در سطح یا داخل پلیمر از بین می‌رود.

۲. شکست زیستی (biofragmentation): در این مرحله میکروارگانیسم‌ها پلیمرها را به الیگومرها و مونومرها تبدیل می‌کنند.

۳. جذب (assimilation): در این مرحله میکروارگانیسم‌ها کربن، انرژی و منابع مغذی حاصل از تکه تکه شدن پلیمرها را تامین می‌کنند و منجر به تولید کربن دی‌اکسید، آب و زیست توده می‌شوند (Emadian et al, 2017).

بیوپلاستیک‌ها پلیمرهای زیست تخریب پذیری هستند که از موجودات زنده به دست می‌آیند. میکروارگانیسم‌ها و آب موجود در توده‌های کمپوست می‌توانند این پلیمرها را به خوبی در محیط زیست تجزیه کنند (Ramadhan and Handayani, 2020). پلاستیک‌های زیستی را می‌توان در ۳ گروه قرار داد:

۱. پلیمرهای زیست تخریب پذیر ساخته شده از نفت (بر پایه فسیل)

۲. پلاستیک‌های زیستی ساخته شده از نفت و سایر مواد (بیوپترولیوم)

۳. پلاستیک‌های زیستی ساخته شده از منابع تجدیدپذیر (به طور طبیعی از گیاهان و حیوانات)

بیوپلاستیک‌ها مزایای زیست محیطی متعددی دارند که از آن جمله می‌توان به کاهش انتشار کربن و گازهای گلخانه‌ای، نیاز به انرژی کمتر برای ایجاد آن، به حداقل رساندن زباله‌های دائمی، ایمن کردن محیط زیست و پتانسیل جایگزین شدن با پلاستیک‌های مبتنی بر نفت با یک روش پایدار اشاره نمود (Emadian et al, 2017).

### ۳- کاربرد فیلم‌ها و پوشش‌های بیوپلیمری

بسته‌بندی‌های زیست تخریب پذیر، به دو دسته فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی تقسیم می‌شوند. فیلم، پوششی یکنواخت و یکپارچه با ضخامت کمتر از ۱/۱۱ اینچ است. فیلم‌های خوراکی در اثر گسترده شدن محلول‌های فیلم‌ساز روی یک سطح و خشک کردن آن پدید می‌آیند؛ پس می‌توان گفت فیلم‌های خوراکی جامد هستند که برای بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ بدین صورت که، ماده غذایی در درون این فیلم‌ها پیچیده می‌شود. این درحالی‌است که، پوشش‌های خوراکی ترکیباتی مایع بوده که در اثر غوطه‌ور کردن مواد غذایی در محلول‌های سازنده یا اسپری کردن محلول سازنده بر سطح آن‌ها و در نتیجه آغشته شدن سطح مواد غذایی ایجاد می‌شوند (Galus and Kadzińska, 2015).

استفاده از بسته‌بندی‌های خوراکی از قرن ۱۲ در چین آغاز شد، بطوریکه جهت افزایش طول عمر و حفظ خواص ارگانولپتیکی لیمو و پرتقال، از موم‌هایی برای پوشش این میوه‌ها استفاده می‌شد (Mkandawire et al, 2018). در سال ۱۹۹۲ از اولین پوشش خوراکی تجاری بر پایه موم پارافینی بر روی میوه‌ها استفاده شد. با این حال با توجه به اثرات مضر موم‌های شیمیایی، در ۴ دهه گذشته پیشرفت قابل توجهی در کاوش مواد طبیعی و ایمن برای پوشش غذاها صورت گرفته است (Umaraw et al, 2017). امروزه، در بسته‌بندی مواد غذایی، فیلم‌های خوراکی به طور چشمگیری جایگزین فیلم‌های پلیمری سنتزی می‌شوند که از آن جمله می‌توان به پوشش دادن انواع این فیلم‌ها بر سطح فرآورده‌های غذایی نظیر فرآورده‌های قنادی، میوه‌ها و سبزی‌های تازه، برخی فرآورده‌های گوشتی، برخی فرآورده‌های لبنی، شکلات، غلات صبحانه‌ای، طیور و ماهی، فرآورده‌های منجمد، فرآورده‌های خشک شده و مواردی دیگر از این قبیل اشاره داشت (Falguera et al, 2011). پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی در مقایسه با انواع سنتزی از نقطه نظر حسی و عملکردی، دارای سازگاری بیشتر با غذا هستند. پوشش دادن محصولات غذایی با فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، دارای مزایایی می‌باشد. به طوریکه، به سبب زیست تخریب پذیر بودن، برخلاف فیلم‌های سنتزی باعث آلودگی محیط زیست نمی‌شوند؛ خود از ارزش تغذیه‌ای نیز برخوردار هستند؛ مانع فساد و آلودگی میکروبی می‌شوند؛ پلاستیدگی میوه‌ها و سبزی‌ها را طی انبارداری به تعویق می‌اندازد؛ ظاهر محصولات را به نحو مطلوب حفظ می‌کنند؛ مانع جذب رطوبت یا آب‌گیری مواد غذایی با رطوبت کم و تباعث منفی ناشی از آن هم‌چون بافت نامناسب حاصل از تبلور قندها در فرآورده، بدرنگی و جلوگیری از کلوخه شدن پودرها می‌شوند؛ مانع از دست رفتن رایحه غذا می‌شوند؛ بر استحکام و یکپارچگی بافت مواد غذایی می‌افزایند؛ از افت ترکیبات مغذی در اثر واکنش‌های ناخواسته هم‌چون اکسایش و

واکنش‌های قهوه‌ای شدن جلوگیری می‌کنند؛ مانع تراوش در گوشت می‌شوند و به‌عنوان حامل مواد افزودنی نظیر ترکیبات ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدان‌ها، مواد طعم‌دهنده و رنگ‌ها عمل می‌کنند (Mortazavian et al, 2011).

#### ۴- استفاده از ضایعات صنایع غذایی در تهیه فیلم‌های زیست تخریب پذیر

میوه‌ها به دلیل مواد مغذی ذاتی مانند ویتامین C، نیاسین، پیریدوکسین، مواد معدنی، فیبرهای غذایی و ترکیبات فعال زیستی که فواید سلامتی دارند، نقش حیاتی در حفظ سلامت و رفاه کلی انسان ایفا می‌کنند (Vilarinho et al, 2017). اکثر میوه‌ها به صورت تازه مصرف می‌شوند و پس از آن به محصولات غذایی مختلف نظیر آبمیوه‌ها، نوشیدنی‌ها، تفاله‌ها، مرباها و محصولات خشک یا منجمد تبدیل می‌شوند (Kalpana and Pandey, 2017). بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی تولید جهانی میوه در سال ۲۰۱۸ بالغ بر ۸۶۷.۷۷ میلیون تن بوده است که میزان تولید موز ۱۱۵.۷۳ میلیون تن، مرکبات ۱۵۲.۴۴ میلیون تن، سیب ۸۶.۱۴ میلیون تن و انگور ۷۹.۲۱ میلیون تن است (FAO, 2018). علیرغم تولید و فرآوری میوه‌ها در مقادیر زیاد، زیان‌های قابل توجهی به دلیل جابجایی نامناسب، نبود امکانات زیرساختی و عقب ماندگی فناوری برای استفاده صحیح از محصولات جانبی حاصل از فرآوری پسماندها وارد می‌شود (Sagar et al, 2018). بطور مثال تخمین زده می‌شود که ۳۳ درصد (۱/۳ میلیارد تن) از مواد غذایی تولید شده در سطح جهانی با ارزش پولی نزدیک به ۹۹۰ میلیارد دلار یا هدر می‌رود و یا به دلیل کمبود امکانات و زنجیره تامین غذا از بین می‌رود (Tsang et al, 2019). ضایعات فرآوری میوه معمولاً به عنوان بقایا یا محصولات جانبی بدست آمده از فرآوری میوه به محصول نهایی تعریف می‌شود و محصول جانبی نیز بخشی از میوه می‌باشد که در طول فرآوری میوه استفاده نمی‌شود، اما ارزش غذایی قابل توجهی دارد (Villacís-Chiriboga, 2020). مطابق تخمین اتحادیه اروپا، ضایعات حاصل از مواد غذایی سالانه نزدیک به ۱۰۰ تن است که این امر نشانگر این است که تلفات فرآوری بیش از ۱۵ درصد از کل تولید مواد غذایی می‌باشد، در مورد میوه‌ها و سبزیجات این تلفات تقریباً ۸ درصد از کل ضایعات مواد غذایی را شامل می‌شود (Fierascu et al, 2020). تخمین زده می‌شود که حدود ۶۰ درصد از محصولات باغبانی در زنجیره مواد غذایی (از مزرعه تا چنگال) تلف می‌شود و یا از بین می‌رود، بطوریکه در کشورهایی نظیر هند تلفات میوه‌ها پس از برداشت بین ۵/۸ تا ۱۸/۱ درصد در سراسر زنجیره تامین است (Jha et al, 2015). صنعت فرآوری میوه مقدار قابل توجهی محصولات جانبی تولید می‌کند. به طور متوسط یک محصول جانبی از یک میوه تقریباً ۲۵ تا ۵۰ درصد وزن کل میوه را تشکیل می‌دهد؛ به عنوان مثال محصول جانبی حاصل از فرآوری سیب ۲۵٪، انبه ۶۰٪، موز ۳۵٪ و انار ۴۰-۴۵ درصد است (Meena et al, 2020) که این محصولات جانبی به شکل تفاله، پوست، دانه و مغز هستند که معمولاً به عنوان ضایعات دور ریخته می‌شوند. امروزه با افزایش فرآوری میوه‌ها، ضایعات فرآوری نیز به صورت فرآورده‌های فرعی افزایش چشمگیری داشته و دفع این فرآورده‌ها بزرگترین چالش صنایع تبدیلی میوه است. علاوه بر این، محصولات جانبی حاصل از فرآوری میوه، دارای رطوبت بالایی می‌باشد و اجزای بیولوژیکی منجر به ایجاد پدیده سمیت گیاهی در حین دفع در محل دفع زباله می‌شود که این امر منجر به آلودگی محیط زیست و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌گردد (Campos et al, 2020). پور و نمجک (۲۰۱۸)، در نتایج تحقیقاتشان گزارش نمودند که ضایعات مواد غذایی از سرتاسر جهان به ۶ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کرده است. علاوه بر ایجاد مشکلات زیست محیطی، محصولات فرآوری میوه منبع غنی از ترکیبات زیست فعال مانند فنولیک، فلاوونوئید، تانن‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و پکتین هستند که می‌توانند به عنوان نگهدارنده، قوام دهنده، عوامل آنتی‌اکسیدانی و سایر مصارف غذایی مورد استفاده قرار گیرند؛ همچنین این محصولات جانبی حاوی مقادیر قابل توجه کربوهیدرات‌ها مانند سلولز، همی سلولز و نشاسته هستند که می‌توانند به عنوان جایگزین مناسبی برای نشاسته‌های معمولی مبتنی بر غلات در تهیه پوشش‌های خوراکی و فیلم‌ها استفاده شود (Coman et al, 2020). نشاسته یکی از مواد غذایی پرمصرف در سراسر صنعت فرآوری مواد غذایی است. کاربرد گسترده نشاسته را می‌توان به هزینه کم و در دسترس بودن فراوان آن در طبیعت نسبت داد (Mangaraj et al, 2019). علاوه بر کاربردهای غذایی نشاسته، این ماده به دلیل ماهیت هیدروکلوئیدی و توانایی تشکیل فیلم، کاربردهای مختلفی در بخش بسته بندی مواد غذایی در تولید پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی دارد (Sadeghizadeh-Yazdi et al, 2019). نتایج تحقیقات قبلی حاکی

از آن است که از نشاسته حاصل از گندم، ذرت، سیبزمینی و کاساوا و ... می توان به طور گسترده ای برای بسته بندی محصولاتی مانند میوه تازه و محصولات گوشتی استفاده نمود (Mangaraj et al, 2019). بنابراین برای کاربردهای بسته بندی مواد غذایی، نشاسته را می توان از منابع غیر متعارف مانند ضایعات فراوری میوه به ویژه جهت تولید فیلم های خوراکی استفاده نمود (Kringel et al, 2020).

امروزه بیوپلیمرها عمدتاً از گیاهان و میوه های زراعی تولید می گردند؛ این در حالی است که فضای زراعی اختصاص داده شده برای تولید بیوپلیمرها همچنان قابل چشم پوشی است. لذا استفاده از مواد اولیه بر پایه زیستی و زیست تخریب پذیر بدون نیاز به زمین های زراعی؛ برای تولید بیوپلیمرها مورد توجه می باشد. ضایعات کارخانه های صنایع غذایی با توجه به هزینه ناچیز و سهولت دسترسی به عنوان بهترین منبع برای تولید بیوپلیمرها می باشند. در دهه های اخیر مقادیر ضایعات و پسماند در صنایع غذایی به طور چشمگیری افزایش یافته است. فراوری میوه و سبزی ها نیز منجر به ایجاد پسماندهایی در قالب پوست، دانه و تفاله شده که این محصولات جانبی به عنوان منابعی غنی از مواد مغذی و بیوپلیمری درجه یک (نظیر پلی ساکاریدها و فیبرهای غذایی) و ترکیبات زیست فعال می باشند (Babbar et al, 2011). لذا تولید فیلم های خوراکی از محصولات جانبی صنعت کشاورزی به طور فزاینده ای مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین، تولید فیلم از ضایعات محصولات کشاورزی علاوه بر امکان استفاده از محتوای بیوپلیمرهای موجود در آنها (نظیر پکتین و ترکیبات سلولزی)، می تواند موجب ارائه ترکیبات مغذی مازاد شده و همچنین می تواند توسط ماده غذایی مصرف شده و به عنوان جایگزینی برای مواد بسته بندی با پایه نفتی، استفاده شوند. ترکیب و عملکرد فیلم های زیست تخریب پذیر بسته به نوع بیوپلیمر مورد استفاده به عنوان ماده اولیه خام متفاوت می باشد. به طوری که پروتئین ها و پلی ساکاریدها منجر به ایجاد فیلم هایی با خواص مکانیکی و ارگانولپتیکی مطلوب می گردند و دارای خصوصیات ممانعتی مطلوب به ترکیبات طعمی و گازهای با وزن مولکولی پایین نظیر اکسیژن و دی اکسید کربن بوده و حساس به رطوبت به دلیل ماهیت آب دوست این ترکیبات می باشند (Andrade et al, 2016). به دنبال منابع جایگزین بیوپلیمرها برای این نوع بسته بندی ها استفاده از میوه و سبزی ها برای تولید پوشش و فیلم مورد بررسی قرار گرفته است. معمولاً فیلم های حاصل از سبزی ها نفوذپذیری کمتری نسبت به اکسیژن داشته و دارای خصوصیات مکانیکی قابل قبول بودند که به عنوان مواد جایگزین برای تولید پوشش و فیلم های خوراکی می باشند. با این حال مطالعات اندکی در رابطه با استفاده از تفاله و ضایعات میوه و سبزیجات در تولید فیلم های خوراکی موجود می باشد. از این رو با توجه به افزایش تولید ضایعات از فراوری میوه و سبزیجات و پتانسیل آنها به عنوان یک ماده جدید در تشکیل فیلم، توسعه فیلم و پوشش خوراکی با توجه به تاثیرات زیست محیطی بسته بندی های پلاستیکی می تواند به طور گسترده ای در صنایع غذایی مورد توجه قرار گیرد (Andrade et al, 2016).

## ۶- استفاده از محصولات کشاورزی در تولید فیلم های زیست تخریب پذیر

تخمین زده شده است که سالانه ۱/۳ میلیارد تن زباله جامد (عمدتاً از زباله های بیولوژیکی) در جهان تولید می شود. پیش بینی می شود که تا سال ۲۰۲۵ میزان این زباله ها به ۲/۲ میلیارد تن افزایش یابد و میزان دفع آنها در کشورهای کم درآمد در ۲۰ سال آینده به ۲ برابر افزایش یابد. هزینه مدیریت این زباله ها در ۵ سال آینده ممکن است از ۲۰۵/۴ میلیارد دلار به ۳۷۵/۵ میلیارد دلار افزایش یابد، که این مقدار بر کشورهای کم درآمد و با درآمد متوسط نیز تاثیر می گذارد (Srivastava and Chakma, 2022)؛ بنابراین مدیریت پسماند به چالشی برای دولت بسیاری از کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است؛ همچنین بایستی توجه شود که هنگام مدیریت این پسماندها هزینه ها حداقل بوده و از نظر زیست محیطی نیز سالم باشد (Abdel-Shafy and Mansour, 2018). از این رو یک رویکرد اقتصادی دایره ای (چرخه) را می توان در قالب بازیافت ضایعات به محصولاتی نظیر سوخت زیستی، کودهای زیستی، پلاستیک های زیستی و ... طراحی نمود. ضایعات زیستی مواد غذایی در صورت عدم مدیریت صحیح به عنوان یک تهدید جدی زیست محیطی و اجتماعی-اقتصادی شناخته می شوند؛ بطوریکه ضایعات باقیمانده مواد غذایی معمولاً در محل های دفن زباله ریخته شده و سوزانده می شوند و یا به سادگی کنار گذاشته می شوند تا فاسد شوند؛ بنابراین اگر تیمار ضایعات به درستی صورت نگیرد، این باقیمانده ها می توانند آلاینده های سمی آزاد کرده و به

گازهای گلخانه‌ای (دی اکسید کربن، متان و ترکیبات نیتروژن دار) تبدیل شوند (Ishangulyyev et al, 2019). ضایعات زیستی مواد غذایی همچنین می‌توانند خطرات زیست محیطی دیگری مانند تولید شیرابه ایجاد کنند. با این حال، ضایعات باقیمانده بسیار مغذی هستند و می‌توانند منبع غنی از ترکیبات فعال زیستی باشند که شامل پروتئین‌ها، لیپیدها، رنگدانه‌ها، مولکول‌های فنلی، ریزمغذی‌ها و فیبرهای غذایی است. علاوه بر این، این باقیمانده‌ها دارای خواصی مانند فعالیت‌های آنتی-اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد ویروسی، ضد التهابی، محرک ایمنی و پری بیوتیک هستند (Faustino et al, 2019).

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی برای جایگزینی پلاستیک‌های سنتزی مشتق شده از ترکیبات نفتی با پلاستیک‌های به دست آمده از منابع تجدیدپذیر صورت گرفته است و پلیمرهای زیستی مختلفی مانند پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها به عنوان فیلم‌های بسته بندی توسعه پیدا کرده اند. محصولات کشاورزی نیز می‌توانند به عنوان ماده اولیه در فرایندهای نوآورانه که منجر به کاهش ضایعات و دورریز پس از برداشت این محصولات و حل مشکلات مربوط به آلودگی زیست محیطی ناشی از دفع آن‌ها می‌گردد؛ مورد استفاده قرار گیرند (Banerjee et al, 2017). استفاده از فیلم‌های زیست تخریب پذیر با به کارگیری میوه و سبزیجات در دو دهه اخیر به موازات تهیه فیلم و پوشش خوراکی از بیوپلیمرهای خالص، به منظور بهره‌وری بیشتر و افزایش ارزش غذایی توسعه پیدا کرده است که از آن جمله می‌توان به فیلم‌های حاصل از پوره هلو، پوره سیب، پوره موز، پوره انبه، پوره هویج و... اشاره نمود. هدف از تولید این فیلم‌ها نه تنها کمک به کاهش استفاده از پلیمرهای ناسازگار با محیط زیست است بلکه منجر به استفاده بیشتر از نهاده‌ها و تولید محصولاتی با ارزش افزوده و کاهش ضایعات می‌گردد. تولید فیلم‌های مبتنی بر میوه از نظر فنی امکان پذیر است که دارای ویژگی‌های عملکردی قابل قبولی نیز می‌باشند (Matheus et al, 2020). به طوری که تولید فیلم از پوره میوه نتایج مطلوبی را از نظر خصوصیات مکانیکی و ممانعتی نسبت به نفوذپذیری به گاز نشان داده است (Matheus et al, 2020)؛ همچنین فیلم‌های تولید شده از پوره میوه‌ها خصوصیات حسی ماده اولیه خود را حفظ نموده و جذابیت بیشتری در مقایسه با فیلم‌های بی‌بو و بی‌رنگ دارند. ترکیب اصلی تشکیل دهنده فیلم در پوره میوه شامل پکتین، سلولز و انواع متنوعی ترکیبات قندی می‌باشند که به ترتیب نقش اساسی در تشکیل فیلم و اثر پلاستیسایزری ایفا می‌نمایند. در کل، تولید فیلم از پوره میوه و سبزیجات می‌تواند دارای مزایا و معایبی باشد؛ لذا درک بهتر از خواص مکانیکی، ترکیبات زیست فعال و قابلیت کاربرد این فیلم‌ها از نظر آینده نگری در رابطه با نحوه تولید و استفاده از آنها حائز اهمیت است.

#### ۱-۶- پوست موز

پوست موز محصول جانبی تولید شده بعد از استفاده از پالپ موز است که به طور خانگی و صنعتی تولید شده و عموماً به عنوان کود و خوراک دام مورد استفاده قرار می‌گیرد. پوست موز حاوی مقادیر قابل توجهی نشاسته و سایر مواد آلی بوده و از قابلیت‌های منحصری نظیر زیست تخریب پذیر بودن برخوردار است. پوست موز شامل مقادیر مناسبی مواد مغذی اعم از کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، پروتئین، مواد معدنی و ویتامین‌ها بوده و به علت برخورداری از مقادیر بالای نشاسته (۱۸/۵ درصد) در تولید فیلم و پوشش خوراکی نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Chodijah et al, 2019).

انواع معمول پلاستیک‌های زیستی بر پایه نشاسته، PHB و PLA می‌باشند. نشاسته یکی از رایج ترین منابع تولید پلاستیک‌های زیستی بوده و لذا موز به دلیل محتوای بالای نشاسته موجود، یک ماده اولیه مطلوب در تولید بیوپلاستیک‌ها می‌باشد. نشاسته در حضور پلاستیسایزرها به صورت ترموپلاستیک رفتار می‌کند و به این ترتیب، امکان تولید مقدار زیادی پلاستیک از پوست غیر قابل استفاده موز که در حدود ۳۰-۴۰ درصد از مقدار کل میوه را شامل می‌شود، میسر می‌باشد (Singh and Dakshinamoorthy, 2019). بسته بندی خوراکی مبتنی بر پوست موز، غیر سمی، زیست تخریب پذیر و ضد حساسیت‌زا بوده و از خصوصیات چسبندگی مناسب بر سطح ماده غذایی برخوردار می‌باشد. همچنین این نوع بسته بندی می‌تواند در حفظ مواد مغذی و ویژگی‌های ارگانولپتیک مواد غذایی نقش داشته باشد. بنابراین بررسی داده‌های جمع آوری شده از آزمون‌های انجام شده بر روی نمونه اولیه پلاستیک‌های زیستی تولید شده از پوست موز نشانگر قابلیت استفاده از این ماده برای مصارف صنعتی می‌باشد (de Faria Arquelau et al, 2019). مالگیری و همکاران (۲۰۱۱)، گزارش نمودند که فیلم‌های

تولید شده از پوست موز شفاف، بی بو، بی مزه و محلول در آب بوده و پوشش خوراکی مبتنی بر پوست موز خصوصیات ممانعتی مطلوبی در برابر انتقال رطوبت و گاز میوه و سایر محصولات غذایی فراهم می کنند (Malmiri et al, 2011). تاک و جین (۲۰۱۹) نیز در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که فیلم های خوراکی بر پایه پوست موز دارای ویژگی های حسی و ارگانولپتیک قابل توجهی بودند (Tak and Jain, 2019). آستوتی و ارپریهانا (۲۰۱۴) نیز در مطالعه خود نشان دادند که فیلم تولید شده از نشاسته خالص در طبیعت شکننده بوده و به طور کلی مواد کامپوزیتی می توانند جهت بهبود ویژگی های ممانعتی، عملکردی و مکانیکی فیلم های خوراکی مفید باشند (Astuti and Erprihana, 2014).

## ۲-۶- پوست نارگیل

در سال های اخیر، استفاده مجدد از پوست نارگیل توجه بسیاری از حامیان محیط زیست را به خود جلب کرده است چراکه تنها بخش های خوراکی میوه نارگیل مصرف شده و قطعات باقیمانده مثل پوست دور ریخته شده یا سوزانده می شوند. از این رو، رسیدگی به پسماند پوست نارگیل به یک مشکل اصلی محیط زیستی تبدیل شده است. به طور کلی، فیبرهای نارگیل به دلیل خصوصیات عملکردیشان بسیار سودمند می باشند. فیبر نارگیل به دو دسته فیبرهای سفید به دست آمده از نارگیل نارس و فیبر قهوه ای به دست آمده از نارگیل رسیده تقسیم می شود. فیبرهای قهوه ای ضخیم، مستحکم و دارای مقاومت سایشی بالا هستند و خصوصیات عایقی عالی در برابر گرما و صدا ایجاد کرده که حتی تحت تاثیر رطوبت نیز قرار نمی گیرند؛ این در حالی است که فیبرهای سفید صاف تر، ظریف تر و نهایتاً ضعیف تر می باشند (Udayamathi et al, 2023). با توجه به موارد عنوان شده، خصوصیات تبدیل فیبرهای پوست نارگیل به پلاستیک های زیستی امکان پذیر بوده و نتایج مطالعات انجام پذیرفته در این رابطه نشانگر افزایش استحکام کششی پلاستیک زیستی با افزایش غلظت فیبر نارگیل بود. از این رو پوست نارگیل دور ریز شده می تواند در سنتز پلاستیک های زیستی مورد استفاده قرار گیرد (Babalola and Olorunnisola, 2019).

## ۳-۶- پوست کاساوا

فرآوری کاساوا با محوریت صنایع غذایی منجر به تولید ضایعات آلی در قالب پوست کاساوا می شود. پوست کاساوا حاوی میزان نشاسته بالا بوده که می تواند به عنوان یک منبع برای سنتز پلاستیک زیستی مورد استفاده قرار گیرد. پلاستیک های برپایه نشاسته، دارای معایبی نظیر کیفیت مکانیکی ضعیف و قابلیت جذب رطوبت بالا می باشند. در حالی که بیوپلاستیک های برپایه نشاسته حاوی مقادیر بالایی پروتئین و کربوهیدرات می باشند. این امر نشان می دهد که بیوپلاستیک های تولید شده می توانند به عنوان یک بسته بندی پلاستیکی برای کالاهای و همچنین مصرف مستقیم در سوسیس و کالباس مورد استفاده قرار گیرند (Maulida and Tarigan, 2016). فرآیندهای متعددی برای تولید بیوپلاستیک مورد استفاده قرار می گیرد تا به راحتی از قالب جدا شده و در ساخت کیسه های پلاستیکی و بسته بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، با استفاده از پرکننده و تقویت کننده زیست تخریب پذیر، می توان منجر به بهبود ویژگی های پلاستیک های زیستی و تولید بیوپلاستیک ها با خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مطلوب گردید. تست های ایمنی مواد غذایی نشان می دهد که مواد بیوپلاستیک حاصل از پوست کاساوا برای مصرف ایمن بوده و همچنین حاوی مواد معدنی نظیر کلسیم به شکل اکسید کلسیم و آهن به شکل اکسید آهن بوده که می توانند باعث افزایش ارزش تغذیه ای بیوپلاستیک های تولید شده از پوست کاساوا گردند (Dasumiati et al, 2019).

## ۴-۶- جک فروت

درخت جک فروت گونه ای است که متعلق به خانواده *Moraceae* بوده و در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری یافت می شود. جک فروت رسیده متشکل از پوست، پیاز گوشتی، پروکارپ و دانه بوده و می تواند بسته به واریته آن به وزن ۲-۳۶ کیلوگرم برسد (Santana et al, 2018). بخش خوراکی میوه به صورت تازه یا فرآوری شده در محصولات مختلفی نظیر مربا، آب-میوه، و محصولات کنسروی، پالپ میوه یخ زده مورد استفاده قرار می گیرد. در حدود ۶۰ درصد از کل میوه، غیر قابل خوردن

می‌باشد که متشکل از پوست خاردار، پریگون‌های داخلی و هسته مرکزی بوده و به‌عنوان دور ریز شناخته می‌شوند. در طی فرآوری جک‌فروت مقدار قابل توجهی ضایعات نظیر پوست، کاه، هسته و دانه تولید شده که بدون استفاده دور ریز می‌شوند. مطابق مطالعات انجام شده، در حدود ۵۰۰ دانه در هر میوه واحد وجود دارد که معادل حدودی ۱۵ درصد از وزن کل میوه بوده که غنی از نشاسته و پروتئین و دارای محتوای چربی پایین و مقاومت بالا در برابر اسیدیته می‌باشد (Maysarah, 2020). اندازه دانه‌ها در حدود ۲-۳ سانتی‌متر در طول و ۱/۵-۱ سانتی‌متر در قطر می‌باشد و عموماً شکل‌های مختلفی نظیر گرد، بیضی و کشیده را دارا هستند. کربوهیدرات موجود در دانه جک‌فروت عمدتاً نشاسته بوده (۶۰-۸۰ درصد وزن خشک میوه) و عموماً در صنایع قنادی و سایر صنایع به‌عنوان عامل ژلی‌کننده و قوام‌دهنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این رو، دانه‌های جک‌فروت به-دلیل محتوای نشاسته‌ای می‌توانند به‌عنوان ماده‌اولیه در تولید بیوپلاستیک مورد استفاده قرار گیرند (Madrugá et al, 2014).

یکی دیگر از کاربردهای استفاده از نشاسته دانه جک‌فروت در تولید پوشش‌های خوراکی است. در سال‌های اخیر تعداد معدودی از محققان به بررسی قابلیت تشکیل فیلم نشاسته دانه جک‌فروت و کاربرد آن در بسته‌بندی محصولات تازه پرداخته‌اند. مطابق نتایج به‌دست آمده، نشاسته دانه یک الگوی پراش ایکس نوع A را نشان می‌دهد که عموماً توسط نشاسته ذرت نشان داده شده و محتوای آمیلوز در نشاسته از ۲۳ تا ۳۲ درصد متغیر است که نشانگر قابلیت بالای نشاسته دانه در تولید پوشش-های خوراکی است (Zhang et al, 2018). رودریگز و همکاران (۲۰۱۸)، پوشش‌های خوراکی مبتنی بر نشاسته دانه جک‌فروت و همچنین کیتوزان تولید نمودند و نشان دادند که استفاده از پوشش بر روی میوه گواوا منجر به بهبود ماندگاری با به تاخیر انداختن رسیدن میوه به دلیل کاهش سرعت تنفس می‌گردد (Rodrigues et al, 2018). سانتانا و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش نمودند که فیلم خوراکی تولید شده از نشاسته دانه جک‌فروت، ویژگی‌های مکانیکی و ممانعتی مطلوب نشان داده که می‌تواند جهت بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد (Santana et al, 2018).

#### ۵-۶- نشاسته پوست سیب زمینی

نشاسته یکی از پلیمرهای طبیعی زیست تخریب‌پذیر است که به میزان بالا و هزینه پایین تولید می‌شود و به‌عنوان ماده مطلوب در تهیه بیوپلاستیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. پوست سیب‌زمینی به‌عنوان یک منبع اصلی نشاسته توسط اکثر صنایع غذایی مرتبط دورریز شده و می‌تواند در تولید بیوپلاستیک‌ها مورد استفاده قرار گیرد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که بیوپلاستیک‌های حاصل از پوست سیب‌زمینی میزان جذب آب بالاتری نسبت به بیوپلاستیک‌های معمول تجاری دارند که می‌تواند موجب تغییر در ابعاد و مقاومت مکانیکی بیوپلاستیک‌ها گردد. همچنین مطابق مطالعات انجام پذیرفته، دوره تخریب زیستی بیوپلاستیک‌های تولید شده از پوست سیب‌زمینی در مقایسه با بیوپلاستیک‌های دیگر کمترین زمان است (۲۸ روز) (Arikan and Bilgen, 2019). نشاسته سیب‌زمینی می‌تواند به‌دلیل محتوای آمیلوز و آمیلوپکتین کمتر و تعداد فسفر باند شده بیشتر برای موارد خاص کاربرد داشته باشد. لذا بیوپلاستیک‌های حاصل از پوست سیب‌زمینی می‌توانند در صنایع بسته‌بندی به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای پلاستیک‌های نفتی استفاده شده و از پتانسیل بالایی برای تبدیل به یک محصول سودآور برخوردار هستند؛ چرا که از منابع تجدیدپذیر تولید شده و می‌تواند در کنترل آلودگی محیط‌زیست موثر باشند (Udayamathi et al, 2023).

#### ۶-۶- پوست گوجه‌فرنگی

میوه گوجه‌فرنگی یک محصولات زراعی و جز سبزیجات غالب در جهان می‌باشد که خیلی سریع آسیب دیده و لذا مقدار گوجه‌فرنگی عرضه شده به فروشندگان برابر با مقدار گوجه‌فرنگی است که به‌عنوان زباله دورریز می‌شود. لیکوپن یک آنتی‌اکسیدان طبیعی موجود در گوجه‌فرنگی است که به وفور در مواد غذایی، محصولات دارویی و آرایشی به‌دلیل ویژگی‌های بیولوژیکی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، دورریزهای این صنایع خود موجب آسیب به محیط‌زیست می‌گردد. پوست گوجه‌فرنگی حاوی پلیمری به نام کوتین است که غیر سمی، زیست تخریب‌پذیر، مسدودکننده UV، آمورف و نامحلول

می‌باشد. به همین دلیل، پوشش‌های سطح داخلی قوطی‌های مورد استفاده در مواد غذایی بر اساس مواد مبتنی بر کوتین به عنوان یک جایگزین پایدار برای رزین‌های بیسفنول A طراحی و پیشنهاد شده‌اند (Benítez et al, 2018).

## ۷-۶- مرکبات

مرکبات عمده‌ترین میوه‌های فرآوری شده صنعتی در مقیاس جهانی می‌باشند که منجر به ایجاد مقادیر بالایی محصولات جانبی می‌گردند. مرکباتی مانند پرتقال، لیمو و نارنگی در حدود ۳ میلیون تن در کشور هند تولید می‌شوند. مطابق گزارشات FAO، سالانه بیش از ۷۰ میلیون تن پرتقال در سراسر جهان تولید می‌شود. در این بین ۶۰-۴۰ درصد از این مقدار برای تولید آب پرتقال در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Xue et al, 2017). پس از آبگیری ۶۰-۵۰ درصد آن به پسماند تبدیل می‌شود که عمدتاً حاوی پوست، پالپ، دانه، و بقایای غشاء است. این پسماندها حاوی بیومولکول‌های مفید از جمله پکتین، همی سلولز، و سلولز، اسیدهای آمینه، مونوساکاریدها، فیبر، اسانس و مواد معدنی و... می‌باشد. در صورتیکه این پسماندهای باقیمانده به درستی مدیریت نشوند؛ به دلیل محتوای بالای مواد آلی، آب و pH پایین می‌توانند موجب آسیب به محیط زیست شوند. لذا استفاده از محصولات جانبی مرکبات می‌تواند در حفظ پایداری محیط زیست اثر شایانی داشته باشد. محصولات جانبی مرکبات می‌توانند به عنوان جاذب، عامل انکپسوله کننده، استابیلایزر، تولید پکتین، تولید سوخت‌های زیستی، استخراج روغن و تولید بسته بندی خوراکی مورد استفاده قرار گیرد (Sharma et al, 2020). پکتین یکی از مواد مورد توجه به دلیل قابلیت تشکیل ژل آن است که در تولید بیوپلاستیک‌ها موثر می‌باشد. با این حال، در سراسر جهان پکتین غالباً از ضایعات پرتقال (۸۵/۵ درصد) و تفاله سیب (۱۴ درصد) استخراج می‌گردد. از این رو با فرآوری پکتین حاصل از پسماند این میوه‌ها می‌توان از آن در تولید بیوپلاستیک‌ها استفاده نمود که به نوبه خود می‌تواند باعث به حداقل رسیدن خطرات ناشی از دفع این مواد به صورت زباله گردد (Tsang et al, 2019).

چندین محقق بیوپلیمرهای جدیدی بر پایه محصولات جانبی مرکبات تولید نموده و ویژگی‌های آنها را بهبود بخشیدند. مطابق مطالعات انجام شده، پسماند مرکبات حاوی مقادیر بالایی پکتین بود و فیلم‌های مبتنی بر پکتین می‌توانند با استفاده از عوامل تقویت کننده مختلف تولید شوند (Ansari et al, 2015; Bátori et al, 2017). سلولز موجود در محصولات جانبی مرکبات نیز می‌تواند منجر به ارائه مقاومت مکانیکی در فیلم‌های زیست تخریب پذیر گردد. آریتا و همکاران (۲۰۱۲) گزارش نمودند که بسته بندی زیست تخریب پذیر تولید شده از محصولات جانبی مرکبات میزان انعطاف پذیری بالا داشته و می‌تواند به عنوان جایگزین پلاستیک و مواد بسته بندی سنتزی مورد استفاده قرار گیرد (Arrieta et al, 2012). باتوری و همکاران (۲۰۱۷) فیلم مبتنی بر پکتین و سلولز را از ضایعات مرکبات تولید نموده و گزارش نمودند که فیلم‌های زیست تخریب پذیر مبتنی بر ضایعات پرتقال، ویژگی‌های فیزیکی مشابه پلاستیک را دارا بودند. فیلم تولید شده همچنین خواص ضد میکروبی خوب، پایداری حرارتی و ویژگی‌های مکانیکی مناسبی را نشانگر بود (Bátori et al, 2017).

## ۸-۶- آناناس

آناناس یک میوه گرمسیری است که معمولاً در هند، برزیل، اندونزی و تایلند کاشته می‌شود. میوه آناناس به صورت تازه یا فراوری شده در محصولات مختلف نظیر مربا، آب میوه، کنسانتره و محصولات کنسروی مصرف می‌شود. آب آناناس سومین آب میوه پر تقاضا بعد از آب پرتقال و سیب می‌باشد (Nor et al, 2015). میوه آناناس متشکل از ۴ جز نظیر پالپ (۵۰ درصد)، پوست (۳۰ درصد)، تاج (۱۳ درصد) و هسته (۷ درصد) است. صنعت تولید آب آناناس منجر به تولید پسماند مایع و تفاله به همراه پوست، تاج و هسته می‌گردد. پسماند پوست میوه آناناس دارای پروتئین خام (۵/۱ گرم)، چربی (۵/۳ گرم)، خاکستر (۴/۳ گرم) و کربوهیدرات (۵۵/۵ گرم در هر ۱۰۰ گرم) می‌باشد. محصولات جانبی میوه آناناس به عنوان منبع قابل توجه از ترکیبات فنولی، آنزیم و سلولز به شمار می‌روند (Gowda et al, 2015). ضایعات پوست میوه آناناس حاوی ۴۰/۵ درصد سلولز بر اساس وزن خشک است که آن را تبدیل به پیش ساز مناسب در تولید مولکول‌های زیستی نظیر کربوکسی متیل سلولز می‌-

نماید. کربوکسی متیل سلولز به عنوان یک ماده اساسی در تولید فیلم و پوشش خوراکی جهت بسته‌بندی میوه‌های تازه مختلف می‌باشد. محققان اقدام به استخراج ماده سلولز از پوست آناناس و تبدیل آن به کربوکسی متیل سلولز و متعاقباً توسعه فیلم‌های خوراکی برای بسته‌بندی محصولات تازه نموده‌اند. علاوه بر این، از ضایعات فرآوری آناناس می‌توان در تولید اسید لاکتیک و متعاقباً تولید پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر نظیر پلی لاکتیک اسید استفاده نمود (Pardo et al, 2014).

#### ۹-۶-انار

پوست انار یکی از با ارزش‌ترین فرآورده‌ی فرعی در صنایع غذایی محسوب می‌شود که شامل ۴۵-۵۰ درصد از وزن کل میوه می‌باشد. این ترکیب منبع عالی از ترکیبات زیست‌فعال نظیر اسید گالیک، اسید الازیک، کوئرستین، پونیکالایک، A، و پونیکالایک B است (Kumar, 2018). پوست انار عمدتاً از لیگنین، سلولز، پکتین و... تشکیل شده است. ترکیبات زیست‌فعال پوست انار می‌توانند مسئول فعالیت فنولی، آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی باشند. اخیراً استفاده از محصولات جانبی به عنوان آنتی‌اکسیدان و همچنین تقویت‌کننده در بسته‌بندی خوراکی به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد بسته‌بندی خوراکی و بهبود ماندگاری محصولات غذایی استفاده شده‌اند. محققان مختلف تأیید کردند که افزودن عصاره پوست انار در پوشش خوراکی و فیلم منجر به بهبود فعالیت ضدباکتریایی و آنتی‌اکسیدانی در مقابل میکروب‌ها و رادیکال‌های آزاد می‌شود. افزودن پوست انار به فیلم خوراکی بر پایه نشاسته می‌تواند منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و ممانعتی به دلیل سازگاری بالا با ماتریکس گردد (Ali et al, 2019). ترخاصی (۲۰۱۶) در مطالعه خود عنوان نمود که استفاده از پوشش‌های خوراکی حاوی عصاره پوست انار منجر به افزایش ماندگاری و به حداقل رسیدن اکسیداسیون لیپید در ماهی کپور نقره‌ای شد (Tarkhasi, 2016). نیر و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش نمودند که افزودن عصاره پوست انار در پوشش خوراکی منجر به بهبود ماندگاری و ویژگی‌های ارگانولپتیک فلفل دلمه‌ای و میوه گواوا در طول دوره نگهداری شد (Nair et al, 2018). کومار و همکاران (۲۰۲۱) نیز در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که افزودن عصاره پوست انار به پوشش خوراکی کامپوزیت کیتوزان-پولانن می‌تواند منجر به افزایش ماندگاری میوه‌های لیچی، فلفل دلمه‌ای و گوجه‌فرنگی با بهبود فعالیت فنولی، فلاونوئیدی و آنتی‌اکسیدانی آنها در طی دوره نگهداری گردد (Kumar et al, 2021).

#### ۱۰-۶-انگور

انگور یکی از با ارزش‌ترین میوه‌های سنتی جهان است که می‌تواند به صورت خام و یا مورد استفاده در آماده‌سازی مواد غذایی مختلف نظیر مربا، آب‌میوه، ژله، کشمش، سرکه و روغن دانه آن مورد استفاده قرار گیرد. تفاله انگور اصلی‌ترین پسماند جامد حاصل از فرآوری این میوه می‌باشد. دانه و پوست، اجزای اصلی تفاله انگور را شامل می‌شوند. مطالعات مختلف امکان بازیافت فیبرهای فنولی و آنتی‌اکسیدانی را از پوست این میوه نشان داده است (Wittenauer et al, 2015). تفاله انگور منبع غنی از لیگنین، سلولز، همی سلولز، ترکیبات پلی فنولی، تانین و اسید گالیک می‌باشد. عصاره تفاله انگور می‌تواند به صورت عصاره مایع، کنسانتره یا به صورت پودری در مواد غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی و بسته‌بندی خوراکی مورد استفاده قرار گیرد. مطالعات انجام شده، نشانگر اثر عصاره تفاله انگور به دلیل ظرفیت بالای آنتی‌اکسیدانی آن در مقاومت اکسیداسیونی چربی غذاهای برپایه ماهی و ظرفیت ضد میکروبی آنها در برابر طیف‌های باکتریایی نظیر *استافیلوکوکوس اورئوس*، *باسیلوس سرئوس*، *کمپیلوبکتر* و *ایکولای* است. آرد تفاله انگور از پانسيل بالای آنتی‌اکسیدانی برخوردار بوده و منجر به تاخیر در اکسیداسیون چربی در محصولات غذایی می‌گردد (Rózek et al, 2010). مشتقات تفاله انگور می‌توانند به عنوان یک مکمل طبیعی در فرآوری مواد غذایی برای غنی‌سازی نوشیدنی‌ها و یا به عنوان جزئی از محلول اسمزی برای استخراج و آگیری میوه با بهبود محتویات فنولی آن مورد استفاده قرار گیرد. تولید محصولات زیست تخریب‌پذیر با استفاده از تفاله به عنوان یک فرآیند امکان‌پذیر گزارش شده است. به طوریکه، مقادیر بالای قندهای محلول در پوست انگور منجر به تشکیل مواد بسته‌بندی نوآورانه، بسیار منعطف و زیست تخریب‌پذیر می‌گردد (Jiang et al, 2011). تفاله انگور می‌تواند در صنعت فرآوری مواد غذایی به عنوان نگهدارنده‌های طبیعی، تثبیت‌کننده، قوام‌دهنده و ترکیب آنتی‌اکسیدانی در فرآوری و بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار

گیرد. محققان مختلف از تفاله انگور در حوزه غذا و بسته بندی به عنوان جایگزین نگهدارنده ها، آنتی اکسیدان طبیعی در پوشش های خوراکی جهت حفظ ویژگی های ارگانولپتیک و بهبود ماندگاری محصولات غذایی مانند همبرگر و فیلم های خوراکی استفاده کرده اند (Guerra-Rivas et al, 2016). در این زمینه، فرییرا و همکاران (۲۰۱۴) فیلم خوراکی مبتنی بر کیتوزان را با استفاده از تفاله انگور به عنوان عامل تقویت کننده جهت بهبود ویژگی های آنتی اکسیدانی و افزایش ماندگاری محصولات غذایی تولید نموده اند (Ferreira et al, 2014).

#### ۱۱-۶- میوه تمرهندی

میوه تمرهندی جز میوه های استوایی بوده و به طور گسترده در کشورهای آسیایی و آفریقایی رشد می کند (Panara et al, 2014). میوه رسیده شامل ۵۰-۳۰ درصد پالپ، ۴۰-۲۵ درصد دانه و ۳۰-۱۱ درصد پوسته (غلاف) است. پالپ میوه بین پوسته و دانه ها قرار گرفته و به طور گسترده در تهیه آب میوه و سایر محصولات مورد استفاده در آشپزی نظیر انواع سس استفاده می شود. معمولاً یک غلاف تمرهندی حاوی ۱۰-۱ دانه می باشد که در طی فرآوری تمرهندی از آن جدا می شوند. دانه ها به عنوان محصولات جانبی صنعت تولید پالپ، به طور کلی متشکل از پوشش دانه (۳۰-۲۰ درصد) و هسته یا آندوسپرم (۷۵-۷۰ درصد) می باشند که می توانند به عنوان منبع جایگزین نشاسته مورد استفاده قرار گیرند. دانه های میوه تمرهندی غنی از ترکیبات مغذی نظیر کربوهیدرات (۶۰-۵۰ درصد)، پروتئین (۱۴-۱۳ درصد)، چربی (۷/۸۴-۷/۱ درصد)، فیبر (۱/۴۱-۸/۸ درصد) به همراه ۱۱-۸ درصد محتوای رطوبت می باشد (López-Hernández et al, 2018).

دانه ها منبع غنی از کربوهیدرات می باشند که حاوی پلی ساکاریدهایی نظیر زایلوگلوکان است که از قابلیت تشکیل ژل و فیلم برخوردار می باشد (Rana et al, 2018). در این رابطه رودریگوز و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که ویژگی های فیلم های خوراکی تولید شده از زایلوگلوکان قابل مقایسه با نشاسته های موجود تجاری می باشد. لذا محققان در تلاش هستند که از قابلیت تشکیل فیلم پلی ساکاریدهای دانه تمرهندی در تولید فیلم های خوراکی برای بسته بندی مواد غذایی استفاده نمایند (Rodrigues et al, 2018). علاوه بر این، نشاسته به دست آمده از دانه تمرهندی یک الگوی پراش اشعه ایکس نوع A را نشان می دهد که عموماً توسط نشاسته های غلات نشان داده شده و میزان آمیلوز در حدود ۱۴ درصد در این نشاسته آن را برای تولید فیلم های خوراکی مناسب می نماید. دانه تمرهندی همچنین حاوی مقادیر بالایی ترکیبات فنولی است که می تواند در فیلم های خوراکی برای بهبود ویژگی های آنتی اکسیدانی فیلم های خوراکی مورد استفاده قرار گیرد (Rana et al, 2018). لوپز هرناندز و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که افزودن عصاره دانه تمرهندی به فیلم خوراکی منجر به بهبود فعالیت آنتی اکسیدانی و محتوای کل فنول فیلم می شود (López-Hernández et al, 2018). آنیاس و همکاران (۲۰۱۹) همچنین گزارش نمودند که استفاده از پوشش خوراکی مبتنی بر نشاسته دانه تمرهندی بر روی میوه گواوا منجر به کند شدن فرآیند رسیدن آن و بهبود ماندگاری میوه در طی بازه نگهداری می شود که دلیل آن خصوصیات ممانعتی آن در مقابل انتقال گاز و رطوبت است. براساس اطلاعات عنوان شده می توان نتیجه گرفت که پسماند تولید شده بعد از فراوری میوه حاوی ترکیبات زیست فعال است که می تواند بر خصوصیات عملکردی ترکیبات بسته بندی خوراکی اثر گذاشته و منجر به افزایش ماندگاری محصولات غذایی مانند میوه ها، سبزیجات، گوشت و محصولات گوشتی و... با حفظ کیفیت بالا از طریق به حداقل رساندن اکسیداسیون، کاهش وزن، کاهش بار میکروبی و سرعت تنفس گردد (Onias et al, 2019).

#### ۱۲-۶- انبه

انبه یک میوه گرمسیری است که به عنوان سلطان میوه ها شناخته شده و به میزان قابل توجهی در هند، برزیل، مالزی و چین رشد می کند. میوه انبه عموماً شامل ۷۰-۳۳ درصد پالپ، ۲۰-۱۵ درصد پوست و ۲۴-۷ درصد هسته از میزان وزن کل میوه می باشد (Abdel-Aty et al, 2018). علاوه بر این، از انبه در سراسر جهان جهت تولید محصولات غذایی مختلف نظیر آب-میوه، نوشیدنی آماده سرو، محصولات منجمد انبه، محصولات کنسروی و محصولات خشک شده استفاده می گردد. فرآوری میوه

انبه منجر به تولید میزان قابل توجه محصولات جانبی نظیر پوست و هسته ۶۰-۳۵ درصد می شود که به عنوان ضایعات دورریز می شوند. ضایعات حاصل از فراوری میوه انبه حاوی مقادیر قابل توجهی فیبرهای رژیمی، پکتین و سایر ترکیبات زیست فعال می باشد؛ به طوریکه هسته انبه غنی از نشاسته (۵۸ درصد) ارزیابی شده است (Gómez-Maldonado et al, 2020).

ضایعات پوست انبه می تواند در توسعه فیلم و پوشش خوراکی برای بسته بندی های مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا، نواب و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از پوشش خوراکی برپایه هسته انبه منجر به بهبود دوره نگهداری گوجه-فرنگی، پودر فلفل قرمز و بادام گردیدند. همچنین نتایج حاصل از سایر مطالعات نشان داد که افزودن ضایعات فراوری انبه (پوست و هسته) به عنوان یک عامل تقویت کننده فیلم خوراکی می تواند منجر به بهبود ویژگی های فیزیکوشیمیایی فیلم گردد (Nawab et al, 2018; Yadav et al, 2023). الویرا و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود اقدام به تولید نانو کریستال های نشاسته و سلولز از هسته انبه نموده و فیلم هایی با خصوصیات ممانعتی و فیزیکی و مکانیکی بهبود یافته تولید نمودند (Oliveira et al, 2018).

#### ۱۳-۶- سیب

سیب یکی از میوه های پرمصرف در سطح جهانی است که در مناطق معتدل رشد می کند. از کل تولیدات جهانی سیب، در حدود ۷۵-۷۰ درصد آن به صورت تازه مصرف شده و ۲۵ درصد باقی مانده به محصولات مختلف نظیر آب میوه، سرکه، مربا، ژله و سایر محصولات خشک تبدیل می شود. در حدود ۶۵ درصد از کل تولیدات سیب برای تولید آب سیب مورد استفاده قرار می گیرد. پس از استخراج آب سیب، در حدود ۷۵ درصد به صورت آب سیب استحصالی و ۲۵ درصد به عنوان پسماند حاصل از آب گیری سیب بر جای می ماند که تفاله نیز نامیده می شود. در کشورهای در حال توسعه، هرسال تقریباً ۱۰ هزار تن تفاله بعد از فراوری سیب حاصل می شود که مشکل جدی برای محیط زیست به شمار می رود. تولید مواد بسته بندی زیست تخریب پذیر و فیلم از تفاله سیب، بهترین روش برای تولید مواد بسته بندی سازگار با محیط زیست برای نگهداری محصولات غذایی است. تفاله سیب عمدتاً متشکل از ۹۵ درصد پوست، ۴-۲ درصد دانه و ۱ درصد ساقه می باشد. تفاله سیب ویژگی های مغذی و بیولوژیکی قابل قبولی دارد که شامل کربوهیدرات (۴۵/۱ درصد)، پروتئین (۳/۸ درصد)، چربی (۳/۸ درصد)، فیبر (۲۶/۵ درصد) و پلی فنولیک اسید می باشد (Shalini and Gupta, 2010).

از تفاله سیب می توان در تولید مواد بسته بندی و پوشش های خوراکی به دلیل حضور مقدار قابل توجهی سلولز، همی سلولز، لیگنین و پکتین استفاده نمود. حضور سلولز، همی سلولز، لیگنین و پکتین در تفاله سیب به عنوان استابیلایزر و عامل قوام دهنده، بازدارنده کریستالیزاسیون و عامل انکپسوله کننده جهت ایجاد مقاومت مکانیکی و افزایش چسبندگی بین سلولی استفاده می شود. تفاله سیب به علت وجود ترکیبات فنولی، فلاونوئید و تانین، فعالیت آنتی اکسیدانی مطلوبی نشان می دهد. محققان از تفاله سیب برای تولید پوشش خوراکی و بسته بندی خوراکی با قابلیت استفاده بر روی مواد غذایی برای بهبود خصوصیات ارگانولپتیک و ماندگاری آنها استفاده نموده اند (Gaikwad et al, 2016).

سبلانی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش نمودند که پوست سیب قابلیت تولید فیلم یا پوشش خوراکی برای افزایش ماندگاری محصولات غذایی را دارا می باشد (Sablani et al, 2009). ماتا و همکاران (۲۰۱۹) گزارش نمودند که افزودن عصاره سیب سبز در فیلم خوراکی مبتنی بر متیل سلولز بر خصوصیات فنولی و آنتی اکسیدانی فیلم تاثیر گذار است (Matta et al, 2019). ریاض و همکاران (۲۰۲۰) همچنین گزارش نمودند که افزودن عصاره تفاله در فیلم مبتنی بر کیتوزان و نشاسته منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی و آنتی اکسیدانی آنها می گردد (Riaz et al, 2020).

#### ۱۴-۶- ضایعات ذرت

یک ذرت کامل شامل پوسته بیرونی، بخش ابریشمی و مویی ذرت، دانه‌های ذرت و بلال ذرت می‌باشد. مطابق مطالعات انجام شده، دانه ذرت یک ماده غذایی با محتوای بالای فیبر است. سایر قسمت‌های گیاه ذرت در فراوری روغن ذرت و همچنین در تولید نشاسته ذرت و شربت ذرت و در نهایت خوراک پروتئینی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، با توجه به اینکه میزان تولید ذرت بعد از نیشکر در سراسر جهان در حد بالایی می‌باشد؛ مدیریت ضایعاتی که اغلب دور ریخته می‌شود؛ توسط متخصصان محیط زیست مهم ارزیابی می‌گردد (Chong et al, 2021). اصلی ترین ترکیب موجود در ضایعات ذرت، سلولز، همی-سلولز و لیگنین است. از این رو محققان بیوپلاستیک‌های بهبودیافته‌ای از فیبرهای لیگنوسلولز ضایعات ذرت تولید نموده‌اند. همچنین نتایج نشانگر بهبود مقاومت مکانیکی، استحکام کششی و مقاومت خمشی بیوپلاستیک‌های تولید شده از ضایعات ذرت به دلیل محتوای بالای سلولز و لیگنین آنها بود (Luo et al, 2017).

#### ۱۵-۶- کاه برنج

کاه برنج یکی از فراوانترین ضایعات محصولات کشاورزی در سراسر جهان است که غنی از سلولز، همی-سلولز و لیگنین است. از آنجاییکه برنج سومین محصول غله‌ای تولیدی از نظر فراوانی کشت به‌شمار می‌آید؛ مقدار زیادی ضایعات گیاهی نظیر کاه و پوسته از آن تولید می‌گردد. تولید جهانی کاه برنج را می‌توان تقریباً ۱۰۰۰ میلیون تن در سال تخمین زد که می‌تواند برای تولید یک ماده زیستی جدید مورد استفاده قرار گیرد. در کاه برنج تیمار نشده فیبر سلولزی در همی-سلولز و لیگنین قرار می‌گیرند (Sain, 2020). بازسازی سلولز از مشتقات آن نیازمند زمان طولانی و فرآیند تصفیه شیمیایی گران قیمت می‌باشد. در این رابطه، تری فلورواستیک اسید با سلولز موجود در کاه برنج پس از استخراج و پیش تیمار انجام شده واکنش داده تا تولید بیوپلاستیک‌های برپایه سلولز نماید. تری فلورواستیک اسید یک اسید آلی فرار است که به‌عنوان یک حلال غیر آبی برای تورم سلولز مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیوپلاستیک‌های مبتنی بر سلولز می‌توانند به حالت خشک و مرطوب تولید شوند. جذب آب یکی از موارد قابل توجه از خواص بیوپلاستیک‌های تولید شده از کاه برنج است. از آنجاییکه کاه برنج نیازی به جدا شدن از سایر ضایعات ندارد؛ می‌تواند به راحتی مورد استفاده قرار گیرد. این امر، تولید بیوپلاستیک از طریق کاه برنج را امکان پذیر می‌نماید (Udayamathi et al, 2023).

#### ۱۶-۶- پوسته آجیل

پوسته انواع آجیل (گردو، بادام هندی، بادام زمینی، پسته و...) حاصل از صنایع، به‌عنوان پسماند دور ریخته می‌شود. این ضایعات پوسته در بخش‌های مختلف مانند رزین‌های لمینیت و مراقبت‌های شخصی و... مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حال حاضر تولید بیوپلاستیک‌ها از این پوسته‌ها توجه قابل ملاحظه‌ای در بین محققان یافته است (Yuliana et al, 2012). ترکیبات بیولوژیکی موجود در این پوسته‌ها، به دلیل وجود نشاسته، سلولز، لیگنین، به‌عنوان مواد خام تولید بیوپلاستیک‌ها را امکان پذیر می‌کند. نوآوری‌های زیادی در تولید بیوپلاستیک‌ها از پوسته آجیل مشاهده می‌شود که منجر به توسعه بیوپلاستیک‌های جدید برای جایگزینی پلیمرهای شیمیایی و در نتیجه کاهش آلودگی محیط زیست شده است (Udayamathi et al, 2023).

#### ۱۷-۶- ملاس

ملاس نیشکر به‌عنوان منبع غنی از کربوهیدرات (۴۵ درصد ساکارز) است که به‌صورت زباله توسط صنایع دورریز می‌شود. ترکیب مهم در تولید بیوپلاستیک‌ها با استفاده از ملاس، در ملاس نیشکر یافت شد که منجر به تولید بیشترین مقدار PHA توسط باکتری‌های سودوموناس *آنروژینوزا* خاک می‌شود. علاوه بر سایر منابع نیتروژن معدنی، اوره نقش برجسته‌ای در ساخت پلاستیک‌های زیستی ایفا می‌کند. ضایعات پلایشگاه شکر و اوره از طریق تخمیر غوطه‌وری فرآیند تولید را بهبود می‌بخشند (Udayamathi et al, 2023). سودوموناس *آنروژینوزا* حداکثر مقدار PHA و اوره را بر روی ملاس نیشکر در مقایسه با

منابع کربن و نیتروژن پر هزینه در بچ تخمیر تولید می‌کند. ملاس نیشکر دارای بالاترین زیست توده سلولی بوده و یکی از منابع کربنی به حساب می‌آید که بالاترین میزان PHB را در مقایسه با سایر منابع تولید می‌کند. به دلیل غلظت بالای قند در ضایعات، ملاس همچنان یک منبع کربن مقرون به صرفه برای تولید صنعتی پلیمرهای زیست تخریب پذیر نظیر PHB علیرغم سمیت ناشی از حضور بقایای فنولی پس از تخمیر و تقطیر الکل می‌باشد. بنابراین، ملاس می‌تواند به عنوان یک بستر ارزان قیمت در تولید بیوپلیمرها به حساب آید (Naheed and Jamil, 2014).

## ۷- نقاط ضعف فیلم‌های تولید شده از ضایعات کشاورزی

فیلم‌های تولید شده از پوره میوه و سبزیجات اغلب دارای خصوصیات مکانیکی و ممانعتی ضعیف می‌باشند. این امر به دلیل وجود ترکیبات دارای وزن مولکولی پایین در ساختار فیلم می‌باشد که مانع از ایجاد شبکه پیوسته فیلم می‌شوند. در همین راستا و به منظور بهبود عیوب مطرح شده، اغلب از ترکیبات تقویت کننده بر پایه کربوهیدرات، پروتئین، چربی و یا ترکیبات پرکننده بر پایه نانو، به منظور ایجاد ساختار پیوسته و بهبود خصوصیات ممانعت کنندگی و مکانیکی در ترکیب با پوره میوه و سبزی‌ها استفاده می‌گردد؛ با ظهور فناوری نانو، انواع مختلفی از نانوپرکننده‌ها نظیر نانوس، نانوفلرها و نانوفیبرهای سلولز به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و ممانعتی نسبت به گاز مورد استفاده قرار گرفتند؛ که این امر به دلیل تعامل قوی بین پرکننده‌های نانو و ماتریکس پلیمر و همچنین ایجاد مسیر انتشار پیچیده ناشی از وجود نانوپرکننده‌های غیر قابل نفوذ می‌باشد (Oun and Rhim, 2015).

## ۸- نتیجه گیری

در طی چندین دهه اخیر علاقه به استفاده از پلاستیک‌ها توسط صنایع مختلف افزایش یافته است؛ چراکه ویژگی‌های مطلوب پلاستیک‌ها می‌تواند نیاز صنایع مختلف را برطرف سازد. با این حال، این ترکیبات به عنوان تهدیدی برای محیط زیست به شمار می‌روند. لذا توسعه پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر می‌تواند جایگزین مناسبی برای پلاستیک‌های نفتی در جهت حفظ پایداری محیط زیست باشد. از آنجاییکه صنایع فراوری میوه و سبزی در سراسر جهان حجم عظیمی از محصولات جانبی را به عنوان زباله تولید می‌کنند؛ چالش اصلی در استفاده از زباله و تبدیل آن به ثروت، استخراج مواد با ارزش از ضایعات می‌باشد. مطابق مطالعات عنوان شده، امکان استفاده از محصولات فراوری میوه به عنوان جایگزین بسته بندی خوراکی مشهود است. نشاسته استخراج شده از پسماند جانبی قابل مقایسه با نشاسته معمول حاصل از ذرت، گندم، کاساوا و... بوده و خواص مشابهی دارا می‌باشد که می‌تواند به راحتی برای تولید فیلم‌های خوراکی جایگزین گردد. این مقاله مروری به بررسی اهمیت پلاستیک‌های زیستی و مزایا و معایب آنها و همچنین موارد استفاده آنها و نحوه تبدیل ضایعات بیولوژیک به پلیمرهای زیستی پرداخت. اگرچه منابع ضایعات زیستی مختلفی در زمینه پلاستیک‌های زیستی تخریب پذیر استفاده شده است؛ بررسی‌های متعددی در زمینه بهبود خصوصیات و استفاده صنعتی این پلاستیک‌ها نیاز است. استفاده از پلاستیک‌های زیستی پاسخ مهمی است که به تخریب محیط زیست در دنیای مدرن امروزی داده می‌شود. لذا با جایگزینی پلاستیک‌ها فعلی با انواع زیست تخریب پذیر، ضایعات تولید شده به سادگی کاهش یافته و راهی به سوی آینده‌ای پایدار و محیطی سبزتر فراهم می‌کند.

## منابع

- Abdel-Aty, A. M., Salama, W. H., Hamed, M. B., Fahmy, A. S. & Mohamed, S. A. (2018). Phenolic-antioxidant capacity of mango seed kernels: therapeutic effect against viper venoms. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 28, 594-601.
- Abdel-Shafy, H. I. & Mansour, M. S. M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling,

- and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27, 1275–1290.
- Albuquerque, P. B. S. & Malafaia, C. B. (2018). Perspectives on the production, structural characteristics and potential applications of bioplastics derived from polyhydroxyalkanoates. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 615–625.
- Ali, A., Chen, Y., Liu, H., Yu, L., Baloch, Z., Khalid, S., Zhu, J. & Chen, L. (2019). Starch-based antimicrobial films functionalized by pomegranate peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 1120–1126.
- Andrade, R. M. S., Ferreira, M. S. L. & Gonçalves, É. C. B. A. (2016). Development and Characterization of Edible Films Based on Fruit and Vegetable Residues. *Journal of Food Science*, 81(2), E412–E418. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13192>
- Ansari, F., Skrifvars, M. & Berglund, L. (2015). Nanostructured biocomposites based on unsaturated polyester resin and a cellulose nanofiber network. *Composites Science and Technology*, 117, 298–306.
- Arikan, E. B. & Bilgen, H. D. (2019). Production of bioplastic from potato peel waste and investigation of its biodegradability. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 3(2), 93–97.
- Arrieta, M. P., García, F. P., Martínez, J. L., Vidal, R. N. & Ferrandiz, S. (2012). PYROLYSIS OF BIOPLASTICS WASTE: OBTAINED PRODUCTS FROM POLY(LACTIC ACID). *Dyna*, 87(4), 395–399.
- Asgher, M., Qamar, S.A., Bilal, M. & Iqbal, H.M.N. (2020). Biobased active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials. *Food Research International*, 137, 109625.
- Astuti, P. & Erprihana, A. A. (2014). Antimicrobial edible film from banana peels as food packaging. *American Journal of Oil and Chemical Technologies*, 2(2), 65–70.
- Azeredo, H. M. C., Mattoso, L. H. C., Wood, D., Williams, T. G., Avena-Bustillos, R. J. & McHugh, T. H. (2009). Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. *Journal of Food Science*, 74(5), 31–35. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01186.x>
- Babalola, O. A. & Olorunnisola, A. O. (2019). Evaluation of coconut (Cocos nucifera) husk fibre as a potential reinforcing material for bioplastic production. *Materials Research Proceedings*, 11.
- Babbar, N., Oberoi, H. S., Uppal, D. S. & Patil, R. T. (2011). Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. *Food Research International*, 44(1), 391–396.
- Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A. F. & Arora, A. (2017). Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. *Food Chemistry*, 225, 10–22.
- Bátori, V., Jabbari, M., Åkesson, D., Lennartsson, P. R., Taherzadeh, M. J. & Zamani, A. (2017). Production of pectin-cellulose biofilms: a new approach for citrus waste recycling. *International Journal of Polymer Science*, 2017.
- Benítez, J. J., Castillo, P. M., Del Río, J. C., León-Camacho, M., Domínguez, E., Heredia, A., Guzmán-Puyol, S., Athanassiou, A. & Heredia-Guerrero, J. A. (2018). Valorization of tomato processing by-products: Fatty acid extraction and production of bio-based materials. *Materials*, 11(11), 2211.
- Brito, T. B., Carrajola, J. F., Gonçalves, E., Martelli-Tosi, M. & Ferreira, M. S. L. (2019). Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation. *Food Research International*, 121, 412–421.
- Campos, D. A., Gómez-García, R., Vilas-Boas, A. A., Madureira, A. R. & Pintado, M. M. (2020). Management of Fruit Industrial By-products-a Case Study on Circular Economy Approach. *Molecules*, 25(2), 320.
- Chidambarampadmavathy, K., Karthikeyan, O. P. & Heimann, K. (2017). Sustainable bioplastic production landfill methane recycling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 555–562.
- Chodijah, S., Husaini, A. & Zaman, M. (2019). Extraction of pectin from banana peels (musa paradisiaca fomatypica) for biodegradable plastic films. *Journal of Physics: Conference Series*, 1167(1), 12061.
- Choi, J., Yang, I., Kim, S. S., Cho, S. Y. & Lee, S. (2022). Upcycling Plastic Waste into High Value Added Carbonaceous Materials. *Macromolecular Rapid Communications*, 43, 2100467.
- Chong, T. Y., Law, M. C. & Chan, Y. S. (2021). The potentials of corn waste lignocellulosic fibre as an improved reinforced bioplastic composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(2), 363–381.
- Coman, V., Teleky, B. E., Mitrea, L., Martău, G. A., Szabo, K., Călinoiu, L. F. & Vodnar, D. C. (2020). Bioactive Potential of Fruit and Vegetable Wastes. *Advances in Food and Nutrition Research*, 91, 157–225.
- Dasumiati, Saridewi, N. & Malik, M. (2019). Food packaging development of bioplastic from basic waste of cassava peel (manihot utilisima) and shrimp shell. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 602(1), 12053.
- de Faria Arquelau, P. B., Silva, V. D. M., Garcia, M. A. V. T., de Araújo, R. L. B. & Fante, C. A. (2019). Characterization of edible coatings based on ripe “Prata” banana peel flour. *Food Hydrocolloids*, 89, 570–578.

- Du, W., Olsen, C. W., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Levin, C. E. & Friedman, M. (2009). Effects of allspice, cinnamon, and clove bud essential oils in edible apple films on physical properties and antimicrobial activities. *Journal of Food Science*, 74(7), M372–M378.
- Emadian, S.M., Onay, T.T. & Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 59, 526–536.
- Fai, A. E. C., de Souza, M. R. A., de Barros, S. T., Bruno, N. V., Ferreira, M. S. L. & de Andrade Gonçalves, É. C. B. (2016). Development and evaluation of biodegradable films and coatings obtained from fruit and vegetable residues applied to fresh-cut carrot (*Daucus carota* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 112, 194–204.
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A. & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(6), 292–303.
- FAO. FAO Statistics Data 2018. 2020. [www.fao.org/faostat/en/#data](http://www.fao.org/faostat/en/#data).
- Faustino, M., Veiga, M., Sousa, P., Costa, E. M., Silva, S. & Pintado, M. (2019). Agro-food byproducts as a new source of natural food additives. *Molecules*, 24(6), 1056.
- Ferreira, A. S., Nunes, C., Castro, A., Ferreira, P. & Coimbra, M. A. (2014). Influence of grape pomace extract incorporation on chitosan films properties. *Carbohydrate Polymers*, 113, 490–499.
- Fierascu, R. C., Sieniawska, E., Ortan, A., Fierascu, I. & Xiao, J. (2020). Fruits By-Products – A Source of Valuable Active Principles. A Short Review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 1-8.
- Gaikwad, K. K., Lee, J. Y. & Lee, Y. S. (2016). Development of polyvinyl alcohol and apple pomace biocomposite film with antioxidant properties for active food packaging application. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 1608–1619.
- Galus, S. & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science and Technology*, 45(2), 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011>
- Gómez-Maldonado, D., Lobato-Calleros, C., Aguirre-Mandujano, E., Leyva-Mir, S. G., Robles-Yerena, L. & Vernon-Carter, E. J. (2020). Antifungal activity of mango kernel polyphenols on mango fruit infected by anthracnose. *LWT*, 126, 109337.
- Gowda, N. K. S., Vallesha, N. C., Awachat, V. B., Anandan, S., Pal, D. T. & Prasad, C. S. (2015). Study on evaluation of silage from pineapple (*Ananas comosus*) fruit residue as livestock feed. *Tropical Animal Health and Production*, 47, 557–561.
- Gowman, A.C., Picard, M.C., Lim, L.T., Misra, M. & Mohanty, A.K. (2019). Fruit waste valorization for biodegradable biocomposite applications: A review. *Bioresources*, 14, 10047–10092.
- Guerra-Rivas, C., Vieira, C., Rubio, B., Martínez, B., Gallardo, B., Mantecón, A. R., Lavín, P. & Manso, T. (2016). Effects of grape pomace in growing lamb diets compared with vitamin E and grape seed extract on meat shelf life. *Meat Science*, 116, 221–229.
- Hu, G., Chen, J. & Gao, J. (2009). Preparation and characteristics of oxidized potato starch films. *Carbohydrate Polymers*, 76(2), 291–298.
- Huang, J., Veksha, A., Chan, W. P., Giannis, A. & Lisak, G. (2022). Chemical recycling of plastic waste for sustainable material management: A prospective review on catalysts and processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111–866.
- Ishangulyev, R., Kim, S. & Lee, S. H. (2019). Understanding food loss and waste—Why are we losing and wasting food? *Foods*, 8(8), 297.
- Jabeen, N., Majid, I. & Nayik, G. A. (2015). Bioplastics and food packaging: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 1, 1117749.
- Jha, S. N., Vishwakarma, R. K., Ahmad, T., Rai, A. & Dixit, K. (2015). Report on Assessment of Quantitative Harvest and Post-Harvest Losses of Major Crops and Commodities in India. Joint Publication of ICAR and All India Coordinated Research Project on Post-Harvest Technology: Ludhiana, India.
- Jiang, Y., Simonsen, J. & Zhao, Y. (2011). Compression-molded biocomposite boards from red and white wine grape pomaces. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(5), 2834–2846.
- Kalpana, K.; Pandey, A. (2017). Value Addition of Fruits and Vegetables for Nutritional Security. *International Journal of Food Science & Technology*, 7(2), 27-34.
- Kaya, S. & Maskan, A. (2003). Water vapor permeability of pestil (a fruit leather) made from boiled grape juice with starch. *Journal of Food Engineering*, 57(3), 295–299.
- Khare, A. & Deshmukh, S. (2016). Studies Toward Producing Eco-Friendly Plastics. *Journal of Plastic Film & Sheeting - Sage Journals*, 22, 193–211.
- Krepker, M., Shemesh, R., Poleg, Y. D., Kashi, Y., Vaxman, A. & Segal, E. (2017). Active food packaging films with synergistic antimicrobial activity. *Food Control*, 76, 117–126.
- Kringel, D. H., Dias, A. R. G., Zavareze, E. D. R. & Gandra, E. A. (2020). Fruit Wastes as Promising Sources of Starch: Extraction, Properties, and Applications. *Stärke*, 72(3–4), 1900200.
- Kumar, N. (2018). Functional properties of pomegranate (*Punica granatum* L.). *Pomegranate*, 83, 172.

- Kumar, N., Neeraj, Pratibha & Trajkovska Petkoska, A. (2021). Improved shelf life and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by using chitosan-pullulan composite edible coating enriched with pomegranate peel extract. *ACS Food Science & Technology*, 1(4), 500–510.
- López-Hernández, L. H., Calderón-Oliver, M., Soriano-Santos, J., Severiano-Pérez, P., Escalona-Buendía, H. B. & Ponce-Alquicira, E. (2018). Development and antioxidant stability of edible films supplemented with a tamarind seed extract. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(3), 975–987.
- Luo, Z., Li, P., Cai, D., Chen, Q., Qin, P., Tan, T. & Cao, H. (2017). Comparison of performances of corn fiber plastic composites made from different parts of corn stalk. *Industrial Crops and Products*, 95, 521–527.
- Madrugá, M. S., de Albuquerque, F. S. M., Silva, I. R. A., do Amaral, D. S., Magnani, M. & Neto, V. Q. (2014). Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch. *Food Chemistry*, 143, 440–445.
- Malmiri, J. H., Osman, A., Tan, C. P. & Rahman, A. R. (2011). Evaluation of effectiveness of three cellulose derivative-based edible coatings on changes of physico-chemical characteristics of 'Berangan' banana (*Musa sapientum* cv. Berangan) during storage at ambient conditions. *International Food Research Journal*, 18(4), 1381.
- Mangaraj, S., Mohanty, S., Swain, S. & Yadav, A. (2019). Development and Characterization of Commercial Biodegradable Films Using Blown Film Extrusion Technology. *Current Science*, 116(6), 997–1002.
- Matheus, J. R. V., Miyahira, R. F. & Fai, A. E. C. (2020). Biodegradable films based on fruit puree: a brief review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–8. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1772715>
- Matta, E., Tavera-Quiroz, M. J. & Bertola, N. (2019). Active edible films of methylcellulose with extracts of green apple (Granny Smith) skin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 1292–1298.
- Maulida, S. M. & Tarigan, P. (2016). Production of starch based bioplastic from cassava peel reinforced with microcrystalline cellulose avicel PH101 using sorbitol as plasticizer. *J. Phys. Conf. Ser.*, 710(1).
- Maysarah, S. (2020). Utilization of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk as fillers for bioplastic from Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) seed starch with Ethylene Glycol Plasticizer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 801(1), 12084.
- McHugh, T. H. & Senesi, E. (2000). Apple Wraps: A Novel Method to Improve the Quality and Extend the Shelf Life of Fresh-cut Apples. *Journal of Food Science*, 65(3), 480–485. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16032.x>
- Medeiros Garcia Alcântara, J., Distante, F., Storti, G., Moscatelli, D., Morbidelli, M. & Sponchioni, M., (2020). Current trends in the production of biodegradable bioplastics: The case of poly hydroxyalkanoates. *Biotechnology Advances*, 42, 107582.
- Meena, R. A. A., Rajesh, B. J., Yukesh, K. R., Yogalakshmi, K. N. & Kumar, G. (2020). Biohythane Production from Food Processing Wastes – Challenges and Perspectives. *Bioresource Technology*, 298, 122449.
- Mkandawire, M. & Aryee, A. N. (2018). Resurfacing and Modernization of Edible Packaging Material Technology. *Current Opinion in Food Science*, 104–112.
- Mohebbi, M., Ansarifard, E., Hasanpour, N. & Amiryousefi, M. R. (2012). Suitability of Aloe vera and gum tragacanth as edible coatings for extending the shelf life of button mushroom. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8), 3193–3202.
- Mortazavian, A. M., Azizi, M. H. & Sohrabvandi, S. (2011). *Edible Films: Qualitative Parameters and Production Methods*.
- Naheed, N. & Jamil, N. (2014). Optimization of biodegradable plastic production on sugar cane molasses in *Enterobacter* sp. SEL2. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45, 417–426.
- Nair, M. S., Saxena, A. & Kaur, C. (2018). Characterization and antifungal activity of pomegranate peel extract and its use in polysaccharide-based edible coatings to extend the shelf-life of capsicum (*Capsicum annum* L.). *Food and Bioprocess Technology*, 11, 1317–1327.
- Nawab, A., Alam, F., Haq, M. A., Lutfi, Z. & Hasnain, A. (2018). Effect of mango kernel starch coatings on the shelf life of almond (*Prunus dulcis*) kernels. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13449.
- Nor, M. Z. M., Ramchandran, L., Duke, M. & Vasiljevic, T. (2015). Characteristic properties of crude pineapple waste extract for bromelain purification by membrane processing. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 7103–7112.
- Oliveira, A. V., da Silva, A. P. M., Barros, M. O., de Sá M. Souza Filho, M., Rosa, M. F. & Azeredo, H. M. C. (2018). Nanocomposite films from mango kernel or corn starch with starch nanocrystals. *Starch-Stärke*, 70(11–12), 1800028.
- Onias, E. A., Araújo, R., Queiroga, T. B. de, Teodosio, A. E., Onias, E. A., Ferreira, A. P., Rodrigues, M. H., Santos, A. D., Oliveira, Á. M. & Medeiros, M. L. (2019). Coating guava postharvest with the use of starch of tamarind seed and pomegranate seed oil. *J. Agric. Sci.*, 11, 313–324.
- Otoni, C. G., Avena-Bustillos, R. J., Azeredo, H. M. C., Lorevice, M. V., Moura, M. R., Mattoso, L. H. C. &

- McHugh, T. H. (2017). Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1151–1169.
- Oun, A. A. & Rhim, J. W. (2015). Preparation and characterization of sodium carboxymethyl cellulose/cotton linter cellulose nanofibril composite films. *Carbohydrate Polymers*, 127, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.073>
- Panara, K., Harisha, C. R. & Shukla, V. J. (2014). Pharmacognostic and phytochemical evaluation of fruit pulp of Tamarindus Indica linn. *Int J Ayurvedic Med*, 5, 37–42.
- Pardo, M. E. S., Cassellis, M. E. R., Escobedo, R. M. & García, E. J. (2014). Chemical characterisation of the industrial residues of the pineapple (Ananas comosus). *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 3(2), 53–56.
- Pérez-Mateos, M., Montero, P. & Gómez-Guillén, M. C. (2009). Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. *Food Hydrocolloids*, 23(1), 53–61.
- Ramadhan, M.O. & Handayani, M.N. (2020). The potential of food waste as bioplastic material to promote environmental sustainability: A review. in: *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, IOP Publishing, 012082.
- Rana, M., Sharma, P., Mahima, R. C. & Sharma, P. (2018). Proximate and phytochemical screening of the seed and pulp of Tamarind indica. *Journal of Medicinal Plants*, 6(2), 111–115.
- Razavi, S. M. A., Amini, A. M. & Zahedi, Y. (2015). Characterisation of a new biodegradable edible film based on sage seed gum: Influence of plasticiser type and concentration. *Food Hydrocolloids*, 43, 290–298.
- Reichert, C. L., Bugnicourt, E., Coltelli, M. B., Cinelli, P., Lazzeri, A., Canesi, I., Braca, F., Martínez, B.M., Alonso, R., Agostinis, L., Verstichel, S., Six, L., De Mets, S., Gómez, E. C., Ilbrücker, C., Geerinck, R., Nettleton, D. F., Campos, I., Sauter, E. & Schmid, M. (2020). Bio-Based Packaging: Materials, Modifications. *Industrial Applications and Sustainability. Polymers*, 12, 1558.
- Riaz, A., Lagnika, C., Abdin, M., Hashim, M. M. & Ahmed, W. (2020). Preparation and characterization of chitosan/gelatin-based active food packaging films containing apple peel nanoparticles. *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 411–420.
- Rodrigues, A. A. M., Silva, S. de M., Dantas, A. L., Silva, A. F. da, Santos, L. da S. & Moreira, D. das N. (2018). Physiology and postharvest conservation of 'Paluma' guava under coatings using Jack fruit seed-based starch. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40, e-352.
- Rózek, A., Achaerandio, I., Güell, C., López, F. & Ferrando, M. (2010). Use of commercial grape phenolic extracts to supplement solid foodstuff. *LWT-Food Science and Technology*, 43(4), 623–631.
- Sablani, S. S., Dasse, F., Bastarrachea, L., Dhawan, S., Hendrix, K. M. & Min, S. C. (2009). Apple peel-based edible film development using a high-pressure homogenization. *Journal of Food Science*, 74(7), E372–E381.
- Sadeghizadeh-Yazdi, J., Habibi, M., Kamali, A. A. & Banaei, M. (2019). Application of Edible and Biodegradable Starch-based Films in Food Packaging: A Systematic Review and Meta-analysis. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 7(3), 624–637.
- Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M. & Lobo, M. G. (2018). Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 512–531.
- Sain, M. (2020). Production of bioplastics and sustainable packaging materials from rice straw to eradicate stubble burning: A Mini-Review. *Environment Conservation Journal*, 21(3), 1–5.
- Santana, R. F., Bonomo, R. C. F., Gandolfi, O. R. R., Rodrigues, L. B., Santos, L. S., dos Santos Pires, A. C., de Oliveira, C. P., da Costa Ilhéu Fontan, R. & Veloso, C. M. (2018). Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 278–286.
- Seyedi, S., Koocheki, A., Mohebbi, M. & Zahedi, Y. (2014). Lepidium perfoliatum seed gum: A new source of carbohydrate to make a biodegradable film. *Carbohydrate Polymers*, 101, 349–358.
- Shafqat, A., Tahir, A., Mahmood, A., Tabinda, A. B., Yasar, A. & Pugazhendhi, A. (2020). A review on environmental significance carbon foot prints of starch-based bio-plastic: A substitute of conventional plastics. *International Society of Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 27, 101540.
- Shalini, R. & Gupta, D. K. (2010). Utilization of pomace from apple processing industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 47, 365–371.
- Sharma, P., Gaur, V. K., Kim, S.-H. & Pandey, A. (2020). Microbial strategies for bio-transforming food waste into resources. *Bioresource Technology*, 299, 122580.
- Singh, R. & Dakshinamoorthy, A. (2019). Comparative study of bioplastic sheet from different varieties of banana peel. *Summer Research Fellowship Programme of India's Science Academics*, 20428.
- Sothornvit, R. & Rodsamran, P. (2008). Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 407–415.
- Srivastava, A. N. & Chakma, S., (2022). Bioreactor landfills: sustainable solution for disposal of municipal solid

- waste. *Advanced Organic Waste Management: Sustainable Practices and Approaches*, 315–328.
- Tak, J. K. & Jain, S. (2019). Development of Banana Edible Film and Assessment of Physicochemical Properties. *Int. Res. J. Pure Appl. Chem*, 20(2), 1–6.
- Talaei, S. & Kiani, A. (2015). Study on permeability of bionanocomposite film based on Tragacanth gum-Chitosan-Graphene oxide. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 5(S3), 25–31.
- Tarkhasi, A. (2016). Effect of edible coating containing pomegranate peel extract on quality and shelf life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillet during refrigerated storage. *J. Food Ind. Microbiol*, 2(2).
- Tsang, Y. F., Kumar, V., Samadar, P., Yang, Y., Lee, J., Ok, Y. S., Song, H., Kim, K.-H., Kwon, E. E. & Jeon, Y. J. (2019). Production of bioplastic through food waste valorization. *Environment International*, 127, 625–644.
- Udayamathi, M., Harini, B., Gowtham, S. S. & Dinakarkumar, Y. (2023). Degradable biopolymers from agro and food waste: potentials and challenges: Degradable biopolymers. *New Environmentally-Friendly Materials*, 2(2), 10–24.
- Ukaogo, P. O., Ewuzie, U., Onwuka. & C. V. (2020). Environmental pollution: causes, effects, and the remedies. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*, 419–429.
- Umaraw, P. & Verma, A. K. (2017). Comprehensive Review on Application of Edible Film on Meat and Meat Products: An Eco-friendly Approach. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(6), 1270–1279.
- Vilarino, M. V., Franco, C. & Quarrington, C. (2017). Food Loss and Waste Reduction as an Integral Part of a Circular Economy. *Frontiers in Environmental Science*, 5(21), 1–5.
- Villacís-Chiriboga, J., Elst, K., Van Camp, J., Vera, E. & Ruales, J. (2020). Valorization of Byproducts from Tropical Fruits: Extraction Methodologies, Applications, Environmental, and Economic Assessment: A Review (Part 1: General Overview of the Byproducts, Traditional Biorefinery Practices, and Possible Applications). *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2), 405–447.
- Vinod, A., Sanjay, M. R. Suchart, Siengchin. & Jyotishkumar, P. (2020). Renewable and sustainable biobased materials: An assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120978.
- Wang, X., Sun, X., Liu, H., Li, M. & Ma, Z. (2011). Barrier and mechanical properties of carrot puree films. *Food and Bioproducts Processing*, 89(2), 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.03.012>
- Westlake, J.R., Tran, M.W., Jiang, Y., Zhang, X., Burrows, A.D. & Xie, M. (2022). Biodegradable Active Packaging with Controlled Release: Principles, Progress, and Prospects. *ACS Food Science and Technology*, 2, 1166–1183.
- Wittenauer, J., Mäcke, S., Sußmann, D., Schweiggert-Weisz, U. & Carle, R. (2015). Inhibitory effects of polyphenols from grape pomace extract on collagenase and elastase activity. *Fitoterapia*, 101, 179–187.
- Xue, L., Liu, G., Parfitt, J., Liu, X., Van Herpen, E., Stenmarck, Å., O'Connor, C., Östergren, K. & Cheng, S. (2017). Missing food, missing data? A critical review of global food losses and food waste data. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6618–6633.
- Yadav, A., Kumar, N., Upadhyay, A., Pratibha & Anurag, R. K. (2023). Edible packaging from fruit processing waste: A comprehensive review. *Food Reviews International*, 39(4), 2075–2106.
- Yuliana, M., Huynh, L.-H., Ho, Q.-P., Truong, C.-T. & Ju, Y.-H. (2012). Defatted cashew nut shell starch as renewable polymeric material: Isolation and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 87(4), 2576–2581.
- Zhang, Y., Zhang, Y., Xu, F., Li, S. & Tan, L. (2018). Structural characterization of starches from Chinese jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam). *Food Hydrocolloids*, 80, 141–148.

## Application of agricultural waste in the production of biodegradable packaging films: A review

Maryam Salek Najat

Ph.D in Food Science, Departments of Food Science and technology, university of Tehran, Tehran, Iran

### Abstract

Increase in demand for petroleum-based plastics due to their non-degradability and the production of dangerous chemicals has caused many concerns. Numerous environmental issues caused by the increasing consumption of plastics have encouraged researchers to create biodegradable plastics from biological sources. On the other hand, the disposal of biodegradable waste produced from different sectors, including agriculture, industries and households, has become a very necessary issue in populous countries. The results of researchers' investigation show that agricultural and food industry wastes are the best sources for the production of biopolymers due to their low cost and ease of access. The processing of fruits and vegetables also leads to the creation of waste in the form of skin, seeds and pomace, and these by-products are rich sources of nutrients and first-class biopolymers (such as polysaccharides and dietary fibers) and bioactive compounds. Therefore, the production of edible films from the waste of the agricultural industry has received increasing attention. Production of film from waste agricultural products, in addition to the possibility of using the content of biopolymers in them (such as pectin and cellulose compounds), can provide excess nutrients and can be used as an alternative to petroleum-based packaging materials. Therefore, by replacing the current plastics with biodegradable types, the produced waste is simply reduced and provides a way to a sustainable future and a greener environment, so the purpose of this study is to review the Application of agricultural waste in the production of biodegradable packaging films.

**Keywords:** Agricultural Waste, biodegradable, Biofilm, packaging,