

Polymerization
Quarterly, 2025
Volume 15, Number 1
Pages 55-64
ISSN: 2252-0449

Using Food Waste for the Production of Biodegradable Plastics

Amir Erfan Amiri, Alireza Mehrgan Nikoo*, Elaheh Layegh Ghadrhan,
Fatemeh Mardiha, and Narges Seyyedi

Department of Food Science and Technology, Faculty of Argicultural Sciences, University of
Guilan, Postal Code 4199613776, Rasht, Iran

Received: 29 November 2024, Accepted: 21 February 2025

Abstract

Synthetic plastics derived from petroleum have a substantial share in the packaging industry and related sectors, due to their special properties in meeting the needs of various industries. As a result, the demand for these plastics is constantly increasing. Despite the advantages and wide applications of synthetic plastics, their non-biodegradability poses a serious threat to humans and animals, especially marine species. Additionally, their continuous production leads to a decrease in petroleum reserves and a significant increase in carbon dioxide emissions. On the other hand, the continuous release of waste from the food processing industry into nature has adverse environmental impacts, due to the large number of organic compounds. Since these wastes contain significant amounts of biodegradable polymers or their precursors, they can be considered suitable sources for the production of bioplastics. Such a substitution can potentially reduce the environmental impacts and economic effects of conventional plastics and food waste. In this article, synthetic plastics are first reviewed, and then studies on the conversion of food waste into bioplastics and the advantages and disadvantages of each are reviewed.

Key Words

packaging,
biocompatible,
food waste,
synthetic plastics,
bioplastic

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: a.mehrgan@guilan.ac.ir

استفاده از پسماند مواد غذایی در تولید پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر

امیرعرفان امیری، علیرضا مهرگان نیکو^{*}، الهه لایق قدردان، فاطمه مردیها و نرگس سیدی
رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده علوم کشاورزی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی،
کد پستی ۴۱۹۹۶۱۳۷۷۶

دریافت: ۱۴۰۳/۹/۹، پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۳

پلاستیک‌های سنتزی مشتق از نفت، به دلیل خواص ویژه‌ای که در رفع نیاز صنایع مختلف دارند، سهم درخور توجهی از صنعت بسته‌بندی و بخش‌های مرتبط را به خود اختصاص داده است. در نتیجه، تقاضا برای این پلاستیک‌ها به‌طور پیوسته در حال افزایش است. با وجود مزایا و کاربردهای گسترده پلاستیک‌های سنتزی، زیست‌تخریب‌ناپذیری آن‌ها، تهدیدی جدی برای انسان‌ها و حیوانات، به‌ویژه گونه‌های دریایی به‌شمار می‌رود. از سوی دیگر، تولید روزافزون آن‌ها موجب کاهش ذخایر نفت و افزایش درخور توجه انتشار کربن دی‌اکسید می‌شود. از سوی دیگر، ورود پسماند تولیدی پیوسته در صنعت فراوری محصولات غذایی به طبیعت، به دلیل مقدار زیاد ترکیبات آلی، آثار زیست‌محیطی سوئی را به همراه دارد. از آنجاکه این پسماند حاوی مقادیر شایان توجهی از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر یا پیش‌ساز آن‌ها هستند، می‌توانند منابع مناسبی برای تولید زیست‌پلاستیک‌ها به‌شمار آیند. این جایگزینی می‌تواند آثار مخرب زیست‌محیطی پلاستیک‌های مرسوم و پسماند مواد غذایی و نیز آثار نامطلوب اقتصادی آن‌ها را کاهش دهد. در این مقاله، ابتدا به بررسی پلاستیک‌های سنتزی پرداخته شده و در ادامه به مطالعات انجام‌شده در ارتباط با تبدیل پسماند مواد غذایی به زیست‌پلاستیک‌ها و مزایا و معایب هر یک اشاره شده است.

بسپارش
فصلنامه علمی
سال پانزدهم، شماره ۱،
صفحه ۶۴-۵۵، ۱۴۰۴
ISSN: 2252-0449

چکیده



امیرعرفان امیری



علیرضا مهرگان نیکو



الهه لایق قدردان



فاطمه مردیها



نرگس سیدی

واژگان کلیدی

بسته‌بندی،
زیست‌سازگار،
پسماند مواد غذایی،
پلاستیک‌های سنتزی،
زیست‌پلاستیک

مقدمه

پلاستیک‌های با منشأ نفت، دارای ویژگی‌های مطلوب بسیاری نظیر دوام زیاد، وزن سبک، هزینه کم، مقاومت در برابر آب هستند. در نگاه اول آن‌ها را برای بسته‌بندی، تبدیل به انتخابی مطلوب و مناسب می‌کند. اما به علت معایبی چون عدم زیست‌تخریب‌پذیری، تولید مقادیر زیاد کربن و پرهزینه بودن بازیافت آنان به دلیل آزاد کردن بخارهای سمی هنگام سوختن، تبدیل به خطری بزرگ برای محیط‌زیست می‌شوند، خطری که در پشت مزایای بالقوه گفته شده، پنهان شده است. افزایش تولید پلاستیک‌های سنتزی و مدیریت غیرقابل قبول پسماند حاصل، مسبب افزایش پراکندگی ذرات پلاستیکی موسوم به میکروپلاستیک‌ها، به‌ویژه در اقیانوس‌ها شده است. نتیجه پژوهشی ۱۱ ساله در اقیانوس آرام، مقدار آن‌ها را ۷۰۰۰ تن تا ۳۵۰۰۰ تن متری نشان می‌دهد [۱].

از سوی دیگر، ایجاد پسماند حاصل از مواد غذایی به علت هدررفت منابع انرژی، آب و زمین آسیب‌هنگفتی بر اقتصاد کشورها وارد کرده است و از لحاظ زیست‌محیطی، موجب آلودگی‌های مختلف از جمله آب‌وهوا می‌شود. براساس مطالعات انجام‌گرفته در ایران گزارش شده است، ۸۵٪ از ۸۲ میلیون تن نیاز غذایی سالانه از طریق کشاورزی تأمین می‌شود. ۳۵٪ آن یعنی ۲۸ میلیون تن هدر می‌رود که تقریباً شش برابر میانگین جهانی است. برای جلوگیری از بروز آلودگی‌های مزبور می‌توان از آن‌ها در فرایندهای زیستی استفاده کرد. این پسماند را که مخلوطی همگن و سرشار از ترکیبات آلی است می‌توان به محصولات باارزش تبدیل کرد. استحصال زیست‌پلیمرها نظیر ژلاتین، کیتین، کیتوسان، پروتئین‌ها، نشاسته و سلولوز از این پسماند و تبدیل آن‌ها به زیست‌پلاستیک، نمونه‌ای از این فرایند زیستی به‌شمار می‌رود. همچنین می‌توان به تولید سلولوز باکتریایی از آب‌میوه‌های فاسد یا استفاده به‌عنوان افزودنی

در صنعت پلاستیک اشاره کرد که به‌طور مکرر تأیید شده است. فرایند تبدیل زیست‌پلیمر به پلاستیک با موانع و مشکلاتی مواجه است که در این میان می‌توان به مواردی چون پیش‌تصفیه دشوار و انتقال پرهزینه پسماند فسادپذیر به سامانه‌های میکروبی اشاره کرد [۲،۳]. در جدول ۱، به مقایسه پایداری و آثار زیست‌محیطی برخی از پلاستیک‌های فسیلی و زیستی اشاره شده است.

تولید پلی‌لاکتیک اسید

پلاستیک‌های حاصل از پلی‌لاکتیک اسید به علت خواص آب‌گریزی، زیست‌تخریب‌پذیری، خاصیت گرمانرمی با دمای ذوب نسبتاً زیاد (170°C)، سفتی زیاد، شفافیت مناسب، نفوذپذیری مطلوب به بخار آب، قابلیت حفظ رطوبت مطلوب، قابلیت آب‌بندی گرمایی و فراورش‌پذیری، مرسوم‌ترین و محبوب‌ترین زیست‌پلاستیک‌ها هستند. آن‌ها به شکل پدها، ظروف و کیسه‌های گرمایی به‌منظور بسته‌بندی مواد غذایی تازه به‌کار می‌روند. باوجود این، به‌دلیلی چون دمای گذار شیشه‌ای کم (در حدود 55°C)، شکل‌پذیری ضعیفی را نشان می‌دهند که کاربرد این پلاستیک‌ها را در مواردی با محدودیت مواجه می‌کند [۳].

تبدیل پسماند مواد غذایی نظیر آب پنیر، پودر ماهی، نشاسته کاساوا، محصولات آب‌کافت لیگنوسلولوز، سلولوز و همی سلولوز، پوست تخم پنبه، کنگر اورشلیم، میوه و ساقه ذرت، ملاس چغندر، سبوس گندم، آرد چاودار، سورگوم شیرین، نیشکر، نشاسته جو، پسماند فراوری هویج و ملاس مصرفی به‌منظور شست‌وشو و نشاسته سیب‌زمینی به پلی‌لاکتیک اسید و تولید پلاستیک مدنظر اثر محسوسی بر کاهش آثار منفی چنین پسماندی دارد [۵،۶].

ویژگی‌های مطلوب پلی‌لاکتیک اسید، اگرچه آینده روشنی در زمینه صنعت پلاستیک را نوید می‌دهد، اما به دلیل معایب پیش‌گفته

جدول ۱- مقایسه پایداری و آثار زیست‌محیطی برخی از زیست‌پلاستیک‌های مرسوم [۴].

زیست‌پلاستیک	بهبود پایداری
پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها	بسیار زیست‌تخریب‌پذیر
پلی‌لاکتیک اسید	تولید با ۳۰٪ تا ۵۰٪ انرژی و ۵۰٪ تا ۷۰٪ انتشار کربن دی‌اکسید کمتر
نشاسته گرمانرم	تولید با ۶۸٪ انرژی و انتشار کربن دی‌اکسید کمتر، بازیافت‌پذیری و زیست‌تخریب‌پذیری
زیست‌یورتان‌ها	تولید با ۲۳٪ انرژی و ۳۶٪ گازهای گلخانه‌ای کمتر
سلولوز و لیگنین	تخریب زیست‌شناختی لیگنین کمتر از سلولوز و کمپوست‌پذیری
پلی‌تری‌متیلن ترفتالات	تولید با ۲۶٪ تا ۵۰٪ انرژی کمتر، عدم استفاده از افزودنی، بازیافت‌پذیری و زیست‌تخریب‌پذیری
پروتئین‌های ذرت و سویا	زیست‌تخریب‌پذیری و کمپوست‌پذیری

کلزا، نخود و نشاسته سیب‌زمینی به عنوان محیط مطلوب کشت باکتری‌های تغییر یافته ژنتیکی است. این فرایند، در محیط حاوی نشاسته خالص با بازدهی مطلوب عمل می‌کند و ترکیبات حاصل، می‌توانند به منظور کاربردهای یک‌بار مصرف در بسته‌بندی میوه‌جات و سبزیجات استفاده شوند. میکروب‌های نوترکیب می‌توانند به دلیل عدم نیاز به شرایط ویژه مانند وجود نیتروژن و فسفر برای انجام فرایند مزبور به طور مطلوب استفاده شوند و جایگاه مؤثری در صنعت تولید پلاستیک و بسته‌بندی به آن‌ها اختصاص یابد [۹].

در خانواده پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها، پلی‌هیدروکسی بوتیرات، شناخته‌شده‌ترین زیرمجموعه است که از لحاظ ساختاری، هوموپلی‌استر تک‌سوارایش بوده، در دریا زیست‌تخریب‌پذیر است و خواص مکانیکی نظیر پلاستیک‌های سنتزی را نشان می‌دهد. تولید صنعتی آن، به دلیل ساختار بلوری دشوار است، هرچند همچنان جای امیدواری است که بتوان از پسماند مواد غذایی نظیر پوست موز در فرایندهای شیمیایی و میکروبیولوژیکی استفاده کرد تا بتوان این پلاستیک را به مرحله صنعتی و تولید انبوه سوق داد [۱۰].

تولید زیست‌پلاستیک‌های سلولوزی و نشاسته‌ای

پلیمرهای سلولوزی و نشاسته‌ای به وفور در پسماند مواد غذایی یافت می‌شوند و این نوید را می‌دهند که بتوان با فرایندهای زیستی، پلاستیک‌های متنوع و زیست‌تخریب‌پذیر از آن‌ها تولید کرد. پلاستیک‌های تجدیدپذیر سلولوزی، اساساً استرهای سلولوزی هستند که قابلیت بالقوه مناسبی را برای کاربرد در صنعت نشان داده‌اند. اما استفاده از آن‌ها به دلیل معایبی چون استحکام کششی کم در صنعت محدود است. پژوهش‌ها بیانگر استخراج مقدار فراوان و مقرون‌به‌صرفه سلولوز از پسماندی مانند کاه گندم، برگ‌های خشک نخل خرما، آناناس و موز است. با وجود این، بیشتر این پسماندها برای تولید انرژی استفاده می‌شود. به طور کلی مشخص است، ویژگی‌ها و مقدار سلولوز بر رفتار و ویژگی‌های نهایی زیست‌پلاستیک مدنظر، اثر درخور توجهی می‌گذارند. برای نمونه می‌توان به رابطه معکوس مقدار سلولوز با استحکام کششی و خمشی اشاره کرد [۱۱].

نشاسته، پلیمری طبیعی، دسترس‌پذیر، زیست‌تخریب‌پذیر و ارزان‌قیمت است که ویژگی‌های پیش‌گفته، استفاده از آن را برای تولید زیست‌پلاستیک‌ها ممکن می‌سازد. نشاسته به دو بخش آمیلوز و آمیلوپکتین تقسیم می‌شود که مقدار هر یک در تعیین خواص زیست‌پلاستیک حاصل مؤثر است. شواهد حاکی از آن است که افزایش مقدار آمیلوز، مسبب کاهش عمل‌آوری است و به دلیل برقراری پیوندهای محکم با سایر پلیمرها، جداسازی فازها

نیازمند اصلاح و بهبود است. این کار می‌تواند با استفاده از نانوکامپوزیت‌ها و سایر ترکیبات پرکننده انجام گیرد. پژوهش‌ها، اثر مطلوب اپوکسی منیزیم متیل‌آمین را بر پایداری گرمایی پلی‌لاکتیک اسید، اثر نانوذرات تیتانیم اکسید، پلی‌اسپارتیک اسید و مشتقات آن بر تخریب‌پذیری این زیست‌پلیمر، اثر نانوپرکننده‌های ۴٪ کائولینیت و کیتوسان را بر خاصیت سدگری اکسیژن آن، اثر نشاسته بر بهبود برهم‌کنش‌های سطحی و اثر پلی‌کاپرولاکتون با وزن مولکولی کم بر استحکام کششی و شکل‌پذیری این زیست‌پلیمر را به اثبات رسانده‌اند. در پاره‌ای موارد محصولات با ویژگی‌های مشابه با محصولات پلاستیکی مرسوم به دست آمده است، نظیر پلی‌لاکتیک اسید، دی‌کومیل پراکسید و آکریلونیتریل بوتادی‌ان استیرن که آمیخته‌ای با ویژگی‌های پلی‌استیرن است. اشاره به این نکته ضروری است که در صورت ناسازگاری پلیمرهای آمیخته با وجود بهبود برخی از ویژگی‌ها همانند انعطاف‌پذیری، ممکن است استحکام و مقاومت کششی آن‌ها کاهش یابد. به عنوان مثال، این ویژگی در اختلاط لاکتیک اسید با پلی‌بوتیلن سوکسینات یا پلی‌بوتیلن آکریلات استیرن، مشاهده شده است [۶].

تولید پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها

پلاستیک‌های گرمانرم پلی‌هیدروکسی آلکانوات به دلیل زیست‌تخریب‌پذیری مناسب و برخورداری از ویژگی‌های نزدیک به پلاستیک‌های سنتزی به عنوان یکی از ارزشمندترین جایگزین‌ها برای پلاستیک‌های مدنظر شناخته می‌شوند. فرایندهای زیستی تبدیل پسماند مواد غذایی به این پلاستیک‌ها می‌تواند روی لاکتوز، پساب چپیس سیب‌زمینی، ویفر، شیرینی، ملاس قند و نشاسته کاساوا به وسیله باکتری‌های مولد مونومر هیدروکسی آلکانوات اعمال شود که بازدهی مطلوبی را نیز نشان می‌دهند. برای مثال، اشرشیا کلی و کوپریاویدوس نکاتور به ترتیب برای تولید مونومر مدنظر در بسترهای آب پنیر و روغن‌های خوراکی استفاده شده قرار گرفته‌اند. پساب روغن‌های خوراکی، به ویژه سرخ‌کردنی‌ها می‌تواند به دلیل وجود محصولات اکسایش β به عنوان واسطه در واکنش‌ها، منبع مناسبی برای تحقق این کار باشد. این مسئله می‌تواند تحول شگرفی را در تولید انبوه پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر رقم بزند و مسئله پسماند صنایع روغن‌های خوراکی را با راه‌حل مفیدی روبه‌رو کند [۸-۶].

استفاده از روش‌های مهندسی ژنتیک و استخراج ژن‌های مسئول تولید مونومر هدف، می‌تواند روش مناسبی برای تولید انبوه این پلاستیک باشد. نتایج پژوهش‌ها نشانگر استفاده از پسماند تنباکو،

را با مشکل روبه‌رو می‌کند. اما کیفیت مکانیکی زیست‌پلاستیک به‌دست‌آمده را به‌مقدار زیادی افزایش می‌دهد. پسماند مواد غذایی، مانند جوت، کتان، رامی و الیاف نخل روغنی مانند آنچه که درباره سلولوزها اشاره شد، می‌توانند برای تولید زیست‌پلاستیک‌های نشاسته‌ای، مورد توجه و استفاده قرار گیرند و محصولاتی را به‌دست دهند که از خواص مکانیکی مطلوب در طول شکست، مدول کشسانی، سبکی و قیمت کم بهره‌مند باشند. پژوهش‌های متعددی درباره نشاسته سیب‌زمینی از میان منابع نشاسته انجام گرفته است. نتایج نشان می‌دهد، در حالت خالص، نتایج مطلوب و در حالت آمیخته با سایر پلیمرها، کامپوزیت تقویت‌شده حاصل می‌شود. افزودنی‌هایی که برای بهبود ویژگی‌های مختلف پلاستیک‌های نشاسته سیب‌زمینی به‌کار رفته‌اند، شامل استفاده از اوره به‌منظور جلوگیری از ترک‌خوردگی و پلی‌کاپرولاکتون همراه با سلولوز استات برای افزایش آب‌گریزی آن است. استفاده از نرم‌کننده‌ها به افزایش انعطاف‌پذیری و فراورش‌پذیری نشاسته و بروز رفتار گرم‌انرم در آن منجر می‌شود. زیست‌پلاستیک‌های نشاسته سیب‌زمینی، افزون بر زیست‌تخریب‌پذیری مطلوب، نفوذپذیری ناچیزی به اکسیژن دارند و می‌توانند هنگام استفاده در بسته‌بندی روغن‌های نباتی مانع از بروز فساد اکسایشی شوند. در پژوهش‌های جدید، کامپوزیتی از نشاسته سیب‌زمینی اصلاح‌شده ژنتیکی و گلو تن گندم تهیه شده است که سدگری مطلوبی را در برابر گازها نشان می‌دهد و امکان استفاده در بسته‌بندی‌های چندلایه را فراهم می‌کند [۹].

تولید زیست‌پلاستیک‌های پروتئینی

پروتئین‌های گیاهی و حیوانی مانند زین، سویا، آب پنیر، کازئین، کلاژن و ژلاتین به‌دلایلی نظیر ظرفیت مناسب تشکیل فیلم، هزینه کم، ویژگی‌های زیست‌تخریب‌پذیری و سدگری مطلوب در برابر اکسیژن، بو و سایر گازها به اهداف درخور توجهی در جایگزینی پلاستیک‌های سنتزی تبدیل شده‌اند. هرچند که برخی ویژگی‌های ضعیف مانند عدم سدگری، نفوذ بخار آب را نشان می‌دهند. برای بیان مثالی از موفقیت این فرایند، می‌توان به پوشش زین حاصل از ذرت اشاره کرد که امروزه برای بسته‌بندی آجیل و انواع مختلف مواد غذایی استفاده می‌شود و می‌تواند نقش مؤثری به‌عنوان زیست‌پلاستیک ایفا کند [۱۲].

موارد بیشتری از کاربرد پروتئین‌های سویا ارائه شده است، چرا که فیلم به‌دست‌آمده به‌دلیل خاصیت سدگری اکسیژن و رطوبت، یکی از پرستفاده‌ترین فیلم‌های خوراکی، به‌ویژه در سامانه‌های بسته‌بندی چندلایه است. هنگامی که از فیلم‌های مزبور برای

محصولات گوشتی استفاده می‌شود، اکسایش لیپیدها و ازدست دادن رطوبت سطحی به تأخیر می‌افتد. بدین سبب می‌تواند به‌عنوان عامل میکروکپسول‌کننده در طعم‌دهنده‌ها، ترکیبات دارویی، میوه‌ها، سبزیجات، پنیر و پوشش انواع کیک‌های رژیمی و محصولات مرطوب نیز استفاده شود [۶، ۱۳].

در میان صنایع غذایی، صنعت لبنیات بیشترین و مخرب‌ترین پسماند را دارد که آب پنیر، بخش عمده آن را تشکیل می‌دهد. این پسماند به‌دلیل وجود مقادیر فراوان ترکیبات آلی، اثر محسوس و خطرناکی را بر محیط‌زیست تحمیل می‌کند. فیلم‌های پروتئین‌های آن، در مقایسه با سایر فیلم‌های پروتئینی یا پلی‌ساکاریدی، خواص مکانیکی و بازدارندگی بهتری را نشان می‌دهند. هرچند که به‌منظور بهبود نفوذناپذیری در برابر رطوبت و کاهش میزان شکنندگی به نرم‌کننده‌ها نیاز دارند و پس از اصلاح می‌توان برای تولید کیسه‌ها، روکش‌ها، کپسول‌ها و موارد مشابه استفاده کرد [۱۰]. در یکی از پژوهش‌ها از این پوشش به‌منظور نگهداری توت فرنگی استفاده شده است که نتایج رضایت‌بخشی را درباره حفاظت از آنتوسیانین‌ها در حالت منجمد داشته و مسبب افزایش زمان نگهداری توت فرنگی شده است. در همین راستا، ترکیب ملانین دانه‌های هندوانه با پروتئین‌های آب پنیر، موجب افزایش انسداد نور فرابنفش، سدگری نفوذ گازها، رطوبت و استحکام مکانیکی شده است. این ترکیب قابلیت بالقوه افزایش فعالیت ضداکسندگی نشان داده و در سامانه بسته‌بندی فعال، پانسمان زخم و کاربردهای زیست‌پزشکی مفید است. پروتئین‌های کازئین کمتر در فرایند زیستی برای تولید پلاستیک، استفاده می‌شوند. زیرا بخش کمتری از پسماند صنایع لبنی به آن‌ها اختصاص دارد و امکان توجیه اقتصادی آن وجود ندارد. هرچند که می‌توان از آن‌ها به‌عنوان افزودنی استفاده کرد. نتایج پژوهش‌ها حاکی از آن است که ترکیب پروتئین‌های کازئین با پروتئین‌های آب پنیر موجب افزایش استحکام مکانیکی فیلم‌های به‌دست‌آمده می‌شود [۱۳].

پروتئین‌های کلاژن، نوعی پروتئین‌های ساختاری هستند که از پسماند حیوانی، استخراج شده و استفاده می‌شوند و به‌دلیل ویژگی‌های مناسب، مورد توجه قرار گرفته‌اند. فیلم‌های حاصل از این پروتئین‌ها، به‌سبب ایمنی و انعطاف‌پذیری فرایند، خواص مکانیکی، کشسانی مطلوب و سدگری زیاد اکسیژن در رطوبت نسبی صفر می‌توانند از گزینه‌های جایگزینی پلاستیک‌های مشتق از نفت باشند. کاربرد این فیلم‌ها در بسته‌بندی فرآورده‌هایی نظیر سوسیس و کالباس، پذیرش شده است چراکه به‌عنوان غشای سدگر موجب حفاظت از فرآورده در برابر رطوبت و اکسیژن، حفظ یکپارچگی

شکل شناختی، کاهش میزان نفوذپذیری بخار و در نهایت ماندگاری رطوبت، عطر و طعم می‌شوند. در همین زمینه، نتایج قابل قبولی از به کارگیری پوشش کلاژن لیزوزیم برای بهبود کیفیت فیله ماهی قزل آلا به دست آمده است که بافت فیله را از هرگونه فساد میکروبی و رشد باکتری، مصون می‌دارد. افزون بر استفاده مستقیم از پروتئین‌های کلاژن، پژوهش‌های مختلف کاربرد آن‌ها را به عنوان افزودنی در سایر پلیمرها نظیر فیلم‌های هیدروکسی پروپیل متیل سلولوز نشان داده که به بهبود خواص مکانیکی، زیست سازگاری و پایداری گرمایی منجر شده‌اند [۱۰، ۱۴].

با اعمال گرما به کلاژن در شرایط مناسب، می‌توان به ژلاتین دست یافت که تولید زیست پلاستیک و پوشش‌های بسته بندی از آن، به ویژه برای فراورده‌های دریایی مانند انواع ماهی در دستور کار پژوهش‌های چند دهه اخیر قرار گرفته است. برای دستیابی به عملکرد مؤثر پوشش‌های ژلاتین، باید حتماً از افزودنی‌های مناسب و سازگار در ساختار آن استفاده کرد. در پژوهش‌های متعدد، استفاده از عصاره انبه، آلوئه‌ورا و اپی گالوکاتچین گالات جای به عنوان افزودنی بررسی شده‌اند که به ترتیب، مسبب افزایش مهار رادیکال‌ها و ویژگی‌های ضد اکسندگی و بهبود سایر خواص پوشش‌ها شده‌اند [۱۰، ۱۵].

تولید زیست پلاستیک

پسماند مواد غذایی دریایی مانند ماهی‌ها، خرچنگ‌ها و جلبک‌های دریایی سرشار از درشت مولکول‌های دریایی مانند پروتئین‌های ماهیچه تارچه‌ای (myofibrillar)، کیتین، کیتوسان، آلزینات و کاراگینان است. این درشت مولکول‌ها، ویژگی‌های پلیمرمانند نشان می‌دهند و بدین سبب برای تولید زیست پلاستیک‌ها در صنعت بسته بندی مواد غذایی بررسی شده‌اند. از سال ۱۹۶۱ تا سال ۲۰۱۸ میزان تولید محصولات دریایی رشد شایان توجهی داشته است که می‌تواند زمینه پژوهش‌ها و نوآوری‌های جدید در صنایع مختلف باشد. پلیمرهای مزبور به دلیل قابلیت تشکیل ژل، تخریب پذیری به وسیله میکروب‌ها و آنزیم‌های کیتیناز و کاراژیناز و وجود ایمنی زیستی، مواد خام ایده آلی برای تولید زیست پلاستیک‌ها در صنعت بسته بندی محسوب می‌شوند.

کیتین نوعی پلیمر زیست تخریب پذیر است که در ساختار بدن حیوانات دریایی مانند خرچنگ‌ها به وفور یافت می‌شود و به علت قطبیت کم در آب حل نمی‌شود. کیتوسان تا ۵۵٪ از استیل زدایی کیتین در شرایط مناسب به دست می‌آید. کیتوسان برخلاف سایر پلیمرها، ماهیت کاتیونی دارد و در ترکیب با سایر ویژگی‌های پیش گفته

آن‌ها را به ترکیبات جذابی برای تولید زیست پلاستیک‌ها مبدل می‌کند [۶، ۱۶]. برای مثال، استخراج کیتوسان از پسماند خرچنگ و استفاده از آن با هدف تولید زیست پلاستیک موجب تشکیل فیلمی انعطاف پذیر و شفاف می‌شود. این فیلم‌ها را می‌توان به دلایلی نظیر حفظ رطوبت کمتر نسبت به فیلم‌های معمولی، ویژگی‌های ضد اکسندگی و ضد میکروبی، جلوگیری از خروج طعم دهنده‌ها و قهوه‌ای شدن آنزیمی در صنعت بسته بندی به کار برد [۶].

دو نوع دیگر از درشت مولکول‌های دریایی مناسب برای تولید زیست پلاستیک، آلزینات و کاراگینان است که خواص تقریباً مشابهی را با دو پلیمر پیش گفته نشان می‌دهند و بدین سبب در صنعت بسته بندی و تولید زیست پلیمر مورد توجه قرار گرفته‌اند. هر یک از دو پلیمر، ممکن است نسبت به دیگری ویژگی‌های مناسب تری داشته باشد. برای نمونه، فیلم سدیم آلزینات می‌تواند خواص ضد میکروب بیشتری را نسبت به کاراگینان نشان دهد. استفاده از غلظت ۰/۵٪ کاراگینان در بسته بندی هوشمند سیب قابلیت حفظ رنگ و کاهش تعداد ریزاندامگان میان دما دوست (mesophile) و سرما پرورد (psychrotroph) را دارد و میزان تنفس اولیه را به میزان ۵٪ در سیب‌ها کاهش داده و ماندگاری آن‌ها را تا ۲ هفته افزایش می‌دهد [۱۷].

تولید زیست پلاستیک‌ها از پولولان

پولولان، صمغ گلکان محلول در آب است که توسط قارچ اورئوبازیدیوم پولولانس تولید می‌شود و به وسیله سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا ایمن اعلام شده است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند، افزون بر محیط کشت‌های ویژه می‌توان از پسماند کشاورزی غنی از کربن و نیتروژن نظیر پوست سیب زمینی، ملاس، پساب نارگیل، عصاره تفاله انگور، پسماند روغن زیتون، آب پنیر، هسته خرما، باگاس نیشکر یا کاساوا به عنوان بستر رشد استفاده کرد [۱۸]. فیلم‌های پولولان به علت سدگری اکسیژن، خوراکی بودن و حل پذیری سریع در آب می‌توانند برای جلوگیری از اکسایش چربی‌ها و ویتامین‌ها در پوشش مواد غذایی استفاده شوند. بنابر پژوهش‌های انجام گرفته، آب کافت سیب زمینی شیرین به تولید این محصول به مقدار ۲۹/۴۳ g.L⁻¹ منجر شده است. این نتیجه حاکی از مطلوبیت این ماده غذایی در تولید پولولان است. براساس پژوهش‌های انجام شده، بهترین منبع نیتروژن شناخته شده برای تولید پولولان، عصاره مخمر است که مقدار تولید پولولان را به ۱۹/۲ g.L⁻¹ می‌رساند. پسماند مواد غذایی نظیر نشاسته، روغن زیتون، ملاس و به ویژه عصاره پوست انگور، می‌توانند پولولان را با

خلوص ۹۷/۴٪ تولید کنند [۱۹].

پژوهش‌ها ثابت کرده‌اند، استفاده از مکمل‌های معدنی مختلف مانند آمونیوم نیترات و پتاسیم هیدروژن فسفات می‌تواند بازدهی تولید پولولان را به میزان $30/8 \text{ g.L}^{-1}$ و در صورت استفاده در بستر غنی از کربن باگاس کاساوا به $27/5 \text{ g.kg}^{-1}$ افزایش دهد [۱۹].

تولید زیست‌کامپوزیت‌های زیست‌پایه

تولید پلاستیک‌های خالص همراه با افزودنی با وجود مزایای ویژه، به دلیل برخی از خواص محدودیت‌زا، نمی‌تواند جایگاه لازم را آن‌طور که انتظار می‌رود در سامانه بسته‌بندی و سایر صنایع پیدا کند. این مسئله سبب انجام پژوهش‌های بیشتر در تولید و بررسی زیست‌کامپوزیت‌های زیست‌پایه شده است. ترکیباتی از این دست، سامانه تشکیل شده از چند فاز ماتریس متفاوت هستند که موجب تغییرات خواص گوناگون محصول نهایی با ارتقا یا کاهش برخی یا همه ویژگی‌های ماتریس اصلی یا پایه می‌شود. از جمله کامپوزیت‌های مشهور، می‌توان به سامانه‌های بسته‌بندی فعال و هوشمند اشاره کرد که می‌توان به وسیله پسماند مواد غذایی آن‌ها را تولید و اصلاح کرد و به‌طور گسترده در صنایع غذایی به کار برد [۲۰].

بدین نکته باید اشاره کرد، برای افزایش زیست‌تخریب‌پذیری زیست‌کامپوزیت‌ها، باید از ساختار کاملاً طبیعی استفاده شود و به نقش مؤثر اجزای ترکیب در بهبود خواصی نظیر استحکام مکانیکی و کششی توجه شود. برای مثال، استفاده از عصاره پالپ شاه‌توت استحکام مکانیکی را در رزین اپوکسی، برخلاف لیموشیرین کاهش می‌دهد. در نمونه دیگر، پسماند سیب‌زمینی سرعت تخریب پلی‌هیدروکسی بوتیرات را افزایش می‌دهد که برخلاف استحکام مکانیکی با مقدار لیف رابطه مستقیم دارد. الیاف موز، به‌عنوان ماتریس مطلوب برای کاهش هزینه مواد اولیه و افزایش سرعت زیست‌تخریب پلی‌لاکتیک اسید، شناخته شده است. از تفاله‌های توت خرس (cranberry)، زغال‌اخته و سیب نیز به‌منظور تولید تخته‌های خمیری قالب‌گیری تقویت‌شده برای بسته‌بندی، استفاده شده است [۲۱]. تفاله انگور که قسمت بزرگی از پسماند صنایع شراب‌سازی و ماء‌الشعیر را تشکیل می‌دهد در صورت ترکیب با پلی‌ساکاریدها و ماتریس آرد سویا سبب افزایش سدگری رطوبت و تولید کامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر و رنگی می‌شود. بدین صورت از هسته انگور در ساختار فیلم‌های کیتوسان فعال برای بسته‌بندی نان استفاده شده که سبب افزایش ماندگاری آن شده است. از نانوبلورهای پسماند مواد غذایی نیز در ساختار کامپوزیت‌ها استفاده شده است که می‌توان به استفاده از نانوسلولوزهای پسماند

سیب‌زمینی و تفاله هویج اصلاح‌شده با نانوذرات نقره به‌ترتیب در ماتریس‌های پلی‌وینیل الکل، نشاسته و پلی‌لاکتیک اسید اشاره کرد. این ترکیبات به افزایش مدول کششی، خاصیت آب‌دوستی، گرمایی و ضدباکتری در ماتریس‌های مدنظر منجر شده است. پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند، ترکیب چند ماتریس مختلف مثل عصاره دانه گریپ فروت، پروتئین سبوس جو و لایه‌های ژلاتین باعث می‌شود تا طراوت ماهی بسته‌بندی‌شده، حفظ شود و کیفیت گوشت در طول نگهداری بهبود یابد. همچنین ترکیب آرد پوست انبه، گلیسرول و فیلم‌های خوراکی، سبب افزایش نفوذپذیری، خواص ضدآکسندگی و آب‌گریزی می‌شود، مانند ویژگی‌هایی که در پوشش‌های کیتوسان و آلژینات غنی‌شده از عصاره انار در پوشش گاوآ دیده شده است. خواص ضدآکسندگی ترکیب افزوده‌شده با ماتریس پلیمری، نقش مؤثری بر ویژگی‌های زیست‌کامپوزیت به‌دست‌آمده دارد. برای مثال، عصاره تمشک برخلاف زغال‌اخته و شاه‌توت، این ویژگی را در فیلم‌های پروتئین‌های سویای جداسازی‌شده افزایش می‌دهد و برای تولید فیلم مناسب است [۱۱]. به‌طور کلی، زیست‌پلاستیک‌های تولیدی از پسماند میوه‌جات و سبزیجات از تنوع زیادی برخوردارند که برخی از محصولات آن‌ها در جدول ۲ تجزیه و تحلیل شده‌اند.

از سوی دیگر، بخش بزرگی از صنایع غذایی تولیدی در سراسر جهان به صنایع چای، قهوه و کاکائو اختصاص دارد. پسماند این صنایع می‌تواند آسیب‌های نه‌چندان جدی را به محیط‌زیست و اقتصاد وارد کند که تبدیل آن‌ها به زیست‌پلاستیک‌ها می‌تواند این آسیب‌ها را کاهش دهد. پسماند چای سرشار از ترکیبات ضدآکسند است که می‌توان آن را در تولید بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند استفاده کرد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند، زیست‌فیلم‌های حاصل از عصاره چای همراه با ماتریس پروتئین دانه، ماندگاری گوشت گاو تازه را با جلوگیری از اکسایش چربی در دمای 4°C به مدت ۱۰ روز افزایش می‌دهند. در میان انواع چای، چای سبز افزون‌بر بهبود خواص مکانیکی در ماتریس‌های کیتوسان، ژلاتین، نشاسته، پروتئین ماهیچه‌تارچه‌ای و آلژینات، می‌تواند سبب ایجاد فعالیت ضد میکروب در پلیمر کیتوسان شود. همچنین، چای سبز قابلیت مطلوبی را در افزایش ماندگاری سوسیس‌ها نشان می‌دهد [۱۴، ۲۱].

افزودن ذرات لیگنوسلولوزی پوسته قهوه به پلی‌هیدروکسی بوتیرات و پلی‌لاکتیک اسید، خواص مکانیکی و پایداری گرمایی را به‌طور مطلوبی افزایش داده است که مقدار پوسته با درجه بلورینگی و جذب رطوبت به‌ترتیب رابطه معکوس و مستقیم دارد [۲۱]. پسماند کاکائو، ویژگی‌هایی فراتر و مؤثرتر را نسبت به این دو ماده غذایی، نشان داده‌اند و در ادغام با پلیمرهای غیرزیستی،

جدول ۲- تجزیه و تحلیل بعضی از پلاستیک‌های زیستی حاصل از ضایعات میوه‌جات و سبزیجات [۱۱].

منبع ضایعات	نوع کامپوزیت	روش تهیه	بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی
پوست موز	زیست فیلم بر پایه پکتین	تشکیل فیلم	استحکام کششی MPa ۷/۹۲-۱/۲۱ و ازدیاد طول تا پارگی ۰/۷۷-۴/۶٪
	زیست کامپوزیت	تشکیل فیلم	استحکام کششی MPa ۳۹-۵ و ازدیاد طول تا پارگی ۱-۹٪
	زیست کامپوزیت بر پایه مواد شیمیایی	تشکیل فیلم	استحکام کششی MPa ۰/۲۲۸، ازدیاد طول تا پارگی ۱۸/۷۷٪ و مدول یانگ MPa ۱/۵۳
	زیست کامپوزیت بر پایه مواد طبیعی	تشکیل فیلم	استحکام کششی MPa ۰/۱۵۰، ازدیاد طول تا پارگی ۱۳/۹۷٪ و مدول یانگ MPa ۱/۸۸
پوست کاساوا	زیست کامپوزیت	تشکیل فیلم	استحکام کششی MPa ۳۵/۲۸-۹۶/۰۴، ازدیاد طول تا پارگی ۱۴/۸۷-۵۲/۲۷ و مقاومت در برابر آب ۷۸/۴۰-۲۲/۶۸٪
	زیست کامپوزیت	تشکیل فیلم	استحکام کششی MPa ۲/۶۸-۰/۴۰ و ازدیاد طول تا پارگی ۳۰/۳۷-۹۴/۲۵٪
پسماند هویج	زیست فیلم بر پایه سلولوز	تشکیل فیلم	مدول یانگ MPa ۱۳۰۰، ازدیاد طول تا پارگی ۶٪ و استحکام نهایی MPa ۳۷
پسماند مرکبات	زیست فیلم بر پایه پکتین	قالب گیری	مدول یانگ MPa ۱۳۵۰-۱۸۷ و ازدیاد طول تا پارگی ۱/۴-۴/۵ با زیست توده قارچی
الیاف کنف	زیست کامپوزیت	قالب گیری	مدول یانگ MPa ۶۲/۵۱-۹۷/۰۸ و تنش کششی در شکست MPa ۱/۲۰-۰/۴۶
پوست پرتقال	زیست فیلم بر پایه پکتین و سلولوز	تشکیل فیلم	استحکام کششی MPa ۲۸-۳۶ و زمان ۱۵ روز برای تخریب ۹۰٪
آرد پوست جک فروت	کامپوزیت پلی وینیل الکل	ریخته گری محلول	مدول یانگ MPa ۱۹۶-۱۵۷، ظرفیت جذب آب ۱۰٪ و میزان انتقال آب ۴۶٪

مسبب تولید زیست کامپوزیت‌های فعال شده‌اند. نتایج پژوهش‌ها تأیید کرده‌اند، استفاده از پوسته دانه‌های کاکائوی میکرونی شده در ماتریس پلی‌دی‌متیل سیلوکسان، به بهبود آب‌گریزی، سدگری رطوبت و از بین رفتن مطلوب‌تر رادیکال‌ها، منجر می‌شود [۱۴]. به منظور اشاره به سایر ترکیبات استفاده شده در این زمینه، می‌توان از چغندر قرمز یاد کرد. پژوهشگران موفق شده‌اند تا از پسماند‌های آن برای فعال‌سازی الاستومرهای زیستی نشاسته استفاده کنند که به بروز پیامدهایی نظیر حفظ خاصیت ضد اکسندگی بتائین آزاد شده، افزایش خواص آب‌گریزی و عدم تغییر آن در اثر تماس با آب و افزایش مدول یانگ منجر شده است [۱۴].

پسماند دامپروری یکی دیگر از ترکیبات مورد توجه و علاقه در تولید زیست کامپوزیت‌هاست. نشان داده شده است، در صورت ترکیب این پسماند با ماتریس‌های پلیمری، برخی از ویژگی‌های آن را به‌ازای تضعیف سایر ویژگی‌ها، بهبود می‌بخشد. پر مرغ، نمونه‌ای از این ترکیبات است که آثار چندان مطلوبی ندارد. زیرا سبب بروز خواص مکانیکی، وزن سبک و عایقی گرمایی در ماتریس‌های مدنظر، به‌عنوان مثال پلی‌لاکتیک اسید، می‌شود.

بدین ترتیب، مدفوع گاو را با اندازه‌های ۴ mm با ماتریس مزبور ترکیب کردند. به دلیل وجود ترک‌های ریز و تخلخل ساختار آن، استحکام خمشی بهبود یافت، اما استحکام کششی، ضربه‌ای و پایداری گرمایی آن کاهش یافت. در نتیجه، ترکیب قابل استفاده‌ای را ایجاد نکرده است. برخلاف نتایج نامطلوب دو ترکیب مورد اشاره، پژوهش‌های انجام شده روی کلاژن استخراج شده از پوست بز در تولید فیلم‌های زیست کامپوزیتی چندمنظوره، تولید زیست کامپوزیت‌های انعطاف‌پذیر، نیمه شفاف، رسانا، مغناطیسی و با ضخامت میکرون را گزارش داده است [۲۱].

همان‌طور که پیش‌تر بررسی شد، صنایع تولید روغن‌های خوراکی، پسماند آسیب‌زایی را بر محیط‌زیست تحمیل می‌کنند که در تمام مراحل تولید روغن، از استخراج تا مصرف، دیده می‌شود. همانند سایر پسماند‌ها، تبدیل آن‌ها به زیست کامپوزیت و زیست پلاستیک می‌تواند یکی از گزینه‌های مطلوب برای کاهش آثار آن‌ها بر محیط‌زیست باشد. مطالعات تجربی نشان داده‌اند، وقتی پودر نارگیل در ماتریس پلی‌لاکتیک اسید ترکیب می‌شود، استحکام کششی را کاهش داده، اما کشسانی آن را افزایش می‌دهد.

سمی و نامطلوبی می‌گذارند. به‌منظور جلوگیری از بروز چنین پیامد خطرناکی، عملیات عمل‌آوری سطح روی زیست‌کامپوزیت‌ها اعمال می‌شود. به‌طورکلی این زیست‌کامپوزیت‌ها و تنوع زیاد ترکیبات حاصل از پسماند مواد غذایی، می‌توانند آینده درخشانی را برای صنعت بسته‌بندی و البته زندگی موجودات کره زمین به ارمغان آورند. این هدف بزرگ به‌همراه تلاش‌های دانشمندان، نوید تجربیات، پژوهش‌ها و عملیات پیچیده و نوآورانه‌ای را می‌دهد که به‌منظور جایگزینی پلاستیک‌های مرسوم و سنتزی انجام می‌شوند [۱۱].

نتیجه‌گیری

پلاستیک‌های سنتزی و پسماند مواد غذایی با آثار زیان‌بار آن‌ها بر محیط‌زیست و زندگی بشر شناخته شده‌اند. دهه‌ها پژوهش و آزمون به‌منظور حذف یا کاهش این آثار انجام گرفته است. استفاده از پسماند مواد غذایی سرشار از ترکیبات آلی و پلیمری برای تولید پلاستیک‌های موسوم به زیست‌پلاستیک‌ها، فرایندی است که برای تحقق این هدف بررسی شده‌اند. براساس پژوهش‌ها، این قابلیت بالقوه وجود دارد که بتوان زیست‌پلاستیک‌های پلی‌لاکتیک اسید، پلی‌هیدروکسی آلکانوات، کیتین و کیتوسان و پروتئین را از پسماند حاصل از فرایندها در صنایع غذایی تولید کرد. همچنین، می‌توان از این پسماند به‌عنوان افزودنی در ماتریس‌های پلیمری یا زیست‌کامپوزیت‌های زیست‌پایه استفاده کرد و محصولات زیست‌تخریب‌پذیر را تولید کرد. این محصولات می‌توانند افزون‌بر ویژگی‌های مدانتظار در صنعت بسته‌بندی، ویژگی‌های هوشمندی را نشان دهند. همان‌طور که انتظار می‌رود، همه آزمون‌ها نتیجه موفقیت‌آمیز نداشتند و پلاستیک‌های تولیدی ویژگی‌های مدنظر را نداشتند. اما پژوهش‌های موفقیت‌آمیزی هم از ترکیب چند ماده غذایی در ماتریس‌های پلیمری انجام شده که محصول متفاوت و باارزشی به‌دست آمده است. این رخداد، مثال بارز با یک تیر دو نشان زدن است، همان‌طور که پلاستیک‌های سنتزی با روند کندی با زیست‌پلاستیک‌ها جایگزین می‌شوند، ردپای پسماند مواد غذایی نیز در طبیعت و زندگی بشر کاهش می‌یابد.

مراجع

1. Eriksen M., Lebreton L.C.M., Carson H.S., Moore C.J.,

در صورت استفاده از پوسته بادام در همان ساختار، می‌توان در سایر خواص مانند نفوذپذیری و استحکام مکانیکی، تعادل ایجاد کرد [۲۱]. پس از بررسی پسماند صنایع مختلف مواد غذایی و نقشی که می‌تواند در تولید زیست‌کامپوزیت‌ها و زیست‌پلاستیک‌ها ایفا کنند و در ادامه به تعدادی از پژوهش‌های مختلف درباره کاربرد مطلوب پرداخته می‌شود. استفاده از پوسته گردو در ماتریس پلی‌لاکتیک اسید، هرچند خواص مکانیکی و گرمایی پلاستیک را تضعیف می‌کند، اما به‌صورت فرمول‌بندی‌شده و بدون چربی، در مواردی مانند ظروف غذا، سینی‌های بسته‌بندی یا اقلام یک‌بار مصرف، استفاده می‌شود. از پسماند‌های صنایع لبنی به‌طور خشک و دانه‌بندی‌شده برای تولید زیست‌کامپوزیت پلی‌لاکتیک اسید استفاده شد. زیست‌کامپوزیت حاصل از مدول یانگ بیش از پلیمر خالص، استحکام کششی کم، سختی زیاد و حساسیت زیاد به تابش فرابنفش برخوردار بود. برخلاف این زیست‌کامپوزیت، ماتریس متشکل از کیتوسان، سیتریک اسید و ژلاتین ماهی دارای مقاومت زیاد در برابر نور فرابنفش، خاصیت ضدباکتری در برابر اشرشیا کلی، کیفیت مکانیکی مطلوب جامد و عدم تورم هنگام جذب آب است. در پژوهش‌های دیگری برای ایجاد سدگری نوری مطلوب در زیست‌پلاستیک‌ها از ریبوفلاوین در محلول‌های ژلاتین ماهی استفاده شد که این خاصیت را افزایش داد. از سویی، نمی‌توان از آثار مفید بره‌موم (propolis) بر خواص ماتریس‌ها، چشم‌پوشی کرد، زیرا می‌تواند به‌دلیل ویژگی سدگری بخار و اکسیژن، به‌عنوان افزودنی در زیست‌کامپوزیت‌ها استفاده شود [۱۵، ۲۱، ۱۳].

برای تولید زیست‌کامپوزیت که پیش‌تر بررسی شد، باید به چند نکته اشاره کرد. اول آنکه زیست‌کامپوزیت هدف نباید در طول عمر محصول به محیط‌زیست و انسان آسیب برساند. بیشترین عامل چنین رخدادی، افزودنی‌های زیست‌کامپوزیت بوده که ممکن است در حین نگهداری به ماده غذایی منتقل و پس از تخریب، به محیط‌زیست وارد شوند. دوم، بعضی از افزودنی‌ها، مانند لیگنوسلولوز، می‌توانند بوی نامطبوعی را در محصول ایجاد کنند که سبب محدودیت کاربرد آن‌ها در بسته‌بندی می‌شود. سوم، در صورتی که در میان افزودنی‌های به‌کاررفته از نانوذرات نیز استفاده شود، در صورت آزادسازی بر سلامتی انسان‌ها، اثر

Borero J.C., Galgani F. et al., Plastic Pollution in the World's

- Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons, *PLoS One*, 2014. doi: 10.1371/journal.pone.0111191
2. Cecchi T. and De Carolis C., *Biobased Products from Food Sector Waste*, Springer, Germany, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-63436-0
3. Narasimhan S., Srikanth B.S., and Poltronieri P., Plants By-Products and Fibers' Industrial Exploitation, in *Biotransformation of Agricultural Waste and By-Products*, Elsevier, USA, 49–67, 2016.
4. Álvarez-Chávez C.R., Edwards S., Moure-Eraso R., and Geiser K., Sustainability of Bio-Based Plastics: General Comparative Analysis and Recommendations for Improvement, *J. Clean. Prod.*, **23**, 47–56, 2012.
5. Patra F. and Duary R.K., Waste from Dairy Processing Industries and its Sustainable Utilization, in *Sustainable Food Waste Management*, Springer, Singapore, 127–154, 2020. doi: 10.1007/978-981-15-8967-6_8
6. Zahid A. and Khedkar R., Biobased Packaging from Food Industry Waste, in *Sustainable Food Waste Management*, Springer, Singapore, 241–265, 2020. doi: 10.1007/978-981-15-8967-6_14
7. Xavier J.R., Chauhan O.P., and Semwal A.D., *Uses of Enzymes in Food Industry Waste Utilization*, in *Food Processing Waste and Utilization*, CRC, Boca Raton, 261–283, 2022. doi: 10.1201/9781003207689-13
8. Kaur L. and Singh J., Novel Applications of Potatoes, in *Advances in Potato Chemistry and Technology*, Elsevier, USA, 627–649, 2016. doi: 10.1016/B978-0-12-800002-1.00021-2
9. Torres-Giner S., Figueroa-Lopez K.J., Melendez-Rodriguez B., Prieto C., Pardo-Figueroa M., and Lagaron J.M., Emerging Trends in Biopolymers for Food Packaging, in *Sustainable Food Packaging Technology*, Wiley, Genova, Italy, 1–33, 2021. doi: 10.1002/9783527820078.ch1
10. aul V., Yamini S., Dutt Tripathi A., and Paswan V.K., Biocomposites from Fruit and Vegetable Wastes and their Applications, in *Fruits and Vegetable Wastes*, Springer, Singapore, 385–406, 2022. doi: 10.1007/978-981-16-9527-8_16
11. Ruggeri E., Farè S., De Nardo L., and Marelli B., Edible Biopolymers for Food Preservation, in *Sustainable Food Packaging Technology*, Wiley, Genova, Italy, 57–105, 2021. doi: 10.1002/9783527820078.ch3
12. Munshi M., Arya P., and Kumar P., Recovery and Utilization of Protein from Food Industry Waste, in *Food Processing Waste and Utilization*, CRC, Boca Raton, 55–80, 2022. doi: 10.1201/9781003207689-4
13. Sandhu P.K. and Kaur G., Conversion of Bone to Edible Products, in *Food Processing Waste and Utilization*, CRC, Boca Raton, 117–153, 2022. doi: 10.1201/9781003207689-7
14. Uranga J., Zarandona I., Andonegi M., Guerrero P., and de la Caba K., Biopolymers Derived from Marine Sources for Food Packaging Applications, in *Sustainable Food Packaging Technology*, Wiley, Genova, Italy, 35–56, 2021. doi: 10.1002/9783527820078.ch2
15. Panwar S., Sindhu R., and Arora S., Fishery By-product Valorization, in *Food Processing Waste and Utilization*, CRC, Boca Raton, 329–342, 2022. doi: 10.1201/9781003207689-17
16. Struck S. and Rohm H., Fruit Processing By-Products as Food Ingredients, in *Valorization of Fruit Processing By-products*, Elsevier, USA, 1–16, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-817106-6.00001-0
17. Tzagaraki E., Lazarides H.N., and Petrotos K.B., Olive Mill Wastewater Treatment, in *Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry*, Springer, New York, 133–157, 2007. doi: 10.1007/978-0-387-35766-9_8
18. Kotsanopoulos K., Behera S.S., and Ray R.C., Microbial Production of Polysaccharides, Oligosaccharides, and Sugar Alcohols from Vegetables and Fruit Wastes, in *Fruits and Vegetable Wastes*, Springer, Singapore, 343–364, 2022. doi: 10.1007/978-981-16-9527-8_14
19. Ray R.C., *Fruits and Vegetable Wastes*, Springer, Singapore, 2022. doi: 10.1007/978-981-16-9527-8
20. Cecchi T., Biocomposites from Food Waste, in *Biobased Products from Food Sector Waste*, Springer, Germany, 287–310, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-63436-0_7
21. Tran T.N., Active Antioxidant Additives in Sustainable Food Packaging, in *Sustainable Food Packaging Technology*, Wiley, Genova, Italy, 349–367, 2021. doi: 10.1002/9783527820078.ch13