Scientific Journal of Packaging Science and Art
Vol. 13, No. 4, Winter 2023, Serial No. 52
ISSN: 2228-6675 , E-ISSN: 2980-7824

New Achievements of Biodegradable Protein Plastics

Naser Sedaghat* , Parvin Boghori

*Professor Food Industry, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: 11/05/2022, Revised: 27/08/2022, Accepted: 11/10/2022 , Published: 20/02/2023)

DOR: 20.1001.1.22286675.1401.13.52.4.9

ABSTRACT

The use of petroleum-derived plastics, especially pentagonal plastics (polypropylene, polyethylene, polyvinyl chloride, polystyrene and polyethylene terephthalate), provides numerous and significant social benefits. For example, plastics are used to package food, water and beverages and contribute to the health and safety of people all around the world. In addition to food, most personal items, cosmetics and household items are packed in plastic containers. However, the proliferation of plastic contamination is a global concern. "Reuse, Reduce and Recycle"offers a solution; although it is not enough to prevent the improper use of plastics. Bio-based plastics, like traditional fossil-based plastics, can be recycled orincinerated. The popularity of biodegradable plastics in agriculture and the food packaging industry is increasing. However, they occupy a relatively small portion of plastic use. Biodegradable polymers help industries achieve sustainable development, thereby strengthening the green economy, reducing greenhouse gases in the environment and valuing waste biomass. Biodegradable films are made of animal proteins (including myofibrillar proteins of fish, collagen, gelatin, etc.), plants (rice, wheat, corn, barley, sunflower etc.), legumes (locust beans, peas, etc.), and aquatic plants such as macrophytes.

Keywords: Packaging, Biodegradable Plastics, Food Packages

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: sedaghat@um.ac.ir

نشریه علمی «علوم و فنون بسته‌بندی»
سال سیزدهم، شماره ۵۲، زمستان ۱۴۰۱؛ ص ۳۹-۳۳
شاپای چاپی: ۲۲۲۸-۶۶۷۵| شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۰-۷۸۲۴
علمی – ترویجی

دستاوردهای نوین پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر پروتئینی

ناصر صداقت[1*]، پروین بقری[2]

۱- استاد، ۲- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

DOR: 20.1001.1.22286675.1401.13.52.4.9

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۰۱

چکیده

استفاده از پلاستیک‌های مشتق شده از نفت به‌ویژه پلاستیک‌های پنج‌گانه (پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، پلی وینیل کلراید، پلی استایرن و پلی‌اتیلن ترفتالات) مزایای اجتماعی متعدد و قابل‌توجهی را فراهم می‌کند. به‌عنوان‌مثال، پلاستیک‌ها برای بسته‌بندی مواد غذایی، آب و نوشیدنی‌ها استفاده می‌شود و به‌سلامت و ایمنی مردم در سراسر جهان کمک می‌کند. علاوه بر غذا، بیشتر لوازم شخصی، لوازم‌آرایشی و بهداشتی و خانگی در ظروف پلاستیکی بسته‌بندی می‌شوند. ولی پیشرفت آلودگی پلاستیک یک نگرانی جهانی است، "استفاده مجدد، کاهش و بازیافت" راه‌حلی برای این موضوع ارائه می‌دهد. اگرچه برای جلوگیری از استفاده بی‌رویه پلاستیک کافی نیست. پلاستیک‌های بر پایه مواد زیستی مانند پلاستیک‌های سنتی بر پایه فسیل، می‌توانند بازیافت یا سوزانده شوند. مقبولیت پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر در کشاورزی و صنایع بسته‌بندی مواد غذایی در حال افزایش هستند. بااین‌حال، آن‌ها بخش نسبتاً کوچکی را اشغال می‌کنند. پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر به صنایعی که به دستیابی به توسعه پایدار و درنتیجه تقویت اقتصاد سبز و کاهش گازهای گلخانه‌ای در محیط‌زیست و ارزش‌گذاری زیست‌توده زباله کمک می‌کند. فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر از پروتئین‌های حیوانی (شامل پروتئین میوفیبریلار ماهی، کلاژن، ژلاتین و غیره) و گیاهان (برنج، گندم، ذرت، جو و غیره)، حبوبات (لوبیای لوکاست، نخود و غیره)، (آفتابگردان) و گیاهان آبزی مانند ماکروفیت‌ها ساخته می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: بسته‌بندی، پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر، بسته‌های پروتئینی.

۱- مقدمه

پایداری شیمیایی پلیمرهای سنتزی که یکی از اصلی‌ترین دلیل کاربردهای موفق آن‌ها است؛ باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی به‌دلیل حجم زیاد زباله‌های پلاستیکی سالانه در محیط‌زیست منتشر می‌شود. برآوردها در سال ۲۰۱۵ نشان می‌دهد که از مقدار کلی زباله‌های پلاستیکی تولیدشده بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۵ تنها ۹ درصد بازیافت شده است. در همان سال، حدود ۵۵ درصد از جهان زباله‌های پلاستیکی در محیط دور ریخته شد یا در محل دفن شد، ۲۵ درصد سوزانده شد و ۲۰ درصد بازیافت شد [۱].

اگرچه مواد پلاستیکی، با آرایش‌های متعدد و هزینه‌های ساخت، از کیفیت بالایی برخوردار هستند، این موضوع بسیار نگران‌کننده است که بتوان مواد پلاستیکی را به‌طور مناسب در جامعه مدیریت کرد [۲]. درحالی‌که پلاستیک‌ها به‌دلیل استفاده طولانی‌مدت عملکردی ارزش زیادی پیداکرده‌اند، اخیراً دیدگاه‌های زیادی در مورد خطرات زیست‌محیطی مرتبط با پلاستیک و بحران‌های انرژی مطرح‌شده است. پلاستیک‌ها به این دلیل محبوب هستند که هزینه‌های مالی کمتری بر انسان‌ها متحمل می‌کنند [۳]. پلاستیک به دو شکل ماکروپلاستیک‌ها (< ۵ میلی‌متر) و میکروپلاستیک‌ها خاک را آلوده می‌کند. میکروپلاستیک‌ها، یعنی ذرات پلاستیک کمتر از ۵ میلی‌متر که از تخریب ماکروپلاستیک، ریزدانه‌ها و الیاف میکروپلاستیک تشکیل شده‌اند. میکروپلاستیک در خاک و آب وارد زنجیره غذایی با اثرات مضر سلامتی می‌شود [۱]. بااین‌حال، مصرف‌کنندگان اکنون بیشتر از اثرات مضر پلاستیک‌ها بر محیط‌زیست آگاه هستند. بنابراین مواد پلیمری زیست‌تخریب‌پذیر یکی از مناسب‌ترین ابزارها برای حفظ محیط‌زیست هستند [۴]. از سال ۱۹۹۱ بسیاری از کشورها سیاست‌هایی را برای کاهش کیسه‌های پلاستیکی یک‌بارمصرف و برای کاهش ریزدانه‌های پلاستیکی اتخاذ کرده‌اند. پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر و کمپوست‌پذیر مزایای اجتماعی فوق‌الذکر را به‌دلیل، فقدان باقیمانده‌های مضر یا کود کمپوست باارزش فراهم می‌کند. پلی لاکتیک اسید[1]، نشاسته، خمیر سلولز، پلی هیدروکسی آلکانوات[2]

* رایانامه نویسنده مسئول: sedaghat@um.ac.ir

[1] Poly Lactic Acid (PLA)
[2] Poly Hydroxyl Alkanoate (PHA)

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.
ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) © نویسندگان

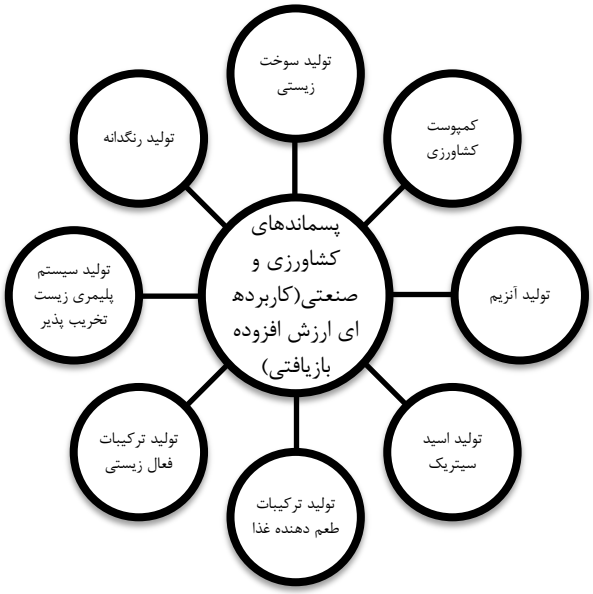
مانند پلی هیدروکسی بوتیرات و پلی هیدروکسی اکتانوات، بیوپلیمرهای اصلی هستند که برای تولید اقلام بیوپلاستیک یک‌بارمصرف امروزی مانند کیسه، ظروف، نی، همزن قهوه، لیوان، گلدان باغبانی، سطل زباله، صفحات گردوغبار، بطری‌ها و اقلام بسته‌بندی استفاده می‌شوند. برآوردهای معتبر اخیر نشان می‌دهد که بسته‌بندی پلاستیکی ۴۰ درصد از کل پلاستیک مصرف هرساله را تشکیل می‌دهد. اولین بیوپلاستیک بعد از ریلسان (پلی آمید ۱۱ یا نایلون ۱۱) در اوایل دهه ۱۹۵۰ تجاری شد و اوایل دهه ۱۹۹۰ به بازار رسید. در سال ۲۰۱۸، پلاستیک‌های زیستی نزدیک به یک درصد (۲,۱۱۲ میلیون تن) از حدود ۳۳۵ میلیون تن پلاستیک تولیدی در جهان را تشکیل می‌دهد [۱]. همچنین سیاست‌گذاران مختلف برنامه‌هایی را برای ارتقاء و بهبود پلاستیک‌های زیستی ایجاد کرده‌اند [۵].

پلاستیک زیست‌تخریب‌پذیر اگر رطوبت کافی، اکسیژن و تعداد مناسب میکروارگانیسم وجود داشته باشد، ممکن است در عرض ۲۰ تا ۴۵ روز به دی‌اکسید کربن و آب تجزیه می‌شود. درحالی‌که تجزیه پلاستیک‌های معمولی صد تا هزار سال طول می‌کشد [۶].

۲- بازیافت

فرآوری شیمیایی و مکانیکی دو رویکردی هستند که به‌طور گسترده برای بازیافت محصولات مبتنی بر پلاستیک استفاده می‌شود. فرآوری شیمیایی با انجام شیمی لیز با تعدادی از ترکیبات (آب، متانول، اتیلن گلیکول و غیره) انجام می‌شود که منجر به دپلیمریزاسیون پلاستیک می‌شود. فرآیند دپلیمریزاسیون را می‌توان با هیدرولیز، متانولیز، گلیکولیز یا آمینولیز انجام داد. دپلیمریزاسیون منجر به تولید واحدهای مونومر غیر یکسان قابل بازیافت می‌شود که می‌توانند برای ساخت پلاستیک‌های جدید پلیمریزه شوند. بااین‌حال، جریان زباله از جایی که پلاستیک برای بازیافت جمع‌آوری می‌شود، مخلوط ناهمگنی از نرم‌کننده‌ها، تثبیت‌کننده‌ها، رنگ‌ها و سایر مواد افزودنی است که مانع از تولید مونومرهای با خلوص بالا می‌شود [۷].

وجود افزودنی‌ها و ناخالصی‌ها فرآیند بازیافت را پیچیده می‌کند و بر هزینه فرآوری و خواص محصول بازیافت شده تأثیر می‌گذارد. فرآوری مکانیکی پلاستیک یک فرآیند پیچیده است، بااین‌حال به شیمی‌لیز که یک روش مقرون‌به‌صرفه است، ترجیح داده می‌شود. درحالی‌که فرآیند بازیافت بر کاستی‌های زیست‌محیطی محل دفن زباله و سوزاندن فائق می‌آید، مرتب‌سازی پلاستیک به هزینه بازیافت می‌افزاید و اکسترود پلاستیکی بازیافت‌شده پس از آن استفاده محدودی دارد. فناوری پاک برای اطمینان از استفاده عاقلانه از منابع طبیعی برای کاهش تأثیر استفاده از آن‌ها بر تنوع زیستی می‌تواند برای کاهش آلودگی صنعتی و به حداقل رساندن زباله‌های آلی از طریق بازیافت اجرا شود. (شکل ۱) [۸].



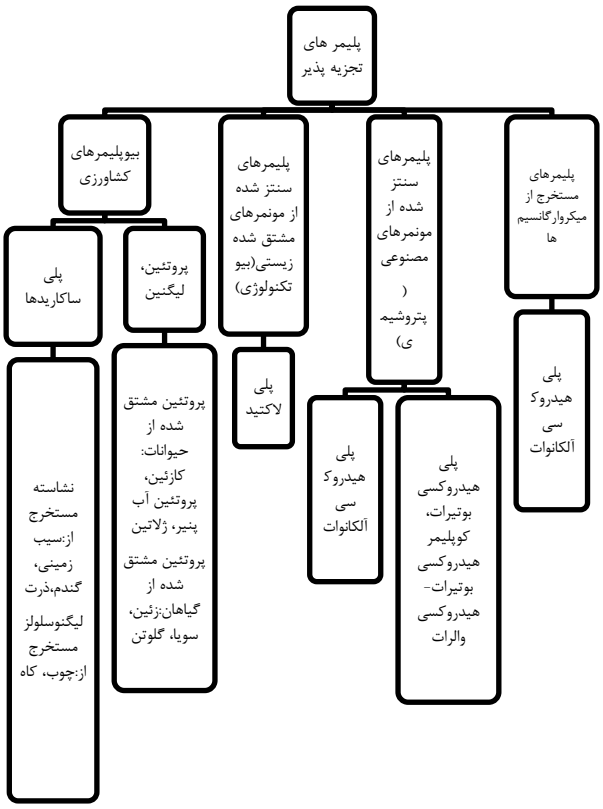
شکل (۱): ضایعات کشاورزی و صنعتی: تصویری شماتیک از کاربردهای ارزش‌افزوده بازیافتی [۸].

۳- پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر

پلاستیک‌های زیستی که از زباله‌های کشاورزی به دست می‌آیند به‌عنوان جایگزینی غیر آلاینده و پایدار برای همتایان غیرقابل تجزیه زیستی خود محبوب شده‌اند. پلاستیک‌های زیستی، یا منشأ بیولوژیکی دارند یا زیست‌تخریب‌پذیر هستند یا هر دو ویژگی را نشان می‌دهند. در این زمینه، آن‌ها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند: زیست‌تخریب‌پذیر و غیر زیست‌تخریب‌پذیر. همه پلاستیک‌های زیستی تجزیه‌پذیر نیستند، حتی اگر از منابع طبیعی تهیه‌شده باشد، زیست‌تخریب‌پذیری آن‌ها بر اساس مسیر و میزان تخریب تعیین می‌شود [۹].

پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر از پلیمرهای زیستی مانند پلی لاکتیک اسید نشاسته، سلولز، پلی هیدروکسی آلکانوات و مشتقات آن‌ها ساخته‌شده‌اند. پلاستیک‌های بر پایه مواد زیستی مانند پلاستیک‌های سنتی بر پایه فسیل، می‌توانند بازیافت یا سوزانده شوند. از طرف دیگر، می‌توان آن‌ها را از طریق فعالیت میکروبی با کمپوست کردن آن‌ها در مقیاس خانگی یا صنعتی تجزیه کرد.

ردپای کربن زیست‌توده کشاورزی مانند پوست موز، ساقه ذرت، ضایعات سبزیجات، تراشه‌های چوب، پوسته غلات و غیره را می‌توان با هدایت مجدد ضایعات به سمت ساخت پلاستیک‌های زیستی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش داد (شکل ۲) [۱۰].



شکل (۲): سیستم طبقه‌بندی پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر بر اساس منشأ آن‌ها [۱۰].

۴- پلاستیک‌های بر پایه پروتئین

پروتئین‌ها را می‌توان به‌عنوان پلیمرهای طبیعی تعریف کرد که قادر به تشکیل ساختارهای آمورف سه‌بعدی هستند که عمدتاً توسط برهم‌کنش‌های غیرکووالانسی تثبیت می‌شوند. خواص عملکردی این مواد به‌شدت به ناهمگنی ساختاری، پایداری حرارتی و ماهیت هیدروفیل پروتئین‌ها بستگی دارد. تعدادی از پروتئین‌های با منشأ گیاهی برای تولید پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر موردتوجه قرارگرفته‌اند، که شامل زئین ذرت، گلوتن گندم، پروتئین سویا و پروتئین بادام‌زمینی است. تحقیقات زیادی روی پلاستیک‌های بر پایه سویا در دهه‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ انجام شد، زیرا نفت گران بود، درحالی‌که دانه‌های سویا به‌وفور در دسترس بود. پروتئین سویا بیشتر به‌عنوان پرکننده استفاده می‌شد. امروزه هنوز هم پروتئین سویا باهدف افزایش زیست‌تخریب‌پذیری پلاستیک‌ها استفاده می‌شود. در مقایسه با پلاستیک‌های کازئین، زئین و گلی سین، پروتئین سویا ازنظر اقتصادی نیز قابلیت رقابت دارد [۱۱].

۵- پروتئین‌های گیاهی مورداستفاده برای توسعه مواد بسته‌بندی

۵-۱- پروتئین سویا

پروتئین‌های سویا از مخلوطی از آلبومین‌ها و گلوبولین‌ها تشکیل‌شده‌اند که ۹۰ درصد آن‌ها پروتئین‌های ذخیره‌ای با ساختار کروی هستند که عمدتاً از گلوبولین‌های ۷ S (b-کانگلیسین) و ۱۱S (گلیسینین) تشکیل شده‌اند. امروزه تقاضا برای پروتئین دانه سویا به‌عنوان یک منبع غذایی به‌دلیل ارزش عملکردی و تغذیه‌ای آن و در دسترس بودن آن با هزینه اقتصادی رو به افزایش است. تجزیه‌وتحلیل بیوشیمیایی نشان می‌دهد که تقریباً ۳۸٪ پروتئین، ۳۰٪ کربوهیدرات، ۱۸٪ روغن و ۱۴٪ مواد معدنی در دانه سویا وجود دارد. کنسانتره‌های پروتئین سویا[1] و ایزوله‌های پروتئین سویا[2]، کاربرد زیادی در صنایع بسته‌بندی دارند اسد و همکاران [۱۱] پلاستیک‌های بر پایه پروتئین سویا عمدتاً از طریق اکستروژن و همچنین قالب‌گیری فشرده‌سازی و قالب‌گیری تزریقی تولید می‌شوند. فیلم‌های ساخته‌شده از پروتئین سویا ویژگی‌های خوبی را به‌عنوان مانع در برابر اکسیژن و همچنین در برابر اشعه ماوراءبنفش نشان می‌دهند، بنابراین می‌توان از آن‌ها در بسته‌بندی استفاده کرد. پلاستیک‌های پروتئین سویا برای تهیه فویل در کشاورزی مفید هستند، که پس از عدم نیاز به آن‌ها، نیازی به حذف آن‌ها از زمین‌های کشاورزی نیست؛ زیرا زیست‌تخریب‌پذیر هستند و موجب تأمین مواد مغذی برای خاک می‌شوند. پروتئین سویا را می‌توان به محصولات فوم با دانسیته‌های مختلف و همچنین به مواد عایق با ویژگی‌های حرارتی مختلف تبدیل کرد [۱۱].

۵-۲- گلوتن گندم

گلوتن گندم به‌دلیل ویژگی‌هایی مانند خواص مکانیکی خوب، ممانعت در برابر اکسیژن، تشکیل فیلم و تجدید پذیری، جایگزین جالبی برای مواد پلاستیکی سنتزی است. فیلم‌های گلوتن گندم معمولاً با ریخته‌گری محلول‌های پروتئین و با استفاده پرس حرارتی به دست می‌آیند [۱۲].

۵-۳- زئین ذرت

پروتئین زئین شامل گروهی از پروتئین‌های محلول در الکل (پرولامین‌ها) است. می‌توان آن را با محلول الکلی استخراج کرد و به‌صورت پودر دانه‌ای خشک کرد. زئین ذرت شبیه موم زنبورعسل است و می‌تواند نرم، انعطاف‌پذیر، مقاوم و کشسان باشد. زئین مزایای بالقوه‌ای را به‌عنوان ماده خام برای فیلم و پوشش برای کاربردهای

[1] Soy Protein Concentrates(SPCs)
[2] Soy Protein Isolates(SPIs)

غذایی و دارویی ارائه می‌دهد. مواد بر پایه زئین کم محلول در آب، سخت، آب‌گریز و مقاوم در برابر فساد میکروبی، اما شکننده هستند [۱۲].

۴-۵- پروتئین آفتابگردان

دانه‌های آفتابگردان که در آب‌وهوای معتدل رشد می‌کنند منبع خوبی از پروتئین هستند. پلاستیک بر پایه پروتئین آفتابگردان را می‌توان از مواد باقی‌مانده پس از استخراج روغن آفتابگردان، از دو گروه پروتئینی اصلی گلوبولینS ۱۱ وS ۲ تهیه کرد. آلبومین را از ایزوله پروتئین آفتابگردان[1] می‌توان با استخراج قلیایی کیک روغن آفتابگردان به دست آورد [۱۲].

۶- پروتئین‌های حیوانی مورداستفاده برای توسعه مواد بسته‌بندی

۶-۱- پروتئین آب‌پنیر

آب‌پنیر، یک پروتئین فعال شیر که معمولاً در فرمولاسیون ورزشی و برای کودکان استفاده می‌شود، علاوه بر این توانایی بالایی در تشکیل فیلم دارد. فیلم‌های پروتئین آب‌پنیر خواص مکانیکی و خواص ممانعت کنندگی گازی بسیار خوبی را در رطوبت نسبی کم ارائه می‌دهند اما با افزایش رطوبت نسبی ضعیف می‌شوند. علاوه بر این، پوشش‌های پروتئین آب‌پنیر نیز خواص ممانعت کننده عالی در برابر عطر و چربی‌ها نشان می‌دهد. پلاستیک‌های بر پایه پروتئین آب‌پنیر مقرون‌به‌صرفه و تجدیدپذیر هستند [۱۳].

۶-۲- کازئین

کازئین ۸۰ درصد پروتئین شیر را تشکیل می‌دهد. کازئین شامل چهار زیرواحد اصلی αs1، αs2، β و k-کازئین با تعداد زیادی اسیدآمینه است که باعث ایجاد رفتار امولسیون کنندگی خوب و همچنین پایداری مکانیکی و حرارتی کازئینات‌ها می‌شود. این پروتئین توانایی تشکیل فیلم خوبی دارد. در رطوبت نسبی کم، فیلم‌های انعطاف‌پذیر و شفاف با خواص ممانعت کنندگی خوب در برابر گازها و چربی دارد [۱۳].

۶-۳- ژلاتین

ژلاتین یک پروتئین دناتوره شده است که از هیدرولیز حرارتی جزئی کلاژن به دست می‌آید. ژلاتین دارای قابلیت ژل کنندگی عالی است و به همین دلیل در صنایع غذایی، دارویی مورداستفاده قرار می‌گیرد. می‌توان از آن به‌عنوان یک پایدارکننده عالی در تهیه محلول تشکیل فیلم استفاده کرد. ادغام نانوکامپوزیت در فیلم‌های بر پایه ژلاتین دامنه کاربرد وسیعی در زیست پزشکی دارد. فیلم‌ها و پوشش‌های ژلاتینی به‌دلیل ماهیت آب‌دوست، مانع ضعیفی در برابر رطوبت هستند. نفوذپذیری در مقابل بخارآب را می‌توان با افزودن اسانس‌ها و لیپیدها بهبود بخشید. استفاده از فناوری نانو و استفاده از نرم‌کننده مناسب در محلول‌های پوشش می‌تواند اکسیداسیون و رسیدگی میوه‌ها و سبزیجات را به تأخیر بیندازد [۱۳].

۷- ماکروفیت‌ها به‌عنوان منبع پروتئین

ماکروفیت‌ها منبع خوبی از پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و لیپیدها هستند. محتوای پروتئین خام گونه‌های ماکروفیت آب شیرین از ۱۱٪ تا ۳۳,۷۰٪ است. این پروتئین به‌راحتی قابل‌استخراج است که آن‌ها را به منبع پروتئینی کارآمد برای تولید مواد بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر تبدیل می‌کند. ازآنجایی‌که ماکروفیت‌ها ارزان، در دسترس، زیست‌تخریب‌پذیر در طبیعت، غنی از پروتئین و مواد فعال زیستی هستند؛ یکی از بهترین گزینه‌ها برای ساخت بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر جهت جایگزینی بسته‌بندی‌های پلاستیکی سنتزی هستند [۱۲].

۸- موانع مهم موفقیت پلاستیک‌های پروتئینی

معایب ذاتی مواد بسته‌بندی بر پایه پروتئین ازجمله خواص فیزیک و شیمیایی ضعیف، استحکام مکانیکی ضعیف، خواص حرارتی و ممانعت کنندگی ضعیف هنوز چالش‌برانگیز است که تجاری‌سازی آن‌ها را در مقیاس وسیع محدود می‌کند و از طرفی پروتئین‌ها به‌دلیل داشتن گروه‌های آب‌دوست، مستعد فساد میکروبی هستند. مطالعاتی که باهدف افزایش خواص عملکردی آن‌ها با استفاده از چندین روش اصلاحی مانند تیمار آنزیمی، پخت حرارتی و غیره انجام‌شده است، نتایج امیدوارکننده‌ای ارائه نکرده است، زیرا این روش‌ها دارای ویژگی خاصی هستند که مانع کاربرد انبوه آن‌ها در سطح تجاری می‌شود [۱۲].

۹- مروی بر پژوهش‌های پیشین

چالرمتای و همکاران، به بررسی چرخه زندگی تولید بیوپلاستیک از پروتئین آب‌پنیر به‌دست‌آمده از بقایای لبنیات پرداختند. نتایج نشان داد که به ازای هر ۱۰۰۰ کیلوگرم پلاستیک آب‌پنیر تولیدشده، ۲۹۰۰ مگا ژول انرژی مصرف‌شده، ۱۱۵/۳ کیلوگرم CO_2 منتشرشده، ۸۲/۵ کیلوگرم NOx منتشرشده و کمترین پتانسیل گرمایش جهانی، آلودگی آب شیرین و سمیت آبزیان دریایی را نسبت به سایر پلاستیک‌های معمولی دارد [۱۴].

[1] Sunflower protein isolate(SFPI)

روزادو و همکاران، به ارزیابی روش‌های مختلف مقاوم‌سازی درزمینهٔ ویژگی‌های مکانیکی و عملکردی خواص بیوپلاستیک‌های بر پایه پروتئین سویا پرداختند. روش‌های مختلفی مثل افزایش دمای قالب (از ۷۰ درجه سانتی‌گراد به ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد)، استفاده از عملیات حرارتی (۴ و ۲۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه) یا اولتراسوند (به مدت ۵ و ۴۵ دقیقه با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز) برای ارزیابی بهبود بیوپلاستیک‌های بر پایه پروتئین سویا موردمطالعه قرار گرفتند. از این نظر، درجه اتصال عرضی، خواص مکانیکی، ظرفیت جذب آب و میکروگراف‌های الکترونی روبشی بیوپلاستیک‌های مختلف مقایسه شد. نتایج نشان داد که شرایط مناسب فرآیند و پس تیمارها می‌تواند برخی از ویژگی‌های پلاستیک‌های زیستی (مانند حداکثر تنش (۵ برابر) یا کرنش در هنگام شکست (حدود ۳ برابر)) را بهبود بخشد، اگرچه باعث ضعیف شدن سایر ویژگی‌ها (مانند ظرفیت جذب آب (حدود ۵۰ درصد)) می‌شود. به‌طور خاص، عملیات حرارتی خواص مکانیکی ساختارهای به‌دست‌آمده را بهبود بخشید، درحالی‌که تیمار اولتراسوند منجر به تشکیل ساختاری با منافذ کوچک‌تر شد [۱۵].

آلوارز-کاستیلو و همکاران، تأثیر مخلوط کردن و فرمولاسیون بر خواص ترموفیزیکی پلاستیک‌های بر پایه گلوتن را بررسی کردند. پلاستیک‌های بر پایه گلوتن به‌دلیل خواص مکانیکی بیشتر در مقایسه با سایر مواد بر پایه پروتئین، جایگزین جالب‌تری برای پلاستیک‌های معمولی هستند. در این پژوهش، تأثیری که هم مخلوط کردن و هم وجود قندها بر خواص پلاستیک‌های بر پایه گلوتن اعمال می‌کند، از طریق سنجش‌های رئولوژیکی، آزمون‌های غوطه‌وری در آب و آزمون‌های میکروسکوپی مورد ارزیابی قرار گرفت. بنابراین، دو روش مختلف اختلاط (اکستروژن و اختلاط داخلی) برای محلول‌های گلوتن تهیه‌شده با آب و گلیسرول که در نهایت قالب‌گیری تزریقی شدند، انجام شد. اثر ترهالوز و ساکارز با محتوای ۲۰ درصد وزنی در فرمول مواد، موردمطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مخلوط‌های اکسترودشده و همچنین پلاستیک‌های زیستی حاصل، مدول‌های ویسکوالاستیک بالاتری نسبت به مخلوط شده با استفاده از همزن داخلی نشان دادند. برای هر دو روش اختلاط، پلاستیک‌های زیستی رفتار ترموپلاستیک بسیار واضح‌تری را در مقایسه با مخلوط‌ها نشان دادند. افزودن قندها در فرمولاسیون موجب کاهش خواص ویسکوالاستیک، افزایش ظرفیت جذب آب و تخلخل پلاستیک‌ها شد [۱۶].

یامادا و همکاران، به بررسی تهیه بیوپلاستیک با استفاده از پروتئین سویا پرداختند. سویا، یکی از فراوان‌ترین گیاهان، در سراسر جهان است؛ دانه سویا در سطح جهان به‌عنوان محصول برای به دست آوردن روغن استفاده می‌شود. سویای بدون چربی حاوی مقدار زیادی پروتئین است. بخشی از سویای بدون چربی برای غذای مصرفی انسان و خوراک دام استفاده می‌شود، اما بیشتر آن به‌عنوان ضایعات صنعتی در سراسر جهان دور ریخته می‌شود. مقاومت در برابر خمش بیوپلاستیک پروتئین سویا با افزایش غلظت فرمالدئید[1] افزایش یافت و حداکثر مقدار ۳۵ مگاپاسکال را در غلظت ۱٪ فرمالدئید نشان داد؛ که معادل مقاومت در برابر خمش پلی‌اتیلن بود. طیف‌سنجی مادون‌قرمز تشکیل پیوند متیلن عرضی بین اسیدهای آمینه اساسی، مانند لیزین و آرژنین را نشان داد. خاصیت تجزیه‌پذیری بیوپلاستیک توسط پروناز، یکی از آنزیم‌های پروتئولیتیک، تخمین زده شد. درنتیجه این بیوپلاستیک پس از ۶ روز انکوباسیون، کاهش وزن تقریباً ۳۰ درصدی را نشان داد. این نتایج نشان داد که پلاستیک زیستی متشکل از پروتئین سویا دارای خاصیت زیست‌تخریب‌پذیری است. بنابراین، بیوپلاستیک متشکل از سویا ممکن است پتانسیل استفاده به‌عنوان یک ماده زیست‌تخریب‌پذیر در بسته‌بندی مواد کشاورزی، قطعات صنعتی و اقلام یک‌بارمصرف را داشته باشد [۱۷].

آگیلار و همکاران، بررسی تأثیر چهار پلی ال مختلف گلیسرول[2]، اتیلن گلیکول[3]، دی اتیلن گلیکول[4]، تری اتیلن گلیکول[5] به‌عنوان نرم‌کننده بر ویژگی‌های پلاستیک‌های زیستی بر پایه ایزوله پروتئین سویا[6] پرداختند. انتخاب نرم‌کننده مناسب در فرمولاسیون مواد پلاستیکی یک گام اساسی برای دستیابی به خواص فیزیکی و ترومکانیکی مناسب برای هر کاربرد نهایی است. همه پلاستیک‌های زیستی موردمطالعه حاوی کسر جرمی یکسان (۴۵ درصد وزنی) نرم‌کننده بودند که در شرایط فرآیند مشابه (۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، فشار bar ۶۰۰-۷۰۰) قالب‌گیری شده بودند. مقادیر دمای انتقال شیشه‌ای[7] برآورد شده از پیک تانژانت افت[8]، برای پلاستیک‌های زیستی وابسته به وزن مولکولی نرم‌کننده بود که به ترتیب در حدود ۵-، ۲۰، ۶۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد برای پلاستیک‌های حاوی اتیلن گلیکول، دی اتیلن گلیکول، گلیسرول و تری اتیلن گلیکول بود. درنتیجه، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی متفاوتی در دمای اتاق داشتند. از این نظر، پلاستیک‌های زیستی حاوی تری اتیلن گلیکول کدر، شکننده و همچنین دارای ظرفیت جذب آب بالاتری بودند، درحالی‌که پلاستیک‌های زیستی حاوی اتیلن گلیکول انعطاف‌پذیرتر و شفاف‌تر بودند و هنگام غوطه‌ور شدن، آب بسیار کمتری را جذب می‌کردند. فقط گلیسرول و تری اتیلن گلیکول پس از ۹ روز نگهداری در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در بیوپلاستیک باقی ماندند، که نشان‌دهنده فرار بودن اتیلن گلیکول و دی اتیلن گلیکول است [۱۸].

[1] Formaldehyde(HCHO)
[2] Glycerol (GLY)
[3] Ethylene glycol (EG)
[4] Diethylene glycol(DEG)
[5] Triethylene glycol(TEG)
[6] Soy protein isolate(SPI)
[7] Glass transition temperature(Tg)
[8] tan δ

روزودا و همکاران، به ارزیابی اختلاط یک عملیات حرارتی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در فرآیند بیوپلاستیک بر پایه ایزوله پروتئین سویا و ایزوله پروتئین نخود پرداختند. دو دمای مختلف قالب (۷۰ و ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان قرار گرفتن در معرض مختلف عملیات حرارتی (۰، ۴ و ۲۴ ساعت) برای ارزیابی تأثیر آن‌ها در خواص بیوپلاستیک‌ها و انتخاب بهینه‌ترین روش فرآیند موردمطالعه قرار گرفت. خواص مکانیکی و ظرفیت جذب آب پلاستیک تولید از هر پروتئین مورد ارزیابی قرار گرفت. پلاستیک‌های زیستی ایزوله پروتئین نخود که در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد فرآیند شده‌اند، خواص مکانیکی خوبی دارند و ظرفیت جذب آب پایینی دارند؛ بنابراین می‌توانند در مواردی که خواص مکانیکی و نفوذپذیری بالا موردنظر است، مانند بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد داشته باشند. از طرف دیگر، دمای قالب فرآیند ۷۰ درجه سانتی‌گراد و عملیات حرارتی ۲۴ ساعت در بیوپلاستیک‌های ایزوله پروتئین سویا امکان دستیابی به خواص مکانیکی مناسب و ویژگی‌های فوق جاذب را فراهم می‌کند و در مواردی که برخی خواص مکانیکی و خواص جاذب خوبی موردنیاز است، مثل کاربردهای بهداشتی عملکرد خوبی دارد [۱۹].

۱۰- نتیجه‌گیری

پلاستیک‌های سنتزی ارزان، بادوام و وزن سبک، مواد اصلی بسته‌بندی در سراسر جهان هستند و تولید زباله‌های پلاستیکی روزبه‌روز در حال افزایش است، که منجر به مشکل مدیریت زباله می‌شود که ۵۰ درصد (وزنی) کل زباله‌های شهری را تشکیل می‌دهد. اثرات مضر پلاستیک بر روی اکوسیستم‌های خشکی و آبی به‌دلیل روش‌های ناایمن دفع زباله در حال افزایش است. مواد بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای طبیعی به‌دلیل تجدید پذیری و زیست‌تخریب‌پذیری می‌توانند اثرات مضر بر محیط‌زیست را در پاسخ به چالش‌های رو به رشد تولید، انباشت و مدیریت زباله‌های پلاستیکی بر پایه نفت را کاهش دهند. پلاستیک‌های بر پایه پروتئین دارای ویژگی ممانعت کنندگی در برابر گازها هستند و درنتیجه می‌تواند جایگزین پلاستیک‌های معمولی دربسته بندی مواد غذایی شود. بااین‌وجود، باید بر مشکلات آن‌ها مثل هزینه بالا، شکنندگی، فرآیندپذیری ضعیف و خواص مکانیکی پایین غلبه کرد.

۱۱- مراجع

[1] R. Ciriminna and M. Pagliaro, "Biodegradable and compostable plastics: A critical perspective on the dawn of their global adoption," Chemistry Open, vol. 9, no. 1, pp. 8-13, 2020.

[2] J. E. Weinstein, J. L. Dekle, R. R. Leads, and R. A. Hunter, "Degradation of bio-based and biodegradable plastics in a salt marsh habitat: Another potential source of microplastics in coastal waters," Marine pollution bulletin, vol. 160, p. 111518, 2020.

[3] H. Saygin, and A. Baysal, "Similarities and discrepancies between bio-based and conventional submicron-sized plastics: in relation to clinically important bacteria,"Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, vol. 105, no. 1, pp. 26-35, 2020.

[4] M. F. Chek, S. Y. Kim, T. Mori, H. T. Tan, K. Sudesh, and T. Hakoshima, "Asymmetric open-closed dimer mechanism of polyhydroxyalkanoate synthase PhaC," Iscience, vol. 23, no. 5, p.101084, 2020.

[5] Z. S. Mazhandu, E. Muzenda, T. A. Mamvura, and M. Belaid, "Integrated and consolidated review of plastic waste management and bio-based biodegradable plastics: challenges and opportunities," Sustainability, vol. 12, no. 20, p. 8360, 2020.

[6] T. D. Moshood, G. Nawanir, F. Mahmud, F. Mohamad, M. H. Ahmad, and A. Abdul Ghani, "Sustainability of biodegradable plastics: New problem or solution to solve the global plastic pollution?," Current Research in Green and Sustainable Chemistry, p.100273, 2022.

[7] G. W Coates and Y. D. Getzler, "Chemical recycling to monomer for an ideal, circular polymer economy," Nature Reviews Materials, vol. 5, no. 7, pp. 501-516, 2020.

[8] P. Rai, S. Mehrotra, S. Priya, E. Gnansounou, and S. K. Sharma, "Recent advances in the sustainable design and applications of biodegradable polymers," Bioresource technology, vol. 325, p. 124739, 2021.

[9] T. Narancic, F. Cerrone, N. Beagan, and K. E. O'Connor, "Recent advances in bioplastics: application and biodegradation,"Polymers, vol. 12, no. 4, p. 920, 2020.

[10] L. Palanikumar, S. Al-Hosani, M. Kalmouni, V. P. Nguyen, L. Ali, R. Pasricha, and M. Magzoub, "pH-responsive high stability polymeric nanoparticles for targeted delivery of anticancer therapeutics," Communications biology, vol. 3, no. 1, pp. 1-17, 2020.

[11] M. R. Havstad, "Biodegradable plastics," In Plastic waste and recycling, Academic Press, pp. 97-129, 2020.

[12] I. Assad, S. U. Bhat, A. Gani, and A. Shah, "Protein based packaging of plant origin: Fabrication, properties, recent advances and future perspectives," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 164, pp. 707-716, 2020.

[13] U. Amin, M. U. Khan, Y. Majeed, M. Rebezov, M. Khayrullin, E. Bobkova, M. A. Shariati, I. M. Chung, and M. Thiruvengadam, "Potentials of polysaccharides, lipids and proteins in biodegradable food packaging applications," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 183, pp. 2184-2198, 2021.

[14] B. Chalermthai, A. Giwa, J. E. Schmidt, and H. Taher, "Life cycle assessment of bioplastic production from whey protein obtained from dairy residues," Bioresource Technology Reports, vol. 15, p. 100695, 2021.

[15] M. Jiménez-Rosado, E. Bouroudian, V. Perez-Puyana, A. Guerrero, and A. Romero, "Evaluation of different strengthening methods in the mechanical and functional properties of soy protein-based bioplastics," Journal of Cleaner Production, vol. 262, p. 121517, 2020.

[16] E. Álvarez-Castillo, M. Ramos, C. Bengoechea, I. Martínez, and A. Romero, " Effect of blend mixing and formulation on thermophysical properties of gluten-based plastics. Journal of Cereal Science," vol. 96, pp. 103090, 2020.

[17] M. Yamada, S. Morimitsu, E. Hosono, and T. Yamada, "Preparation of bioplastic using soy protein," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 149, pp. 1077-1083, 2020.

[18] J. M. Aguilar, C. Bengoechea, E. Perez, and A. Guerrero, "Effect of different polyols as plasticizers in soy based bioplastics," Industrial Crops and Products, vol. 153, p. 112522, 2020.

[19] M. Jiménez-Rosado, J. F. Rubio-Valle, V. Perez-Puyana, A. Guerrero, and A. Romero, "Use of heat treatment for the development of protein-based bioplastics," Sustainable Chemistry and Pharmacy, vol. 18, p. 100341, 2020.