

“Review article”

 DOI:10.71876/jfh.2025.1204071

A review of the hygienic aspects of materials and coatings used in food packaging

Lotfi, M.¹, Bonyadian, M.^{2*}

1. MSc in Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2. Professor Department of Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Corresponding author: boniadian@sku.ac.ir
(Received: 2025/5/5 Accepted: 2025/8/12)

Abstract

Recent advances in food processing have led to a significant expansion in the variety of food packaging materials. Food packaging plays a vital role in preventing product contamination, preserving quality and freshness, protecting against environmental factors, and safeguarding consumer health. The primary objective of these hygienic measures is to ensure product safety and integrity throughout the entire production and consumption process. This study reviews the materials commonly used in food packaging and discusses the overall importance and conceptual framework of packaging. It also addresses the negative impacts of packaging material residues on both food and the environment, as well as potential alternatives to mitigate these effects. Relevant information was collected from books, scientific articles, published theses, and reputable national databases (Magiran, SID), as well as international scientific resources (Thomson Reuters, Scopus, Islamic World Science Citation Center [ISC], and PubMed). The findings indicate that a variety of conventional materials are employed in food packaging, including plastics, paper and cardboard, glass, metals, and edible films and coatings. Among these, paper and cardboard are among the oldest forms of flexible packaging, while plastics are the most widely used in the food industry. Research also shows a growing trend toward the use of biopolymers as alternatives to conventional synthetic polymers. Notably, edible films and coatings appear to have the least environmental impact. In conclusion, this review underscores that food packaging is not only essential for product safety and preservation but also serves as a medium for conveying cultural values across nations.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Packaging, Coating, Food



DOI: 10.71876/jfh.2025.1204071

«مقاله مروری»

مروری بر جنبه‌های بهداشتی مواد و پوشش‌های مورد استفاده برای بسته‌بندی مواد غذایی

مواد و پوشش‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی

معصومه لطفی^۱، مجتبی بنیادیان^{۲*}

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهرکرد، ایران

۲. گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: boniadian@sku.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۲/۱۵ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۵/۲۱)

چکیده

امروزه پیشرفت در فرآوری مواد غذایی باعث شده است که تنوع بسته‌بندی مواد غذایی بالا رود. بسته‌بندی مواد غذایی باعث جلوگیری از آلودگی محصول، حفظ کیفیت و تازگی، مقاومت در برابر عوامل محیطی و حفظ سلامت مصرف‌کننده می‌شود. هدف اصلی این جنبه‌های بهداشتی، اطمینان از ایمنی و سلامت محصول از زمان تولید تا زمان مصرف است. در مطالعه حاضر ضمن بررسی مواد استفاده‌شده در بسته‌بندی مواد غذایی، به اهمیت بسته‌بندی و مفهوم کلی آن نیز پرداخته شده است. همچنین اثرات سوء بقایای مواد بسته‌بندی بر ماده غذایی و محیط زیست و راه‌های جایگزین برای کاهش این اثرات سوء ارائه شده است. برای این منظور با مراجعه به کتب، مقالات، پایان نامه‌های چاپ شده و پایگاه‌های معتبر علمی ملی (مگیران، SID) و بین‌المللی (Scopus، Thomson Reuters)، پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC و PubMed) مطالب متناسب با اهداف این مطالعه گردآوری و مورد استفاده قرار گرفت. بطور کلی داده‌های جمع‌آوری شده نشان داد که در بسته‌بندی مواد غذایی از مواد کلاسیک مختلفی از جمله؛ پلاستیک‌ها، کاغذ و مقوا، شیشه، فلزات و نیز فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی استفاده می‌شود. در این بین کاغذ و مقوا از قدیمی‌ترین شکل بسته‌بندی قابل انعطاف می‌باشند و پلاستیک بیشترین مواد مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی هستند. مطالعات نشان داده است که پلیمرهای زیستی به تدریج جایگزین پلیمرهای مصنوعی رایج شده‌اند. همچنین داده‌ها نشانگر این است که فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی دارای کمترین اثرات و پیامدهای نامطلوب زیست محیطی هستند. این مطالعه نشان می‌دهد که بسته‌بندی مواد غذایی یکی از عوامل مهم در انتقال فرهنگ کشورها است.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی، پوشش، مواد غذایی

مقدمه

بسته‌بندی به‌عنوان وسیله‌ای برای تحویل ایمن و مقرون‌به‌صرفه محصولات به مصرف‌کننده مطابق با راهبرد بازاریابی سازمان تعریف می‌شود که هم‌زمان با رشد و تکامل جهان صنعتی، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. ترفند بسته‌بندی طرحی است که به تمام جنبه‌ها و فعالیت‌های مربوط به تحویل محصول بسته‌بندی‌شده به مصرف‌کننده می‌پردازد. عرضه مواد غذایی و نقش حفاظتی بسته‌بندی محصولات مصرفی به‌گونه‌ای است که عرضه و تقاضا به دلیل توسعه بازار بین‌المللی مواد غذایی و انطباق با نیازهای مصرف‌کننده، توزیع قانونی و تکنولوژیکی دائماً در حال تغییر است (Mosaddeq *et al.*, 1401).

بسته‌بندی نقش ویژه‌ای در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری مواد غذایی دارد. این فرآیند با جلوگیری از اکسیداسیون و محدود کردن نفوذ عوامل خارجی مانند نور، رطوبت و ورود میکروارگانیسم‌ها، از فساد زودهنگام محصولات غذایی پیشگیری می‌کند. علاوه بر کارکرد حفاظتی، بسته‌بندی، عاملی تعیین‌کننده در زنجیره تأمین و بازاریابی مواد غذایی محسوب می‌شود و می‌تواند به‌عنوان یک مزیت راهبردی برای شرکت‌ها عمل کند. طراحی بسته‌بندی باید به‌گونه‌ای باشد که ضمن تحقق اهداف ایمنی و بهداشتی، موجب افزایش رضایت مصرف‌کنندگان و بهینه‌سازی فرآیند توزیع و نگهداری محصولات شود (Han, 2005). بسته‌بندی نقش اساسی در محافظت از محصولات غذایی در برابر سه دسته اصلی از عوامل مخرب شامل تأثیرات شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی دارد. در حفاظت شیمیایی، بسته‌بندی باید از تغییرات نامطلوب حاصل از عوامل محیطی جلوگیری کند.

این تغییرات شامل اکسیداسیون ناشی از قرارگیری در معرض گازهایی مانند اکسیژن، جذب یا از دست دادن رطوبت، تأثیر پرتوهای نور مرئی، مادون‌قرمز یا فرابنفش است که می‌تواند منجر به کاهش کیفیت و پایداری محصولات شود. حفاظت بیولوژیکی، با ایجاد موانعی در برابر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا مانند سالمونلا (یکی از عوامل اصلی بیماری‌های منتقله از طریق غذا)، حشرات، جوندگان و سایر عوامل آلوده‌کننده، از فساد و آلودگی مواد غذایی جلوگیری می‌کند. این نوع حفاظت از طریق مکانیسم‌هایی مانند محدود کردن انتقال بو و حفظ شرایط مطلوب داخل بسته‌بندی صورت می‌گیرد. محافظت فیزیکی از مواد غذایی در مقابل آسیب‌های مکانیکی ناشی از ضربه، فشار، لرزش و سایر تنش‌های فیزیکی که ممکن است در طول فرآیند حمل‌ونقل، انبارداری و توزیع رخ دهند، از تخریب ساختاری محصول جلوگیری می‌کند (Coles, 2003; Ibrahim *et al.*, 2022). علاوه بر وظایف حفاظتی، بسته‌بندی به‌عنوان نمای بصری و هویتی یک محصول عمل کرده و معمولاً تنها تجربه ملموس مصرف‌کنندگان پیش از خرید است. از این‌رو، طراحی بسته‌بندی باید منحصر به فرد، جذاب و مطابق با استانداردهای روان‌شناسی مصرف‌کننده باشد تا مصرف‌کننده را به خرید محصول ترغیب کند. طراحی صحیح بسته‌بندی می‌تواند به‌طور مؤثری محصول را از سایر رقبای متمایز کرده و در یک بازار رقابتی به افزایش فروش و تقویت برند کمک نماید. علاوه بر جذابیت بصری، بسته‌بندی اطلاعات حیاتی درباره محصول را ارائه می‌دهد که شامل فهرست مواد تشکیل‌دهنده، ترکیبات تغذیه‌ای،

ابزارهای حیاتی در سطح ملی و بین‌المللی تبدیل شده است. بسته‌بندی نه تنها از منظر تجاری و اقتصادی اهمیت دارد، بلکه به‌عنوان ابزاری برای انتقال هویت‌های فرهنگی، میان ملت‌ها عمل می‌کند. استفاده از نمادها و طرح‌های فرهنگی بر روی بسته‌بندی‌ها، فرصتی را فراهم می‌آورد تا محصولات نه تنها پیام‌های تجاری، بلکه مفاهیم و ارزش‌های فرهنگی را نیز به جهانیان انتقال دهند. به این ترتیب، بسته‌بندی علاوه بر حفاظت از محصولات، به عنوان پل ارتباطی میان فرهنگ‌ها و ابزاری برای گسترش تعاملات بین‌المللی شناخته می‌شود (Bayat, 2019). روندهای بزرگ تغییرات اجتماعی-اقتصادی مانند جهانی‌شدن، رشد اقتصادی، شهرنشینی، رشد سطح تحصیلات و افزایش مصرف‌گرایی، موجب افزایش چشمگیر تقاضا برای غذاهای بسته‌بندی شده است. این تغییرات به‌ویژه در جوامع شهری، با رشد سبک زندگی مدرن و افزایش نیاز به دسترسی آسان به محصولات غذایی، باعث شده است که بسته‌بندی نه تنها ابزاری برای حفاظت از محصول، بلکه عاملی برای پاسخگویی به نیازهای جدید مصرف‌کنندگان باشد (Saha, 2022). بنابراین، امروزه فناوری‌های نوین بسته‌بندی مواد غذایی، به‌عنوان پاسخ به نیازهای مصرف‌کنندگان و روند تولید صنعتی در حال تکامل هستند. این فناوری‌ها به سمت توسعه محصولات با ماندگاری طولانی‌مدت، کیفیت کنترل‌شده و استفاده از نگهدارنده‌های کم‌خطر سوق پیدا کرده است. هدف اصلی این تحولات، ارائه محصولات تازه، و در عین حال در دسترس برای مصرف‌کنندگان است (Dainelli et al., 2008). با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان و توجه بیشتر به سلامت و ایمنی

دستورالعمل‌های آماده‌سازی، مشخصات برند و قیمت محصول است. این اطلاعات نه تنها به آگاهی مصرف‌کننده کمک می‌کند، بلکه در ایجاد اعتماد و تصمیم‌گیری آگاهانه در هنگام خرید نیز موثر است. در نهایت، انتخاب نوع بسته‌بندی به‌طور مستقیم به ویژگی‌های خاص محصول، سطح حفاظتی مورد نیاز، مدت زمان ماندگاری، بازار هدف، استراتژی‌های توزیع و کانال‌های فروش بستگی دارد. بسته‌بندی باید به‌گونه‌ای طراحی شود که همزمان با حفظ کیفیت و ایمنی محصول، به نیازهای مصرف‌کننده پاسخ دهد و کارایی کالای تجاری را به حداکثر برساند (Weber, 2021). به دلیل حساسیت بالای مواد غذایی از منظر سلامت و بهداشت، بسته‌بندی می‌تواند به‌عنوان یک ضمانت معتبر برای عدم دستکاری یا استفاده، پیش از فروش محصول عمل کند. بسته‌بندی با کیفیت بالا، نه تنها از نظر حفاظتی مؤثر است، بلکه به‌عنوان یک ابزار اعتبارسنجی، برای مصرف‌کنندگان عمل می‌کند و احساس امنیت و اعتماد به محصول را افزایش می‌دهد. این اعتماد سبب می‌شود تا مشتریان محصول را به‌عنوان کالای ارزشمند ارزیابی کرده و احتمال خرید مجدد افزایش یابد. در این راستا، بسته‌بندی با ویژگی‌های استاندارد و ایمن می‌تواند نقش اساسی در تقویت اعتماد مصرف‌کنندگان و ارتقای موقعیت برند ایفا کند (Steenis et al., 2017). در دنیای امروز، کشورها به‌طور فزاینده‌ای از نظر اقتصادی، سیاسی و فرهنگی به یکدیگر وابسته‌اند. بنابراین، نمی‌توان آن‌ها را صرفاً به عنوان واحدهایی مجزا و محصور در مرزهای جغرافیایی خود تصور کرد. در این راستا، با توجه به صادرات و واردات کالاها، بسته‌بندی به یکی از

به‌طور مؤثرتر و جذاب‌تر به بازار عرضه و تبلیغ کنند. این تحولات، به ویژه با توجه به تنوع فزاینده محصولات، موجب افزایش تقاضا برای بسته‌بندی‌های متنوع، تخصصی و مناسب با ویژگی‌های هر محصول در سطح جهانی گردید. این روند نه تنها به بهبود کارایی بسته‌بندی کمک کرده، بلکه نقش حیاتی در فرآیندهای بازاریابی و جذب مخاطب ایفا می‌کند (Lau et al., 2000). فناوری‌های مدرن بسته‌بندی مانند بسته‌بندی فعال و هوشمند به تولیدکنندگان این امکان را می‌دهند که تحت شرایط بهینه، کیفیت مواد غذایی را کنترل و حفظ کنند، و در نتیجه مصرف‌کنندگان به محصولاتی با کیفیت بالاتر و ایمن‌تر دسترسی پیدا کنند (Risch, 2009). در این پژوهش سعی شده که سیر استفاده از بسته‌بندی‌های مواد غذایی از گذشته تا کنون بررسی شده و به مزایا، معایب و کاربرد این مواد پرداخته شود.

مواد مورد استفاده برای بسته‌بندی

چوب

طبق پژوهش‌هایی که در مورد بسته‌بندی‌های اولیه انجام شده است، جمعیت‌های باستانی، هزاران سال پیش از مواد طبیعی مانند قطعات چوبی، علف‌ها و پوست درختان برای بسته‌بندی استفاده می‌کردند. رایج‌ترین مورد استفاده از چوب در بسته‌بندی مواد غذایی به عنوان بشکه برای شراب، آبجو، الکل، ماهی شور و سبزیجات در آب نمک بوده است. جعبه‌های چوبی حفاظت بهتری در برابر خردشدن نسبت به جعبه‌های مقوایی دارند، اما سنگین‌تر و گران‌تر از آنها هستند. چوب یک ماده متخلخل است، بنابراین به‌طور کامل از ورود هوا و رطوبت به محصول جلوگیری نمی‌کند. همچنین یکی از

مواد غذایی، نگرانی‌ها در مورد انتقال مواد مضر از بسته‌بندی به ماده غذایی نیز بیشتر شده است. مصرف‌کنندگان اکنون نسبت به ترکیبات به‌کار رفته در بسته‌بندی‌ها حساس‌تر شده‌اند و خواستار استفاده از مواد بسته‌بندی ایمن و بدون اثرات منفی بر سلامت هستند. این تغییر نگرش، فشار بیشتری بر صنایع بسته‌بندی وارد کرده تا محصولات خود را با رعایت استانداردهای دقیق بهداشتی و با استفاده از مواد بی‌خطر ارائه دهند (Ncube et al., 2021). افزایش آلودگی محیط‌زیست موجب شده است که بسته‌بندی‌های مواد غذایی به‌ویژه بسته‌بندی‌های فعال، آسپتیک، هوشمند و خوراکی که هم‌اکنون در حال توسعه هستند، دچار تحولی چشمگیر شوند. در واقع، بسته‌بندی مواد غذایی نه تنها به یک ظرف ساده برای نگهداری، بلکه به عنصری حیاتی و آگاهانه برای مصرف‌کنندگان تبدیل شده است. امروزه، مصرف‌کنندگان به دنبال بسته‌بندی‌هایی هستند که علاوه بر حفاظت از محصول، از روش‌های تولید طبیعی‌تر بهره‌مند بوده و امکان بازیافت آن‌ها وجود داشته باشد. این تغییر در نگرش مصرف‌کنندگان، فشار مضاعفی را به صنایع بسته‌بندی وارد کرده است تا به دنبال راه‌حل‌های سازگارتر با محیط‌زیست باشند (Polat, 2022). با پیشرفت‌های قابل توجه در تکنولوژی، استفاده از موادی که نسبت به گذشته کارآمدتر و اقتصادی‌تر هستند، جایگزین مواد قدیمی‌تر شد. در قرن بیست، صنعت بسته‌بندی با بهره‌گیری از شیشه، فلز، پلاستیک، کاغذ و مقوا همراه با نوآوری‌های تکنولوژیکی جدید، موفق به ارائه نسل جدیدی از بسته‌بندی‌ها گردید که به تولیدکنندگان و شرکت‌ها این امکان را داد تا محصولات خود را

مشکلات عمده بسته‌بندی‌های چوبی آفت‌زدگی آن‌ها است. در زمان امپراطوری روم، چوب به‌عنوان یک ماده بسته‌بندی مهم شناخته شد. این نوع بسته‌بندی شامل انواع جعبه‌های چوبی، پالت‌ها، پوشال، سبدها و بشکه‌های چوبی است. مزایای بسته‌بندی چوبی شامل تولید کم گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی کم برای تولید نسبت به بسته‌بندی‌های پلاستیکی است. همچنین این بسته‌بندی‌ها کمپوست‌پذیر، تخریب‌پذیر و قابل بازیافت هستند (Parsons, 2022).

کاغذ و انواع آن

استفاده از کاغذ و مقوا برای بسته‌بندی مواد غذایی قدمت زیادی دارد و از قرن هفدهم ترویج یافته است. کاغذ و مشتقات آن در واقع یکی از منابع اولیه ورود کاتالیزورها، تثبیت‌کننده‌های حرارتی، چسب‌ها، روان‌کننده‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها، رنگدانه‌ها، مواد سفیدکننده، جوهرهای چاپ و سایر مواد شیمیایی است که از بسته‌بندی به محصول منتقل می‌شوند و ممکن است از سطح چاپ‌شده به سطح تماس با غذا منتقل شوند. انواع مختلف کاغذها از طریق خمیرسازی، سفیدکردن و فرآیندهای تصفیه تولید می‌شوند. کاغذ و مقوای بازیافتی، محصولات تولید شده از منابعی مانند روزنامه‌ها، مجلات و کارتن‌ها هستند که با آب خمیر شده و پاکسازی می‌شوند و سپس با سورفکتانت‌ها جوهرزدایی می‌گردند (Duran et al., 2013). به دلیل ساختار متخلخل و خاصیت آبدوست الیاف سلولزی، کاغذ و مقوا به‌طور طبیعی خواص بازدارندگی ضعیفی دارند و مقاومت کمی در برابر آب و چربی از خود نشان می‌دهند. همچنین، نفوذپذیری بالایی در برابر گازها و

بخارات آب دارند. با این حال، کاغذ و سایر محصولات مبتنی بر خمیر به‌عنوان جایگزینی برای پلاستیک‌های یکبار مصرف در بسته‌بندی مواد غذایی در نظر گرفته می‌شوند. زیست‌سازگاری، قابلیت بازیافت، منابع فراوان، قیمت پایین، وزن کم و خواص مکانیکی خوب از ویژگی‌های برجسته کاغذ و مقوا هستند که این مواد را به گزینه‌ای مناسب برای بسته‌بندی مواد غذایی تبدیل می‌کند. محصولات کاغذی و خود کاغذ می‌توانند به راحتی از طریق فرآیندهایی مانند تمیزکردن، شستن، خمیرکردن مجدد، جوهرزدایی، فشار دادن، خشک کردن، چاپ و ذخیره‌سازی برای استفاده در انواع بسته‌بندی‌ها به شکل‌های مختلف تغییر داده شوند. بزرگ‌ترین عیب بسته‌بندی کاغذی، جذب آب و رطوبت است که می‌تواند منجر به کاهش کیفیت بسته‌بندی و فساد مواد غذایی شود (Nechita et al., 2020).

برای مقابله با این مشکل، در گذشته کلر، به‌عنوان یک ماده ضد میکروبی برای سرکوب رشد باکتری‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شد. اما به دلیل اثرات خطرناک این ماده برای انسان و محیط زیست، استفاده از کلر و مواد شیمیایی مشابه در فرآیند بسته‌بندی و دیگر صنایع ممنوع شد. این امر به‌ویژه در زمینه بسته‌بندی مواد غذایی اهمیت پیدا کرده است، زیرا استفاده از چنین مواد شیمیایی ممکن است سلامت مصرف‌کنندگان را تهدید کند بدین جهت سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) مواد افزودنی مورد استفاده در بسته‌بندی کاغذی و مقوایی را تنظیم می‌کند (Dey et al., 2020). به دلیل خاصیت ضعیف بازدارندگی کاغذ ساده برای محافظت طولانی‌مدت از مواد غذایی، این نوع کاغذ به‌طور

معمول به‌عنوان بسته‌بندی اولیه برای نگهداری غذاها استفاده نمی‌شود. زمانی که کاغذ به‌عنوان بسته‌بندی اولیه در تماس مستقیم با مواد غذایی است، تقریباً همیشه تحت فرآیندهای فرآوری قرار می‌گیرد و روکش یا آغشته شده به چند لایه مواد مانند موم، رزین یا لاک می‌شود. این عملیات به منظور بهبود خواص عملکردی و محافظتی کاغذ انجام می‌شود تا ویژگی‌هایی مانند مقاومت در برابر رطوبت، روغن و آلودگی‌ها افزایش یابد و در نتیجه از انتقال مواد مضر به غذا جلوگیری شود (Dey et al., 2020; Nechita et al., 2020). از جمله کاغذهای مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی می‌توان به کاغذ کرافت اشاره کرد. این کاغذ از خمیر سولفات (که با مواد قلیایی تصفیه می‌شود) تهیه می‌شود و به صورت سفید نشده (قهوه‌ای) یا سفید شده در دسترس است. کاغذ کرافت تصفیه نشده به‌عنوان مقاوم‌ترین نوع کاغذ شناخته می‌شود و به دلیل ویژگی‌های چند منظوره، برای بسته‌بندی انواع مختلف محصولات از جمله آرد، شکر، میوه‌های خشک و سبزیجات استفاده می‌شود از سوی دیگر، کاغذ کرافت سفید قابلیت چاپ پذیری بسیار بالایی دارد و به‌طور عمده برای بسته‌بندی ثانویه، برجسب زدن و پوشش‌های خارجی محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع کاغذ به‌دلیل ظاهر تمیز و کیفیت بالای چاپ، برای بسته‌بندی‌های تجاری و برندهای معتبر بسیار مناسب است. کاغذ لمینت شده برای بسته‌بندی محصولاتی که به‌صورت خشک شده عرضه می‌شوند، مانند سوپ، گیاهان و ادویه‌جات، به‌کار می‌رود. این کاغذ با داشتن لایه‌های محافظ، از مواد در برابر رطوبت و آلودگی‌ها محافظت کرده و به حفظ کیفیت محصول

کمک می‌کند. کاغذ سولفیت از خمیر حاصل از هضم اسیدی تهیه می‌شود و سپس به آن لعاب داده شده تا استحکام و مقاومت آن در برابر رطوبت و روغن افزایش یابد. علاوه بر این، این فرآیند کیفیت چاپ را بهبود می‌بخشد. معمولاً کاغذ سولفیت روکش می‌شود و در ترکیب با پلاستیک یا فویل برای بسته‌بندی‌های خاص استفاده می‌شود. این نوع کاغذ، در مقایسه با کاغذ کرافت، سبک‌تر و ضعیف‌تر است، اما به دلیل ویژگی‌های خاص خود در بسته‌بندی‌های مختلف کاربرد دارد. کاغذ ضد گریس از خمیر سولفیت (تصفیه شده با اسید) تهیه می‌شود و از طریق فرآیندی به نام ضرب و شتم، الیاف آن شکسته شده و سپس به‌صورت متراکم بسته‌بندی می‌شوند. این نوع کاغذ به‌طور خاص در برابر روغن مقاوم است و به‌خوبی از نفوذ چربی‌ها جلوگیری می‌کند، اما در برابر عوامل مرطوب‌کننده مقاومتی ندارد. از کاغذ ضد گریس معمولاً برای بسته‌بندی مواد غذایی روغنی مانند کلوچه‌ها و آب‌نبات‌ها استفاده می‌شود. این نوع کاغذ به دلیل توانایی در جلوگیری از نفوذ روغن و چربی، به انتخابی مناسب برای بسته‌بندی این نوع محصولات تبدیل شده است. گلاسیسین یا کاغذ شیشه‌ای یک نوع کاغذ صاف و براق است که دارای مقاومت نسبتاً کمی در برابر نفوذ رطوبت است. این نوع کاغذ به‌طور عمده به‌عنوان آستر برای محصولات غذایی مانند بیسکویت استفاده می‌شود. علاوه بر این، کاغذ شیشه‌ای برای بسته‌بندی فست‌فودها و محصولات پخته‌شده نیز کاربرد دارد، چرا که ویژگی‌های آن در حفظ ظاهر و طعم این محصولات کمک می‌کند. کاغذ روغنی از خمیر اسیدی تهیه می‌شود که پس از فرآیندهایی همچون شستشو،

این نوع کاغذ معمولاً برای نگهداری مواد غذایی چرب یا آستر کردن سینی‌ها و قالب‌های پخت کیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا از ورود روغن و چربی به دیگر سطوح جلوگیری کرده و از آلوده شدن محصولات جلوگیری می‌کند (Raheem, 2013). مقوا یکی دیگر از مواد رایج در بسته‌بندی است که استفاده از آن به نوع و شرایط محصول بستگی دارد. مقوا دارای ویژگی‌های ضخامت بالا، قابلیت چین‌دار شدن، سختی و مقاومت در برابر شکاف برداشتن است. این خصوصیات موجب می‌شود که مقوا انتخاب مناسبی برای بسته‌بندی‌هایی باشد که نیاز به مقاومت فیزیکی بیشتری دارند. مقوا به‌طور خاص نسبت به کاغذ مقاومت بیشتری در برابر آسیب‌های مکانیکی مانند خراشیدگی، پارگی یا فشار دارد و به همین دلیل معمولاً برای بسته‌بندی‌های ثانویه یا ثالثیه که در مراحل نهایی حمل و نقل و توزیع قرار دارند، استفاده می‌شود. بسته‌بندی با مقوا همچنین می‌تواند به حفاظت بیشتر از محصول در برابر آسیب‌های محیطی کمک کند و به عنوان یک لایه محافظ اضافی عمل کند (Raheem et al., 2021).

_ شیشه

شیشه یکی از قدیمی‌ترین و پرکاربردترین مواد در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی است که تاریخ استفاده از آن به حدود ۶۰۰۰ سال پیش برمی‌گردد. شیشه به دلیل ویژگی‌های خاص خود در بسته‌بندی مواد غذایی مزایای زیادی دارد و گزینه‌ای مناسب برای بسیاری از محصولات است. از جمله ویژگی‌های برجسته شیشه می‌توان به نفوذناپذیری آن در برابر هوا، رطوبت و گازها اشاره کرد که باعث

خنثی‌سازی و در نهایت خشک‌سازی، آماده استفاده می‌شود. اسید به‌طور خاص سلولز موجود در کاغذ را اصلاح کرده و باعث می‌شود که کاغذ در برابر آب و روغن غیر قابل نفوذ شود. با این حال، این نوع کاغذ به‌عنوان مانعی مؤثر برای هوا و رطوبت عمل نمی‌کند. کاغذ روغنی به‌طور عمده برای بسته‌بندی چربی‌ها و محصولات چرب مانند کره استفاده می‌شود. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که کاغذ روغنی انتخاب مناسبی برای نگهداری و بسته‌بندی مواد غذایی با محتوای چربی بالا باشد. کاغذ مقاوم به کشش یا کاغذهای چروک‌دار نوع دیگری از کاغذها هستند که در برابر کشش و پاره شدن مقاومت بالاتری دارند. این کاغذها معمولاً شامل کاغذ میکروکرپینگ و کاغذ کرپ‌دار هستند. کاغذ میکروکرپینگ به‌گونه‌ای طراحی شده است که دارای ساختار لایه‌ای خاصی است که به آن اجازه می‌دهد تا در برابر فشار و کشش مقاومت بیشتری نشان دهد؛ این ویژگی موجب می‌شود که این کاغذ برای بسته‌بندی‌هایی که نیاز به استحکام و انعطاف‌پذیری دارند، مناسب باشد. از طرف دیگر، کاغذ کرپ‌دار با داشتن ساختار موج‌دار و چین‌دار، قابلیت چاپ‌پذیری کمتری دارد که ممکن است محدودیت‌هایی برای استفاده در برخی از بسته‌بندی‌ها ایجاد کند. کاغذهای مقاوم به رطوبت پس از خیس شدن کامل یک ورقه کاغذ، همچنان سطح استحکامی خود را حفظ می‌کنند و قادر به مقاومت در برابر نفوذ آب و رطوبت هستند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که این نوع کاغذ برای بسته‌بندی‌هایی که در معرض رطوبت قرار دارند، مناسب باشند. کاغذ ضد روغن دارای تخلخل کم است و در برابر نفوذ روغن مقاومت زیادی دارد.

طرفی، فرآیند تولید شیشه نسبت به سایر مواد بسته‌بندی پرهزینه‌تر است. بنابراین، در انتخاب شیشه به‌عنوان ماده بسته‌بندی باید این معایب را نیز در نظر گرفت (Girling, 2003).

انواع فلزات

از دیگر مواد بسته‌بندی می‌توان به فلزها اشاره کرد. پیدایش آن به چند سال قبل از میلاد مسیح برمی‌گردد. این ظروف توسط افراد متعددی تغییر داده‌شد و به شکل کنونی درآمد. نیکولاس اپرت در اوایل قرن ۱۹ میلادی برای نگهداری بهتر مواد غذایی، بسته‌بندی در قوطی فلزی را مورد بررسی قرار داد و فرآیند اپرتیزاسیون را به صنعت کنسروسازی معرفی کرد. این ظروف استحکام کافی در برابر ضربه داشته و سطح مناسبی برای چاپ و لاک‌پذیری دارند و همچنین درجه حرارت بالایی را نیز به راحتی تحمل می‌کنند. از دیگر ویژگی‌های آن محافظت فیزیکی عالی، مانع از شکل‌پذیری محصول، سد شیمیایی و قابلیت بازیافت است. عمده‌ترین مشکل این جنس پدیده خوردگی است. در واقع در بسته‌بندی‌های فلزی امکان مهاجرت فلزات خطرناک به غذاهای بسته‌بندی وجود دارد (Duran *et al.*, 2013). بسته‌بندی‌های فلزی به دلیل قرابت قوی با مواد غذایی، برای محافظت از مواد غذایی در برابر پوسیدگی و خوردگی روکش شده‌اند (Akram *et al.*, 2023). دو فلز آلومینیوم و فولاد بیشترین کاربرد را در بسته‌بندی مواد غذایی دارند.

آلومینیوم، سبک وزن بوده و مانعی در برابر خوردگی، اثرات هوا، دما، رطوبت، حمله شیمیایی، بو، نور و میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌کند. همچنین دارای انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری عالی و پتانسیل

می‌شود از تغییرات کیفیتی در محصول و فساد آن جلوگیری کند. علاوه بر این، شیشه واکنشی با ماده غذایی ندارد و بنابراین طعم، رنگ و ویژگی‌های مواد غذایی را حفظ می‌کند. شفافیت شیشه از دیگر مزایای آن است که به مصرف‌کنندگان امکان می‌دهد تا محصول داخل بسته‌بندی را مشاهده کنند و از این ویژگی برای جلب اعتماد استفاده می‌شود. همچنین، شیشه قابلیت استفاده مجدد و بازیافت‌پذیری بالایی دارد که آن را به یک انتخاب محیط‌زیستی پایدار تبدیل می‌کند. شیشه همچنین قادر است دمای بالا را در فرآیندهای استریلیزاسیون حرارتی یا پردازش حرارتی تحمل کند، که این ویژگی آن را به ماده‌ای مناسب برای بسته‌بندی مواد غذایی مانند مرباها، ترشیجات و کنسروها تبدیل می‌کند. همچنین، تغییرات در رنگ شیشه می‌تواند از محتویات حساس به نور مانند روغن‌ها، نوشیدنی‌ها و برخی مواد غذایی که تحت تأثیر نور تخریب می‌شوند، محافظت کند. شیشه‌های رنگی مانند سبز یا قهوه‌ای برای این منظور به‌ویژه در بسته‌بندی مواد غذایی حساس به نور، مانند نوشیدنی‌های الکلی و دارویی، استفاده می‌شوند (Lamberti and Escher, 2007; Grayhurst and Girling, 2011).

با وجود مزایای فراوان شیشه، برخی معایب نیز وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به شکنندگی بالا اشاره کرد. این ویژگی می‌تواند خطرات فیزیکی ایجاد کند، به‌ویژه در مواقعی که شیشه تحت فشار داخلی یا خارجی قرار گیرد یا در اثر ضربه و شوک حرارتی دچار شکستگی شود. علاوه بر این، شیشه به دلیل وزن بالا، محصول نهایی را سنگین‌تر می‌کند که این امر به افزایش هزینه حمل و نقل می‌انجامد. از

مانع عالی برای رطوبت، هوا، بو، نور و میکروارگانیسم‌ها است اما این بسته‌بندی نسبت به غذاهای اسیدی بی اثر نبوده و نیاز به لاک و یا دیگر محافظ‌ها دارد (Barone et al., 2007). ورق فولادی یا قلع ورق، نوع دیگری از فلزات است. ورق قلع را علاوه بر خواص ممانعت‌کننده عالی در برابر گازها، بخار آب، نور و بوها، می‌توان تحت عملیات حرارتی و آب‌بندی قرار داد و آن را برای محصولات استریل مناسب ساخت. همچنین شکل پذیری خوبی دارد و برای ساخت ظروف به اشکال مختلف استفاده می‌شود. قلع ورق یک بستر عالی برای پوشش مدرن فلز و چاپ سنگی است. تکنولوژی، امکان تزئین گرافیکی برجسته را فراهم می‌کند. وزن نسبتاً کم و استحکام مکانیکی بالایی دارد که حمل و نقل آن را آسان می‌کند. ورق قلع این قابلیت را دارد که به راحتی چندین بار بازیافت شود. همچنین کیفیت و قیمت آن به‌طور قابل توجهی کمتر از آلومینیوم است. فولاد بدون قلع که به‌عنوان کروم الکترولیتی یا کروم نیز شناخته می‌شود به پوششی از مواد آلی برای ایجاد مقاومت کامل در برابر خوردگی نیاز دارد. کروم یا اکسید کروم، فولاد بدون قلع را برای جوشکاری نامناسب کرده و آن را برای چسبندگی پوشش‌هایی مانند رنگ، لاک و جوهر مناسب می‌کند. فولاد بدون قلع نیز شکل‌پذیری و استحکام خوبی داشته و هزینه آن بسیار کمتر از قلع ورق است. در قوطی‌های غذا، انتهای قوطی‌ها و درب بطری‌ها همه می‌توانند از فولاد بدون قلع ساخته شوند. ورق‌ها به‌طور گسترده برای بسته‌بندی محصولات گوشتی و بسته‌بندی دارویی با دوز واحد استفاده می‌شود (Erdal, 2021).

__ پلاستیک‌ها

برجسته سازی است. از آلومینیوم خالص جهت بسته‌بندی‌های سبک مثل قوطی‌های نوشابه استفاده می‌شود (Erdal, 2021). پوشش طبیعی اکسید آلومینیوم مشکل خوردگی را برطرف می‌کند. از معایب اصلی آلومینیوم می‌توان به قیمت بالای آن در مقایسه با سایر فلزات و عدم توانایی آن در جوشکاری اشاره کرد (Polat, 2022). آلومینیوم مورد استفاده برای بسته‌بندی مواد غذایی عمدتاً به دو شکل یافت می‌شود. نوع اول آن قوطی‌های آلومینیومی است که در صنایع غذایی برای بسته‌بندی نوشیدنی‌ها استفاده می‌شود. قوطی‌های فلزی عمدتاً به شکل سه تکه و دو تکه ساخته می‌شوند. به این صورت که در قوطی‌های دو تکه، بدنه و درپوش کف بدون درز به هم متصل‌اند و درب به آن‌ها دوخته می‌شود. اما در قوطی‌های سه تکه، دو درپوش کفی و بالایی و بدنه از هم جدا بوده و به هم دوخته می‌شوند. قوطی‌های دو تکه به علت عدم وجود درز محل اتصال کف به بدنه، نسبت به قوطی‌های سه تکه اقتصادی‌تر، بهداشتی‌تر و حدود ۳۵ درصد سبک‌تر هستند (Barone et al., 2015). نوع دوم، ورقه‌ها یا فویل‌های آلومینیومی است که خواص ممانعت‌کنندگی بالایی دارد. استفاده از فویل آلومینیومی در بسته‌بندی سفت، نیمه صلب و انعطاف‌پذیر استفاده می‌شود. همچنین می‌تواند گرمایش سریع و حداقل آسیب حرارتی را در طول پردازش تضمین کند. پایداری شیمیایی فویل آلومینیومی در تماس با مواد غذایی به ترکیب مواد غذایی بستگی دارد. با دانش سم شناسی موجود، استفاده از آلومینیوم در مواد بسته‌بندی ایمن تلقی می‌شود و پوشش داخلی فویل در موارد خاص توصیه می‌شود. با وجود اینکه بسته‌بندی فویل یک

پذیری، خواص نوری، حرارتی و اندازه‌ها و شکل-های نامحدود افزایش یافته است و در اقتصاد، پلاستیک، حدود یک سوم در بسته‌بندی غذا استفاده می‌شود (Mohamed *et al.*, 2020). دو دسته عمده در پلاستیک‌ها وجود دارد؛ دسته اول ترموپلاستیک‌ها، پلیمرهایی هستند که با حرارت دادن نرم و ذوب شده و با سرد شدن دوباره جامد می‌شوند؛ پس می‌توان آن‌ها را به راحتی شکل داد.

علاوه بر این، اکثر ترموپلاستیک‌ها قابل بازیافت هستند. از این دسته می‌توان به پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌وینیل کلراید اشاره کرد. دسته دیگر ترموست‌ها، پلیمرهایی هستند که با سرد شدن سخت می‌شوند و بر خلاف ترموپلاستیک‌ها شکل خود را حفظ کرده و نمی‌توان آن‌ها را دوباره قالب زد، بنابراین پس از تنظیم به شکل اصلی خود بازمی‌گردند. این دسته سخت و بادوام بوده و قابل بازسازی نیستند. از آن‌ها عمدتاً در خودروها و کاربردهای ساختمانی مانند چسب‌ها و پوشش‌ها استفاده می‌شوند (Ncube *et al.*, 2021).

-انواع پلاستیک‌های زیست تخریب‌ناپذیر

پلی‌اتیلن ساده‌ترین، پرکاربردترین و ارزان‌ترین پلاستیکی است که به‌طور گسترده برای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود. از مزایای فوم پلی‌اتیلن می‌توان به انعطاف‌پذیری، سبکی، هزینه کم، قابلیت جذب ضربه و مقاومت در برابر کپک اشاره کرد (Raheem, 2013). پلی‌پروپیلن پلیمری مقاوم‌تر و شفاف‌تر از پلی‌اتیلن است. این پلیمر دارای مقاومت شیمیایی و حرارتی بوده و همچنین استقامت خوبی در مقابل کشش و ضربه‌پذیری دارد. پلی‌استرها پلیمرهایی هستند که مانع خوبی برای گازها، رطوبت،

یکی از مواد مصنوعی که تولید آن در انواع کاربردهای مختلف روزبه‌روز در حال افزایش است، پلاستیک و ترکیبات پلاستیکی است. اکثر پلاستیک‌های موجود در بازار از فراورده‌های نفتی و زغال-سنگ تولید شده و تجزیه و برگشت آن‌ها به محیط چند هزار سال طول می‌کشد. به‌طوری که یکی از بزرگترین مشکلات این مواد، عدم زیست‌تخریب‌پذیری آن‌ها و در نتیجه آلودگی محیط‌زیست است که دلیل اصلی آن، طویل بودن مولکول پلیمر و پیوند قوی بین مونومرهای آن بوده که تجزیه آن را توسط موجودات تجزیه‌کننده با مشکل مواجه می‌کند (Sirati *et al.*, 2017; Parsons, 2022). پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر و سازگار با محیط‌زیست به‌عنوان راه‌حل مناسب برای این موضوع پیشنهاد می‌شوند. به‌طور کلی دو نوع پلاستیک زیست‌تخریب‌پذیر داریم، یک نوع، مخلوطی از پلاستیک‌های طبیعی و مصنوعی است مانند تهیه فیلم که مخلوطی از نشاسته و پلی‌اتیلن است و مدتی پس از دور انداخته شدن تا حدودی از بین رفته و تجزیه می‌شود؛ دیگری، ورقه‌ها و فیلم‌های خوراکی که صددرد از بین می‌روند. در طی دو دهه اخیر مطالعه بر روی مواد زیست‌تخریب‌پذیر حاصل از پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها گسترش وسیعی یافته است (Sirati *et al.*, 2017; Maskell, 1991). پلاستیک به‌دلیل داشتن هزینه کم، سهولت ساخت، عدم نفوذ آب در محصولات و همچنین چکش‌خواری توسعه یافته است. با وجود نگرانی‌های ایمنی زیادی که در مورد پلاستیک وجود دارد، استفاده از آن در بسته‌بندی مواد غذایی نسبت به مواد سنتی مانند شیشه و فلز به دلیل هزینه کم و مزایای کاربردی مانند مایکروویو

سایر کاربردهای غیر غذایی استفاده می‌شود اما چون به راحتی شکل می‌گیرند مصارف غذایی مانند ساخت بطری‌ها و فیلم‌های بسته‌بندی نیز دارند (Pearson, 1982; Heckman, 2005). پلی‌وینیلیدین کلراید (PVDC) یک پلیمر وینیلی است که سدی عالی در برابر بخار آب، گازها، چربی‌ها و روغن ایجاد کرده و قابلیت آب‌بندی حرارتی نیز دارد. از آن در بسته‌بندی گوشت‌های پخته شده، مرغ، پنیر، چای، میان وعده، قهوه و شیرینی استفاده می‌شود. از آنجایی که PVdC حاوی دو برابر مقدار کلر در PVC است، با سوختن مشکلات زیست محیطی ایجاد می‌کند.

پلی‌استایرن (PS) پلیمری سخت و شکننده و شفاف و سبک وزن بوده و نقطه ذوب نسبتاً پایینی دارد. معمولاً برای کاربردهای کم هزینه استفاده می‌شود. به صورت تجاری در دو فرم ورق و گلوله موجود است. از آن در ساخت سینی‌های تخم‌مرغ، ظروف پلاستیکی یکبار مصرف، درب بطری‌ها استفاده می‌شود. علاوه بر صنعت غذایی در شکل گسترش یافته، برای بسته‌بندی‌های غیر غذایی و بالشتک‌سازی استفاده می‌شود. این پلیمر قابلیت بازیافت یا سوزانده شدن نیز دارد (Piringer *et al.*, 2008). پلی‌آمیدها پلیمرهایی هستند که به دلیل وجود پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آن مقاومت در برابر دما و سختی بالایی دارند. پلی‌آمیدها در ابتدا در منسوجات استفاده می‌شدند. مقاومت شیمیایی، استحکام و نفوذ پذیری کم در برابر گازها از مزایای استفاده از این پلیمر است (Crosby, 1981).

— پلیمرهای زیست تخریب پذیر

تعریف کلی از پلاستیک‌های زیستی به پلاستیک‌هایی گفته می‌شود که از منابع بیولوژیکی

گرما، روغن‌های معدنی، حلال‌ها و اسیدها هستند؛ اما نسبت به بازها مقاومت خوبی ندارند. از آن‌ها جهت ساخت بطری‌های آب‌معدنی، نوشیدنی‌های گازدار استفاده می‌کنند. از جمله پلی‌استرها می‌توان به پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)، پلی‌کربنات (PC) و پلی‌اتیلن نفتالات (PEN) اشاره کرد که PET رایج‌ترین پلی‌استر مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی است (Heckman, 2005).

پلی‌کربنات، سد بسیار خوبی در برابر طعم و عطر ایجاد کرده ولی سد مناسبی برای گازها ایجاد نمی‌کند، همچنین دارای طیف گسترده‌ای از مقاومت در برابر دما است. پلی‌اتیلن ترفتالات به دلیل شفافیت، ایجاد سد مناسب در برابر گازها و رطوبت، وزن سبک، سخت و تقریباً نشکن بودن، مقاومت بالا در برابر گرما، حلال‌ها، روغن‌های معدنی و اسیدها به عنوان ماده بسته‌بندی نوشیدنی و مواد معدنی استفاده می‌شود. بنابراین محصولات غذایی ذخیره شده در پلی‌اتیلن ترفتالات دارای ماندگاری طولانی هستند. پلی‌اتیلن نفتالات نسبت به پلی‌اتیلن ترفتالات مقاومت بیشتری در برابر دما داشته و همچنین مانع بیشتری برای دی‌اکسید کربن، اکسیژن و بخار آب از خود نشان می‌دهد. می‌توان از آن برای پر کردن مجدد با محصول داغ استفاده نمود (Crosby, 1981; Heckman, 2005). پلی‌وینیل کلراید (PVC) از جمله دیگر پلیمرهایی است که برای بسته‌بندی استفاده می‌شود. این پلیمر خواص الکتریکی بالایی داشته و انعطاف پذیر و محکم است؛ همچنین شفاف بوده و مقاومت بسیار خوبی در برابر مواد شیمیایی مانند اسیدها و بازها و همچنین گریس و روغن دارد. با اینکه پلی‌وینیل کلراید در درجه اول در پزشکی و

کلی، دو نوع اساسی از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر وجود دارد که عبارتند از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مصنوعی و پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر طبیعی (Zhang, 2021).

پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر نوعی از پلاستیک‌ها هستند که می‌توانند توسط ارگانیسم‌های زنده مانند: میکروب‌ها و در محیط‌های همانند آب، کربن دی اکسید یا زیست توده تجزیه شوند. معمولاً می‌توان پلاستیک‌های یاد شده را توسط مواد خام و یا میکروارگانیسم‌ها و یا مواد شیمیایی نفتی و یا ترکیب‌هایی از تمام موارد یاد شده به صورت مجدد تولید کرد. به‌طور کلی مواد پلاستیکی به گونه‌ای مهندسی شده‌اند که پایداری زیادی داشته باشند. ممکن است متوجه شده باشید که انواعی از مواد پلاستیکی پس از مدتی تیره و یا زرد رنگ می‌شوند (به خصوص پس از قرارگیری در معرض نور خورشید و یا به عنوان بهتر اشعه فرابنفش). به همین دلیل تولیدکنندگان مواد پایدار کننده بیشتری را به این ترکیبات اضافه می‌کنند تا عمر آن را طولانی‌تر کنند. از آنجایی که جامعه امروزی همچنان تمرکز خود بر حفاظت از محیط زیست را افزایش می‌دهد، تولیدکنندگان پلاستیک‌هایی را می‌سازند که با سرعت بیشتری در طبیعت نابود شوند (Sedaghat and Boghori, 2023).

استفاده از پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر در تولید محصول

پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر بیشتر در تولید مواد قابل بازیافت نقش دارند به عنوان مثال در تولید انواعی از بسته‌بندی‌ها، کارد و چنگال و ظروف رستوران‌ها نقش دارند. در واقع این مواد به

تجدیدپذیر به دست می‌آیند مانند چربی‌ها و روغن‌های گیاهی، نشاسته‌های گیاهی یا میکروارگانیسم‌ها. متناوباً، ترجیح پلاستیک‌های زیستی برای حفظ منابع تجدیدپذیر در نظر گرفته می‌شود.

مصرف منابع تجدیدپذیر مانند ضایعات کشاورزی و تجزیه زیستی در محیط‌های مختلف استفاده از پلاستیک‌های زیستی را آسان‌تر کرده است. تجزیه زیستی از پلاستیک‌های زیستی به دلیل ساختار فیزیکی و شیمیایی آنهاست. پلاستیک‌های زیستی محصولات سازگار با محیط زیست و سازگار با فن‌آوری‌های مورد استفاده در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین استفاده از آن‌ها در آینده افزایش می‌یابد. تجزیه بیولوژیکی پلیمرها از طریق هیدرولیز و اکسیداسیون انجام می‌شود. بسیاری از پلیمرهای مصنوعی زیست تخریب‌پذیر و بیوپلیمرها حاوی گروه‌های قابل هیدرولیز در امتداد زنجیره‌های اصلی هستند (Huang et al., 1995).

امروزه مواد مصنوعی با پلیمر بالا تقریباً در تمام جنبه‌های زندگی ما مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما استفاده از آن‌ها مشکلات زیست محیطی بزرگی را برای جهان ایجاد می‌کند. استفاده بیش از حد از "سطل زباله سفید" یا افزایش انفجاری در محل دفن زباله، همگی مشکلاتی هستند که محیط زیست را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از آنجایی که افراد بیشتری به نگرانی‌های محیط زیستی جهانی می‌پردازند، پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر به موضوع مهمی تبدیل شده‌اند. با تجزیه یا تجزیه با فعل و انفعالات میکروارگانیسم‌ها، این فرآیند در واقع محصولات سازگار با محیط زیست را تشکیل می‌دهد. به‌طور

در طبیعت به کود تبدیل شوند ولی زیست تخریب پذیر نمی باشند، زیرا امکان زیست تخریب پذیری در شرایطی خارج از محیط مصنوعی کمپوست را ندارند.

– ترکیبات نشاسته‌ای

ترکیبات نشاسته‌ای نوعی از پلیمرهای ترموپلاستیک می باشند که از ترکیب مواد نشاسته‌ای با مواد نرم کننده به وجود می آید.

– پلاستیک‌های سلولوز محور

پلاستیک‌های زیستی سلولوزی در واقع استرهای سلولوزی (شامل سلولز استات و نیتروسولوز) و مشتقاتی هستند که سلولیت را نیز در خود جای می دهند .

– ترکیبات پلیمری لیگنین محور

نوعی پلیمر آروماتیک طبیعی هستند که قابلیت تجدید در محیط زیست را دارند و همچنین از خواص زیست تخریب پذیر برخوردار هستند.

– پلاستیک‌های نفت محور

پلاستیک‌های نفت محور انواعی از مواد پلاستیکی هستند که از مواد شیمیایی نفتی گرفته می شوند و منشاء اصلی این مواد نیز نفت خام فسیلی، زغال سنگ و گاز طبیعی است.

– پلی گلیکولیک اسید

نوعی پلیمر ترموپلاستیک و یک پلی استر آلیفاتیک است. این ماده یکی از پلیمرهای زیست تخریب پذیر به حساب می آید.

– پلی بوتیلن ساکسینات

این ماده نوعی رزین پلیمری ترموپلاستیک است. در تولید بسته بندی مواد غذایی و مواد آرایشی کاربرد دارد.

خوبی می توانند جایگزین بسیاری از مواد کاربردی سنتی و قدیمی باشد اما همچنان هزینه و عملکرد آن‌ها از گزینه‌های مشکل‌زا می باشد. مصرف مواد یاد شده فقط در صورتی از نظر اقتصادی قابل توجیه است که قوانین ویژه‌ای، مصرف پلاستیک‌های سنتی را محدود سازند. به عنوان مثال با تصویب قوانین خاصی در سال ۲۰۱۱ در ایتالیا استفاده از کیسه‌های پلاستیکی زیست تخریب پذیر به عنوان قانونی اجباری مطرح شد (Sedaghat and Boghori, 2023).

– انواع پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر

– پلاستیک‌های زیستی

پلاستیک‌هایی که به صورت بیولوژیکی و یا زیستی به دست می آیند، با نام بیوپلاستیک و یا پلاستیک‌های زیست محور نیز شناخته می شوند و این مواد معمولاً از منابع طبیعی گرفته می شوند مانند گیاهان، حیوانات یا موجودات بسیار ریز.

– پلی هیدروکسی الکانوات

این مواد یکی از دسته‌های پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر را تشکیل می دهند و معمولاً توسط انواعی از موجودات بسیار ریز به وجود می آید.

– پلی لاکتیک اسید

پلی لاکتیک اسید نوعی پلی استر الیفاتیک ترموپلاستیک است که از زیست توده‌های تجدیدپذیر گرفته می شود مانند خمیر ذرت، نیشکر، آرد مانیوک و چغندر قند. در سال ۲۰۱۰ پلی لاکتیک اسید به عنوان نوعی از پلاستیک‌های زیستی شناخته شد که دومین حجم مصرف در دنیا را دارد. بنابر استانداردهای اروپایی و آمریکایی این مواد می توانند

– پلی کاپرولاکتون

این نوع از پلیمر به عنوان یک ماده زیستی کشت‌پذیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا هیدرولیز پیوندهای اصلی در این ماده باعث بروز خواص زیست تخریب‌پذیر می‌شود.

– پلی وینیل الکل

پلی وینیل الکل یکی از معدود پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر وینیلی است که می‌تواند در آب حل شود. از آنجایی که پلیمر یادشده قابلیت انحلال در آب را به عنوان یک محلول بی‌ضرر و ارزان قیمت دارد در حوزه‌های متفاوتی به کار برده می‌شود که از آن جمله می‌توان به بسته‌بندی مواد غذایی، پوشش پارچه‌ای، پوشش کاغذ و محصولات حوزه پزشکی اشاره کرد.

– پلی بوتیلن ادیپات ترفتالات

این ماده نوعی هم بسیار تصادفی زیست تخریب‌پذیر است (Ghanbarzadeh and Almasi, 2013).

ضرورت استفاده از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر عبارتند از کاهش آلودگی محیط‌زیست، کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر، بهبود چرخه مواد و حفظ سلامت انسان و حیوانات.

پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مصنوعی از منابع مصنوعی مانند پلی‌استر یا پلی‌وینیل الکل ساخته می‌شوند. بر اساس ساختار مولکولی، پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مصنوعی را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد: پلیمرهای پلی‌اتر، پلیمرهای پلی‌استر و پلیمرهای پلی‌وینیل. سرعت تجزیه پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر به عوامل مختلفی از جمله نوع پلیمر، شرایط محیطی و روش تولید پلیمر بستگی

دارد. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر محدودیت‌هایی نیز دارند، از جمله: قیمت بالاتر و محدودیت‌های کاربردی.

با افزایش آگاهی مردم نسبت به اهمیت حفاظت از محیط‌زیست، استفاده از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر در ایران نیز در حال افزایش است. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر می‌توانند جایگزین مناسبی برای پلیمرهای سنتی باشند، اما این امر به عوامل مختلفی بستگی دارد، از جمله قیمت، کاربرد و محدودیت‌های پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر.

در مورد پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مصنوعی، پلی‌استرهای آلیفاتیک نماینده هستند. اگرچه پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مصنوعی به صورت تجاری در دسترس هستند، در حال حاضر پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مصنوعی محدود به پلی‌استرها هستند، اکثر آن‌ها حاوی پیوندهای استری به عنوان یک مکان کلیدی برای تجزیه زیستی هستند. تحقیقات بر روی پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مصنوعی بدون در نظر گرفتن مطالعات بیولوژیکی بنیادی در مورد انواع و توزیع میکروارگانیسم‌هایی که می‌توانند پلاستیک‌ها، مکانیسم‌های تجزیه آن‌ها و ایمنی محصولات تخریب را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند، هرگز نتایج واقعی متمر ثمری به همراه نخواهد داشت (Okada, 2002).

تخریب زیستی می‌تواند یکی از ویژگی‌های کلیدی پلیمرهای مصنوعی در چارچوب توسعه پایدار باشد. پلیمرها بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند و زندگی روزمره ما بدون آن‌ها قابل تصور نیست. پلیمرها درشت مولکول‌هایی هستند که عموماً با وزن مولکولی بیشتر از ۱۰۰۰ گرم در مول با واحدهای

مونومر تکرارشونده متفاوت به روش‌های مختلف ترکیب شده‌اند تا هزاران محصول کاملاً متفاوت را ارائه دهند. در ابتدا، پلیمرها عمدتاً زیست تخریب‌پذیر نبودند، اما امروزه، کاربردهای خاصی به محصولات تخصصی با قابلیت تجزیه زیستی واقعی نیاز دارند، زیرا در غیر این صورت ممکن است در محیط انباشته شوند. استفاده از پلیمرهای متداول تجزیه ناپذیر و غیرقابل کمپوست تأثیر منفی قابل توجهی بر محیط زیست دارد، بنابراین پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر می‌توانند توجه زیادی را با توجه به علاقه فعلی در زمینه توسعه پایدار، بازیافت یا حفاظت از محیط زیست به خود جلب کنند. دگرگونی‌های مورفولوژیکی و ساختاری ناشی از تخریب مواد تأثیر قابل توجهی بر خواص مواد پلیمری دارد. بنابراین، ارزیابی و درک ساختار، خواص و رفتار مواد پیشرفته برای کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی برای جلوگیری از تخریب در طول ذخیره‌سازی مهم است (Rydz *et al.*, 2018).

روندهای اخیر در پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر نشان‌دهنده پیشرفت‌های قابل توجهی از نظر استراتژی‌های طراحی جدید و مهندسی برای ارائه پلیمرهای پیشرفته با عملکرد نسبتاً خوب است. با این حال، نارسایی‌های متعددی از نظر فناوری یا هزینه تولید به‌ویژه در مورد کاربرد در آلودگی‌های محیطی وجود دارد. بنابراین، نیاز به نگاهی تازه به طراحی، خواص و عملکرد این پلیمرها با در نظر گرفتن استراتژی‌هایی برای توسعه‌های آتی وجود دارد (Luckachan *et al.*, 2011). اعتقاد بر این است که مواد پلیمری زیست تخریب‌پذیر با نیاز به تولید پلیمر مصنوعی کاهش می‌یابد. همانطور که مشخص

شده است، مواد پلیمری مصنوعی به‌طور گسترده در هر زمینه‌ای از فعالیت‌های انسانی استفاده می‌شود. در طول دهه‌های گذشته این مواد درشت مولکولی مصنوعی معمولاً از نفت و اکثر موارد معمولی غیر قابل تجزیه در نظر گرفته می‌شدند. با این حال، منابع نفتی محدود است و استفاده گسترده از پلیمرهای غیرقابل تجزیه زیست محیطی باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی جدی شده است. بنابراین، مواد پلیمری که تجزیه‌پذیر و/یا زیست تخریب‌پذیر هستند از دهه ۱۹۷۰ بیشتر و بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در زندگی روزمره، بسته‌بندی یک قسمت مهم است که در آن می‌توان از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر استفاده کرد. محصولات بیوپلاستیک با این حال، محصولاتی که سازگار با محیط زیست، ایمن‌تر و غیرسمی هستند و همچنین در حال حاضر از نظر اقتصادی مطلوب هستند. این سناریو منجر به این نتیجه می‌شود که محصولات بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر به‌طور فزاینده‌ای محبوب خواهند شد. به منظور کاهش حجم زباله، اغلب از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر استفاده می‌شود. علاوه بر زیست تخریب‌پذیری، بیوپلیمرها همانند: نشاسته، سلولز، کیتوزان، PCL، PHB و غیره دارای ویژگی‌هایی از جمله نفوذپذیری هوا، آب‌بندی در دمای پایین، در دسترس بودن و قیمت پایین و ... هستند. روند فعلی جهت اهداف بسته‌بندی مواد غذایی استفاده از ترکیبات بیوپلیمر مختلف مانند: مخلوط نشاسته - PLA و غیره می‌باشد. درب‌ها، قطعات آئروسول، بطری، شیشه، ویال، طبل، سطل، قوطی، بشکه، کلاه، فیلم‌های بسته‌بندی، ظروف غذا، لیوان‌های یکبار مصرف؛ پوشش برای انواع بسته‌بندی، کیسه‌های

بسته‌بندی، کیسه‌های زیاله خانگی و سازمانی و فیلم؛ جعبه و سبد و غیره با استفاده از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر در حال تولید هستند. بسیاری از شرکت‌ها مانند National Biomer، BASF، Novamont، starch، DuPont در حال تولید پلیمرهای زیستی هستند. مواد پلیمری ترکیبات جامد و غیرفلزی با وزن مولکولی بالا هستند. آن‌ها از ماکرومولکول‌های تکرار شونده تشکیل شده‌اند و بسته به ترکیب آن‌ها ویژگی‌های متفاوتی دارند (Pawar et al., 2013).

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی و انواع آن

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از دیگر مواد بسته‌بندی، لایه نازکی از مواد قابل خوردن هستند که از دیرباز از آن‌ها جهت افزایش ماندگاری مواد غذایی استفاده می‌شد. پوشش‌ها محلول بوده و مستقیم به محصول متصل‌اند. فیلم‌ها، ورقه‌های مستقل از محصول هستند به شکل ورقه‌های جامد تهیه شده و سپس برای پوشش‌دهی در اطراف یا بین محصول به کار می‌رود. مواد تشکیل‌دهنده فیلم‌ها یک پلیمر است. پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی می‌توانند بر پایه پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و پروتئین‌ها باشند. اگر بر پایه پلی‌ساکاریدها باشد مزایای آن عدم سمیت و نفوذپذیری انتخابی به کربن و اکسیژن بوده و عمر مفید میوه‌ها را افزایش می‌دهد اما مقاومت کمی در برابر آب داشته و استحکام مکانیکی ضعیفی نیز دارند. اگر بر پایه لیپیدی باشد مانعی در برابر بخار آب و رطوبت است اما استحکام زیادی ندارند. اگر بر پایه پروتئین باشد مقاومت مکانیکی خوبی از خود نشان می‌دهند ولی نسبت به آب مقاومت کمی دارند. بنابراین لیپیدها برای کاربردهای پوشش خوراکی یا به عنوان یک افزودنی همراه با پلی

ساکاریدها و یا لایه‌های پروتئینی به منظور ساخت فیلم‌های کامپوزیتی خوراکی استفاده می‌شوند. در کل فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی باعث جلوگیری از فساد و آلودگی میکروبی، حفظ مواد غذایی در برابر کاهش رطوبت، جلوگیری از تراوش محتویات گوشت به خارج از آن، سازگاری با محیط زیست، افزایش عمر مفید مواد تازه و کم فراوری شده، تنظیم میزان تنفس محصول و محافظت در برابر از دست دادن آب، قهوه‌ای شدن، نرم شدن بافت می‌شود. در واقع آن‌ها در مقایسه با پلاستیک می‌توانند به عنوان حامل مواد فعال که دارای خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی هستند، عمل کنند. استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی باعث کاهش مصرف بسته‌بندی‌های پلاستیکی می‌شود (Kim et al., 2014).

با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و ایمنی غذایی، استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی حاوی ترکیبات طبیعی به عنوان جایگزین بسته‌بندی‌های سنتی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. این ترکیبات نه تنها تجزیه‌پذیر و سازگار با محیط زیست هستند، بلکه به دلیل دارا بودن خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی، نقش مؤثری در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری فرآورده‌های پروتئینی ایفا می‌کنند. معایب آن‌ها استحکام و خواص مکانیکی ضعیف و همچنین شکنندگی بالا در رطوبت کم است (Kim et al., 2014).

مطالعات بیان کردند که به‌کارگیری فیلم کیتوزان با نانوامولسیون اسانس زیره همراه با پرتودهی گاما با دوز کم، می‌تواند رشد میکروارگانیسم‌های فسادزا و پاتوژن‌ها را در گوشت گاو مهار کرده و باعث حفظ طولانی مدت آن در طی

بالا، مشکلات پردازش همچنان در مقیاس آزمایشگاهی تولید می‌شوند. تولید فیلم‌های خوراکی در مقیاس آزمایشگاهی کنونی دارای مشکلاتی مانند عدم توانایی در ساخت فیلم‌های پیوسته، زمان خشک شدن طولانی و کنترل نادرست ضخامت است که باید قبل از تولید در مقیاس صنعتی برطرف شود. فقدان شواهد در مورد خوراکی بودن، زیست‌تخریب‌پذیری، اثرات سمی و بهداشتی، بازاریابی ناکافی، عدم آگاهی و مسائل فرهنگی می‌تواند بر ایمنی مواد غذایی و پذیرش مشتری تأثیر بگذارد. تحقیقات آتی باید تمام این مشکلات را از منظر افزایش صنعتی و جنبه‌های تجاری مورد بررسی قرار دهد تا فیلم‌های خوراکی از نظر صنعتی قابل دوام و از نظر تجاری موفق باشند. بسته‌بندی خوراکی از مواد مصرفی انسان ساخته شده‌است که توانایی تشکیل یک شبکه پیوسته و منسجم را دارد و از آنجایی که می‌توان آن را همراه با غذا و نوشیدنی موجود مصرف کرد، مشکل دفع زباله تقریباً صفر است. حتی اگر خورده نشود، در مقایسه با مواد بسته‌بندی مصنوعی و زیست‌تخریب‌پذیر سریع‌تر تجزیه می‌شود و می‌تواند نیاز به محل‌های دفن زباله را تا حد زیادی کاهش دهد. از آنجایی که مواد بسته‌بندی برای مصرف انسان ایمن هستند، انتقال مولکول‌های بسته‌بندی به مواد غذایی هیچ مشکلی برای سلامتی ایجاد نمی‌کند. با توجه به این مزایا، بدون شک بسته‌بندی خوراکی توجه زیادی را به سمت جایگزینی مواد مصنوعی جلب کرده است. نگرانی‌ها در مورد فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی شامل نرخ تخریب تحت شرایط مختلف، تغییر در خواص مکانیکی در طول ذخیره‌سازی، پتانسیل رشد میکروبی و انتشار ترکیبات مضر در محصول غذایی

نگهداری سرد شود (Dini et al., 2020). پژوهش‌ها نشان دادند که پوشش کیتوزان حاوی روغن فرار گیاه زنجبیل روش مناسبی برای افزایش زمان ماندگاری ماهی قزل‌آلا در دمای یخچال بوده و ماندگاری آن را تا ۱۵ روز افزایش می‌دهد (Mehrabi et al., 2024) یافته‌ها نشان دادند که جدایه پروتئینی آب پنیر حاوی آنزیم لیزوزیم به عنوان یک پوشش‌دهنده و نگه‌دارنده طبیعی می‌تواند موجب افزایش ماندگاری گوشت مرغ گردد (Moghimi and bonyadian, 2018). بررسی‌ها نشان دادند که پوشش‌دهی مرغ با نشاسته سیب‌زمینی به‌ویژه با افزودن مقادیر مختلف اسانس کاکوتی و آویشن، اثر بازدارندگی در افزایش عوامل موثر در فساد شیمیایی آن دارد (Rajabian et al., 2019).

امروزه مواد پایه زیستی برای طراحی بسته‌بندی مواد غذایی مورد استقبال قرار گرفته‌است، زیرا دارای مزایای بسیاری مانند زیست‌تخریب‌پذیری، زیست‌سازگاری و سمیت کم هستند. بسته به فرمولاسیون، بسته‌بندی‌های مبتنی بر بیوپلیمر ممکن است ویژگی‌های بازدارنده، فعالیت‌های ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی خوبی داشته باشند، بنابراین، پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها را می‌توان برای تشکیل لایه‌های کامپوزیتی متنوع با رفتارهای مکانیکی و بیولوژیکی بهبودیافته ترکیب کرد و آن‌ها را برای بسته‌بندی محصولات غذایی مختلف مناسب ساخت. گیاهان، جلبک‌ها و غذاهای دریایی منابع مهمی برای به دست آوردن پلیمرهای طبیعی هستند که می‌توانند برای طراحی بسته‌بندی پایدار مورد استفاده قرار گیرند (Nechita et al., 2020). با وجود مزیت‌های فراوان، فیلم‌های خوراکی به دلیل مشکلاتی از جمله مسائل ایمنی و بهداشتی، هزینه

بسته‌بندی شده‌است. علاوه بر این، بسته‌بندی زیستی باید به عنوان بسته‌بندی مواد غذایی عمل کند و نیازهای هر محصول غذایی را برآورده کند (Petersen *et al.*, 1999).

-مخاطرات ناشی از مواد بسته‌بندی

مشخص شده‌است که مواد شیمیایی از بسته‌بندی و سایر مواد در تماس با غذا، می‌توانند مهاجرت کنند و وارد غذا شده و در نهایت توسط مصرف‌کننده بلعیده شود. مهاجرت مواد شیمیایی از مواد بسته‌بندی به مواد غذایی به ترکیب مواد بسته‌بندی، ماهیت و میزان تماس، ماهیت غذا، دمای تماس، مدت زمان تماس و تحرک مواد شیمیایی در بسته‌بندی بستگی دارد. از این موارد می‌توان به هیدروکربن‌های معدنی مانند پارافین مایع، روغن سفید، نفت، ژله، پارافین سخت و موم میکروکریستالی اشاره کرد. اسیدهای غذایی می‌توانند باعث خوردگی فلزات شوند، چربی‌ها و روغن‌ها می‌توانند متورم شوند و حتی کاغذ و کارتن بدون محافظ هم در تماس با غذا کاملاً بی‌اثر نیست. آلایندگی‌هایی مانند بیسفنول A، فتالات‌ها و آنتیموان که برای انسان سمی است. برخی از بطری‌ها و شیشه‌ها ممکن است حاوی سرب باشند. در مطالعه‌ای نشان داده شد که آب‌های بسته‌بندی شده در بطری‌های شیشه‌ای ۲۶ تا ۵۷ برابر بیشتر از آب‌های مشابه بطری شده در پلاستیک پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) سرب دارند. مطالعات دیگر آلودگی شیمیایی مواد غذایی را نه از خود شیشه، بلکه از موادی که برای مهر و موم کردن درب‌های فلزی ظروف شیشه‌ای استفاده می‌کنند، نشان داده‌اند. جعبه‌های مقوایی با پوشش‌های کاغذی پوشش داده شده، با دی‌ایزوبوتیل فتالات

و دی-ان-بوتیل فتالات آلوده بودند، که تعداد کمی از نمونه‌ها حاوی سطوحی فراتر از حد مجاز کمسیون اروپا برای آلایندگی‌های مواد غذایی بودند. محققان خاطرنشان کردند که آسترهای داخلی ساخته شده از فویل آلومینیومی، بسیار موثرتر از کاغذ، در جلوگیری از مهاجرت فتالات‌ها عمل می‌کنند. یکی از داغ‌ترین بحث‌ها در مورد بسته‌بندی مواد غذایی، استفاده از رزین‌های مبتنی بر اپوکسی حاوی بیسفنول A در روکش‌های قوطی فلزی هستند که این ترکیب ممکن است بر مغز و غده پروستات در جنین‌ها، نوزادان و کودکان تاثیر بگذارد. بررسی‌ها نشان داد که فلزات سنگین بسیار سمی هستند. طبق گزارشی مشخص شد که از فلزاتی سنگین مانند تیتانیوم، کرومات، مولیبدن و آهن به عنوان رنگدانه در تولید جوهر چاپ استفاده می‌شود که می‌توانست باعث ایجاد سمیت شود (Claudio, 2012).

در مقابله با این مخاطرات می‌توان اقداماتی انجام داد. تلاش‌ها برای پرداختن به اثرات زیست‌محیطی بسته‌بندی شامل تلاش‌هایی است که هدفشان کاهش منبع، استفاده مجدد و بازیافت است. کاهش منبع را می‌توان با سبک کردن یا استفاده از مواد کمتر برای ساخت بسته‌بندی مشابه به دست آورد. ظروف قابل استفاده مجدد و پر کردن مجدد روش دیگری است که شرکت‌ها می‌توانند کاهش منبع را اجرا کنند. در مورد بازیافت هم باید از موادی استفاده شود که قابلیت بازیابی داشته باشد. در صنعت بسته‌بندی، محققان بر روی بازیافت و استفاده مجدد از مواد بسته‌بندی مصنوعی برای مدیریت و کنترل زباله کار می‌کنند. همچنین نوآوری‌هایی در مواد و فرآیندهای بسته‌بندی در حال توسعه هستند که از

از مواد بسته‌بندی را کاهش دهند و به‌طور کلی ضایعات کمتری ایجاد کنند (Claudio, 2012; Abdullahi, 2014).

خلاصه موارد بحث شده در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

مواد جایگزین برای رسیدگی به مهاجرت مواد شیمیایی بالقوه سمی به غذاها استفاده می‌کنند. برخی دیگر حجم زباله‌های بسته‌بندی مواد غذایی را با ترکیب اجزای زیست تخریب‌پذیر بررسی می‌کنند. بهترین روش برای فردای سبزتر این است که صنعت بسته‌بندی و مصرف‌کنندگان به ترتیب تولید و استفاده

جدول (۱)- انواع مواد بسته‌بندی همراه با مزایا و معایب

معایب	مزایا	نوع ماده بسته‌بندی
شکنندگی بالا، وزن بالای محصول نهایی، افزایش هزینه حمل و نقل	شفاف بودن، قابل‌رویت بودن محصول، نفوذناپذیری به هوا، رطوبت و گازها، عدم ایجاد واکنش با ماده غذایی، بازیافت‌پذیر و قابلیت استفاده مجدد	شیشه
مقاومت کم در برابر آب و چربی، نفوذپذیری بالا در برابر گازها و بخارات، حساس به حمله میکروبی	قیمت پایین، وزن کم، قابل بازیافت و سازگار با محیط زیست، منابع فراوان، خواص مکانیکی خوب	کاغذ و مقوا
خوردگی و مهاجرت فلزات خطرناک	فشردگی، چگالی بالا، چکش‌خواری، هدایت حرارتی بالا، محافظت فیزیکی عالی، قابلیت بازیافت، مانع به عوامل شیمیایی و محیطی	فلزات
استحکام کمتر در مقایسه با لفاف‌های پلاستیکی، خواص مکانیکی ضعیف، شکنندگی بالا در رطوبت کم	دارای خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی، حفظ ایمنی غذا، حفاظت مواد خوراکی در برابر کاهش رطوبت، جلوگیری از تراوش محتویات مواد غذایی به خارج از آن، سازگاری با محیط‌زیست، تنظیم میزان تنفس محصول، کاهش مصرف بسته‌بندی‌های پلاستیکی	فيلم‌ها و پوشش‌های خوراکی
عدم زیست‌تخریب‌پذیری و آلودگی محیط-زیست، مهاجرت، نفوذپذیری متغیر در برابر نور، گازها و بخارات	هزینه کم، سهولت ساخت، عدم نفوذ آب در محصول، انعطاف‌پذیری، خواص فیزیکی و نوری	پلاستیک

جدول ۲. انواع مواد بسته‌بندی به همراه کاربردها

کاربردها	نوع ماده بسته‌بندی	
آرد، شکر، میوه‌های خشک و سبزیجات بسته‌بندی ثانویه، پوشش‌های خارجی و برچسب زدن	کاغذ کرافت تصفیه نشده کرافت سفید	انواع کاغذ
بیسکویت و شیرینی بسته‌بندی محصولات خشک مثل سوپ، گیاهان و ادویه‌جات	کاغذ سولفیت کاغذ لمینت شده	
غذاهای میان وعده، کلوچه و آبنبات چربی‌های پخت و پز مانند کره، فست‌فودها و محصولات پخته شده، آستر بیسکویت کره، غذاهای میان وعده، کلوچه و آبنبات مواد غذایی چرب و آستر کردن سینی و قالب‌های پخت کیک	کاغذ ضد گریس کاغذ شیشه‌ای یا گلاسیسین کاغذ روغنی کاغذ ضد روغن	
لایه داخلی کارتن‌ها آبمیوه و نوشیدنی‌های بدون الکل چای و غلات مواد غذایی فله‌ای و محصولات خشک مانند قهوه و شیر خشک محصولات خشک مانند ادویه‌جات، سبزیجات و سوپ	تخته سفید یا وایت برد تخته جامد تخته نئوپان یا تخته روزنامه تخته فیبر لمینت‌های کاغذی	
بسته‌بندی‌های سبک مثل قوطی نوشابه، غذاهای دریایی مواد غذایی با ارزش بالا مثل سوپ‌های خشک، گیاهان، ادویه‌جات و ترشی‌جات تفلات غذاهای پودر شده و شیرینی‌های مبتنی بر آرد و شکر، محصولات گوشتی انتهای قوطی‌ها، درب بطری‌ها و سینی‌ها، محصولات گوشتی	آلومینیوم لمینت‌ها فیلم‌های متالیزه ورق فولادی (قلع ورق) فولاد بدون قلع	انواع فلزات
مواد غذایی منجمد، بطری‌های مواد غذایی قابل فشار دادن، شیر آبمیوه، آب، وان مارگارین شیر، آبمیوه، آب، آستر جعبه غلات، مارگارین ظروف ماست و مارگارین بطری‌های آب معدنی و نوشیدنی‌های گازدار نوشیدنی، مواد معدنی محصولات داغ	پلی الفین پلی اتیلن پلی پروپیلن پلی استر پلی اتیلن ترفتالات پلی اتیلن نفتالات	انواع پلاستیک

پلی وینیل کلراید	بطری‌ها، فیلم‌های بسته‌بندی، محصولات گوشتی
پلی وینیلیدین کلراید	گوشت‌های پخته شده، مرغ، پنیر، چای، میان وعده، قهوه، شیرینی، بسته‌بندی جو اصلاح شده، پر کردن داغ و ذخیره‌سازی در دمای پایین
پلی استایرن	سینی‌های تخم‌مرغ، درب بطری، بشقاب، فنجان، سینی غذا
پلی آمید	گوشت تازه، پنیر، فرآورده‌های گوشتی، انواع سوسیس و کالباس
اتیلن وینیل الکل	جایی که در تماس مستقیم با مایعات نباشد، ماکروویو پذیر، حرارت پذیر
پلی کربنات	بطری‌های نوشیدنی‌های الکلی

- چشم‌انداز آینده

با توجه به این واقعیت که ذخایر نفتی محدود و رو به اتمام هستند، نیاز است مواد جایگزینی توسعه یابند تا بتوانند همان هدفی را که پلاستیک‌های معمولی انجام می‌دهند، انجام دهند. پلیمرهای زیستی به عنوان مواد سبز امیدوارکننده ظاهر شده‌اند، اگرچه هنوز جذب بازار بسیار کمی دارند. انتظار می‌رود بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر سازگار با محیط‌زیست تأثیر مهمی بر کیفیت محصولات غذایی و صنعت و بازار مواد غذایی در سال‌های آینده داشته باشد (Cazón *et al.*, 2021). با حرکت به سمت جهانی شدن، بسته‌بندی مواد غذایی به ماندگاری طولانی‌تری همراه با نظارت بر ایمنی و کیفیت بر اساس استانداردهای بین‌المللی نیاز دارد (Silvestre *et al.*, 2011). فیلم‌های خوراکی غیرپلاستیک شده، شکننده هستند و ویژگی‌های فیلم پایین‌تری نسبت به پلاستیک‌های مشتق شده از نفت نشان می‌دهند. با این حال، خاصیت آب‌بندی حرارتی و مانع‌گاز با پلاستیک‌ها قابل مقایسه است. استفاده از یک ترکیب نرم‌کننده می‌تواند انعطاف‌پذیری فیلم

را بهبود بخشد (Jeevahan *et al.*, 2020). می‌دانیم که افزایش بار مواد غیرقابل تجزیه زیست‌محیطی، به زمین آسیب می‌رساند. از این رو، نیاز است تا بسته‌بندی خوراکی و فیلم‌ها توسعه یابند. با تنوع بسته‌بندی و پیشرفت تکنولوژی؛ ارزش بازار آنها نیز در حال افزایش است. پیش‌بینی می‌شود که با توجه به نگرانی‌های زیست‌محیطی، ممکن است خیلی زود جایگزین مواد موجود شوند. از این رو، استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به دلیل جایگزینی آنها با مواد موجود و متعارف، به نفع جامعه خواهد بود (Chhikara *et al.*, 2022).

پلیمرهای خوراکی طبیعی، موادی هستند که از ترکیبات خوراکی طبیعی ساخته شده و می‌توانند توسط حیوانات یا انسان‌ها بدون هیچ خطری برای سلامتی مصرف شوند و همچنین از آنجایی که مستقیماً با غذا مصرف می‌شوند، چیزی برای دفع باقی نمی‌ماند. عملکرد اصلی بسته‌بندی‌ها جدا کردن غذا از محیط اطراف، کاهش تعامل با عوامل فساد مانند میکروارگانیزم‌ها، بخار آب، اکسیژن و طعم‌های غیرطبیعی و همچنین جلوگیری از اتلاف ترکیبات

توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ مانند کیسه‌های محلول ساخته شده از پلی‌ساکارید سویا و ژلاتین، برای سوپ یا نوشیدنی (برای حل شدن در آب) و روکش‌های خوراکی ساخته شده توسط ژلاتین-پکتین که برای کاهش رطوبت پنیر ریکوتا استفاده می‌شود. مزایای واضحی برای این سیستم‌های پلیمری زیستی گزارش شده است، زیرا آن‌ها به عنوان مانعی بین غذا و محیط اطراف عمل می‌کنند، زیست‌تخریب‌پذیر و غیرسمی هستند. آن‌ها معمولاً با مهار رشد میکروارگانیسم‌ها (مانند فعالیت ضد میکروبی ذاتی کیتوزان و عصاره‌های گیاهی) و همچنین با جلوگیری از پدیده اکسیداسیون (مانند عصاره چای سبز برای حفظ سوسیس تازه) کیفیت غذا را بهبود می‌بخشند. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی همچنین ارزش غذایی محصولات غذایی و نیز ماندگاری آن‌ها را بهبود می‌بخشد. اخیراً محققان دریافته‌اند که ترکیب عصاره آفتابگردان، نفوذپذیری بخار آب را کاهش می‌دهد. برخی دیگر دو پلیمر طبیعی مهم، کیتوزان و آلژینات را بررسی کرده و عملکرد پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی مبتنی بر این دو پلیمر را برای افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات مورد بحث قرار داده‌اند. ترکیب پری-بیوتیک‌ها و پروبیوتیک‌ها در فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی استراتژی دیگری است که اخیراً به عنوان وسیله‌ای برای بهبود سلامت مورد ارزیابی قرار گرفته است. علیرغم تمام مزایا و ویژگی‌های امیدوارکننده فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی مبتنی بر پلیمرهای طبیعی، پژوهشگران مایلند به برخی از معایب و چالش‌هایی اشاره کنند که معمولاً ورود آن‌ها به بازار را مختل می‌کند. محققان در مورد مفهوم غیرسمی

مطلوب است و در نتیجه سبب افزایش ماندگاری غذا می‌شود. پلیمرها و پلاستیک‌های مبتنی بر نفت به دلیل قیمت نسبتاً پایین و خواص مطلوبشان به‌طور قابل توجهی در بازار بسته‌بندی مواد غذایی افزایش یافتند. با این حال، این پلیمرها غیرقابل تجزیه‌زیستی و تجدیدناپذیر هستند. مصرف‌کنندگان کنونی به غذاهای طبیعی، باکیفیت و ایمن‌تر در سراسر جهان نیاز دارند. آن‌ها همچنین خواستار بسته‌های غذایی هستند که آلودگی را افزایش نمی‌دهند و همه این‌ها به روشی ارزان با فرآیندهای پایدار ساخته می‌شوند. فیلم‌ها برای مدت طولانی برای بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفتند و اکنون در حال توسعه و پیشرفت هستند. بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر فعال، بسته‌بندی‌های خوراکی و سایر جایگزین‌ها به‌طور گسترده مورد تحقیق و استفاده قرار گرفته‌اند. با توجه به مزایای این بسته‌بندی‌های جایگزین، تحقیقات زیادی هر ساله با تمرکز بر کاربرد آن برای محصولات گوشتی و سبزیجات منتشر می‌شود (Kaewprachu *et al.*, 2016). گنجاندن عوامل ضد میکروبی در فیلم‌های خوراکی مبتنی بر پلیمرهای زیستی یک پیشرفت قابل توجه در فناوری بسته‌بندی مواد غذایی فعال بوده است. در مهار یا کشتن میکروب‌های بیماری‌زا و فاسدکننده که باعث آلودگی مواد غذایی می‌شوند بسیار کارآمد است. این مورد می‌تواند طعم‌های نامطلوب بالقوه تولید شده به دلیل ترکیب مستقیم ترکیبات فعال در غذاها را کاهش دهد (Chawla *et al.*, 2021). استفاده از بقایای مواد غذایی کشاورزی در این سیستم‌های بسته‌بندی به عنوان یک استراتژی امیدوارکننده است. کاربردهای خاصی از فیلم‌های خوراکی وجود دارد که در سال‌های اخیر

بحث و نتیجه گیری

باتوجه به اینکه بسته‌بندی‌های ذکر شده در این پژوهش به جز فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی دارای اثرات و پیامدهای نامطلوب زیست محیطی هستند، باید به دنبال روش‌های جایگزین بود. از بسته‌بندی‌هایی استفاده شود که کمترین اثر سوء را بر محیط زیست داشته و نیز مهاجرت مواد بسته‌بندی به ماده غذایی ایجاد نشود و در عین حال سلامت، ایمنی، بهداشت و کیفیت ماده غذایی حفظ شود. بسته‌بندی مواد غذایی در آینده به سمت پایدار بودن پیش می‌رود. استفاده از مواد قابل بازیافت یا مواد تجزیه‌پذیر یا مواد بازیافت شده و حتی عرضه محصولات غذایی در ظروف کاربردی چند بار مصرف از راه‌هایی هستند که تا کنون توسط کارخانه‌های تولیدکننده مواد غذایی امتحان شده اند و موفق بوده اند که هم به نفع محیط زیست بوده و هم به لحاظ اقتصادی هزینه کمتری دارد. این نیاز مردم بود که بسته‌بندی مواد خوراکی را ایجاد کرد، اما اکنون نیز مردم به آسیب‌هایی که بسته‌بندی مواد غذایی می‌تواند به طبیعت وارد کند آگاه هستند. بنابراین شرکت‌هایی را که از مواد سازگار با طبیعت استفاده می‌کنند و برای سلامت مشتری و محیط زیست احترام قائل هستند را انتخاب می‌کنند. این مسائل باعث تغییر مثبت صنعت بسته‌بندی می‌شود. پلیمرهای زیستی به تدریج جایگزین پلیمرهای مصنوعی رایج (به دست آمده از مشتقات نفتی) می‌شوند. خطر مهاجرت از پلاستیک‌های زیستی به غذاها نیز اجتناب‌ناپذیر است و همچنین منبع احتمالی آلودگی نیز هستند. با این حال، از آنجایی که این پلاستیک‌های زیستی با استفاده از مواد طبیعی ساخته

بودن که معمولاً با فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی مبتنی بر منابع طبیعی مرتبط است، نگران هستند. آثار زیادی وجود دارد که فعالیت‌های بیولوژیکی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی را ارزیابی می‌کنند، اما در مطالعه سمیت سلولی آن‌ها ناکام هستند. این ارزیابی باید در همه مطالعات اجرا شود زیرا یک ماده ظاهراً ایمن ممکن است به دلیل واکنش‌ها یا غلظت بیش از حد در فرمولاسیون به یک ماده سمی تبدیل شود. ترکیبات طبیعی نیز می‌توانند سمی باشند. علاوه بر این، فیلم‌های خوراکی معمولاً خواص مکانیکی و مانعی محدودی دارند که استفاده از آن‌ها را به عنوان یک بسته واقعی محدود می‌کند. با این حال، تلاش‌هایی برای مدیریت این ویژگی‌ها با استفاده از فناوری نانو انجام شده است. ماهیت آبدوست آن‌ها نیز یک نقطه چالش برانگیز است، مولفه‌های موجود در این فیلم‌ها در بازار فعلی قابل رقابت هستند. به‌طور خاص، استفاده از ترکیبات چربی دوست، مانند برخی از روغن‌های ضروری (مانند اسانس آویشن، لیمو و پونه کوهی)، ممکن است در فیلم‌های مبتنی بر پلی‌ساکارید و پروتئین برای بهبود سد رطوبت، به کار رود. علاوه بر این، این روغن‌ها دارای خواص ضد میکروبی نیز هستند (Puscaselu et al., 2019).

در واقع، عملکرد بسته‌بندی غذا از یک سیستم محافظ غیرفعال به سیستمی که نقش فعالی در حفظ کیفیت و ثبات دارد تغییر کرده است. علاوه بر علاقه به ایجاد بسته‌ای که مواد غذایی را از آلودگی محافظت می‌کند، تحقیقات اخیر به دنبال تولید مواد پلاستیکی از منابع طبیعی هستند (Hoffmann et al., 2019).

می‌شوند، خطر ایمنی مواد غذایی ناشی از آلودگی به شدت کاهش می‌یابد. زیرا مواد طبیعی تهدیدی جدی برای ایمنی غذا و مصرف کننده ایجاد نمی‌کند.

منابع

- Abdullahi, N. (2014). Hazard chemicals in some food packaging materials (a review). *Annals of Food Science and Technology*, 15(1): 115-120.
- Akram, N., Saeed, M., Mansha, A., Bokhari, T.H. and Ali, A. (2023). Metal packaging for food items: advantages, disadvantages and applications. *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science*, (Elsevier): 129-141.
- Bayat, M. (2019). The role of product packaging design in cultural communication. *Visual Arts, Naghshe-Maye*, 35: 23-30. [In Persian]
- Barone, C., Bolzoni, L., Caruso, G., Montanari, A., Parisi, S. and Steinka, I. (2015). *Food packaging hygiene*. Springer.
- Cazón, P. and Vázquez, M. (2021). Bacterial cellulose as a biodegradable food packaging material: A review. *Food Hydrocolloids*, 113: 106530.
- Chawla, R., Sivakumar, S. and Kaur, H. (2021). Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements - a review. *Journal of Current Pharmaceutical Technologies*, 2: 100024.
- Chhikara, S. and Kumar, D.J. (2022). Edible coating and edible film as food packaging material: A review. *Journal of Postharvest Technology*, 6(1): 1-10.
- Claudio, L. (2012). Our food: Packaging & public health. *Environmental Health Perspectives*, 120(6): 232-232.
- Coles, R., McDowell, D. and Kirwan, M.J. (2003). *Food packaging technology*. CRC Press.
- Crosby, N.T. (1981). *Food packaging materials. Aspects of analysis and migration of contaminants*.
- Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E. and Tobback, P. (2008). Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science & Technology*, 19: S103-S112.
- Dey, A., Sengupta, P., Pramanik, N. and Alam, T. (2020). Paper and other pulp based eco-friendly moulded materials for food packaging applications: a review. *Journal of Postharvest Technology*, 8(3): 1-21.
- Dini, H., Fallah, A.A., Bonyadian, M., Abbasvali, M. and Soleimani, M. (2020). Effect of edible composite film based on chitosan and cumin essential oil-loaded nanoemulsion combined with low-dose gamma irradiation on microbiological safety and quality of beef loins during refrigerated storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164: 1501-1509.
- Duran, A., Tuzen, M. and Soylak, M. (2013). Evaluation of metal concentrations in food packaging materials: relation to human health. *Atomic Spectroscopy*, 34(3): 99-103.
- Eevahan, J.J., Chandrasekaran, M., Venkatesan, S., Sriram, V., Joseph, G.B., Mageshwaran, G. et al. (2020). Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. 100: 210-222.
- Erdal, G. (2021). Metal and metal packaging. Sentez Yayıncılık. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=HzUmEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA8&dq=Metal+and+metal+packaging&ots=S_uNgFSP- www.sentezyayincilik.com.
- Ghanbarzadeh, B. and Almasi, H. (2013). Biodegradable polymers. *Biodegradation-life of science*, pp.141-185.

- Girling, P. (2003). Packaging of food in glass containers. In: R. Coles, D. McDowell and M.J. Kirwan, eds. Food packaging technology. London, UK: Blackwell Publishing, CRC Press, pp.152-173.
- Grayhurst, P., Girling, P.J.J. and Technology, B.P. (2011). Packaging of food in glass containers. Food and Beverage Packaging Technology: 137-156.
- Ghanbarzadeh, B. and Almasi, H. (2013). Biodegradable polymers. Biodegradation-life of science, pp.141-185.
- Han, J.H. (2005). Innovations in food packaging. Elsevier. Department of Food Science University of Manitoba Winnipeg, Manitoba. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=MbVtx091tCUC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Innovations+in+food+packaging&ots=-3X8ZqUc_X&sig=5pKjgOLFvgXLU7HJWOfiuBxxSR0#v=onepage&q=Innovations%20in%20food%20packaging&f=false
- Heckman, J.H. (2005). Food packaging regulation in the United States and the European Union. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 42(1): 96-122.
- Hoffmann, T., Peters, D., Angioletti, B., Bertoli, S., Péres, L., Reiter, M. et al. (2019). Potentials nanocomposites in food packaging. Chemical Engineering Transactions, 75.
- Huang, S.J. and Edelman, P.G. (1995). An overview of biodegradable polymers and biodegradation of polymers. In: Degradable Polymers: Principles and Applications. pp. 18-28.
- Ibrahim, I.D., Hamam, Y., Sadiku, E.R., Ndambuki, J.M., Kupolati, W.K., Jamiru, T. et al. (2022). Need for sustainable packaging: an overview. Polymers, 14(20): 4430.
- Kaewprachu, P. and Rawdkuen, S. (2016). Application of active edible film as food packaging for food preservation and extending shelf life. Materials in Food and Health: 185-205.
- Kim, Y.T., Min, B. and Kim, K.W. (2014). General characteristics of packaging materials for food system. In: J.H. Han, ed. Innovations in food packaging. 2nd ed. Oxford: Elsevier, pp.13-35.
- Lamberti, M. and Escher, F.J.F. (2007). Aluminium foil as a food packaging material in comparison with other materials. Food Reviews International, 23(4): 407-433.
- Lau, O.-W. and Wong, S.-K. (2000). Contamination in food from packaging material. Journal of Chromatography A, 882(1-2): 255-270.
- Luckachan, G.E. and Pillai, C.K.S. (2011). Biodegradable polymers a review on recent trends and emerging perspectives. Journal of Polymers and the Environment, 19: 637-676.
- Maskell, A. (1991). Long-life ambient food packaging: a history from the tin can to plastics and beyond. Packaging Technology and Science, 4(1): 21-28.
- Mehrabi, E., Bonyadian, M. and Fallah, A.A. (2024). Investigating the effect of chitosan coating along with ginger essential oil on shelf life of salmon fish in refrigerator temperature. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 20(4): 447-463.
- Mohamed, S.A., El-Sakhawy, M. and El-Sakhawy, M.A.-M. (2020). Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review. Carbohydrate Polymers, 238: 116178.
- Moghimi, N. (2018). Effects of whey protein isolate coating enriched with Lysozyme on the microbial quality of chicken fillets during refrigerated storage. Journal of Food Microbiology, 4(4): 53-62.
- Ncube, L.K., Ude, A.U., Ogunmuyiwa, E.N., Zulkifli, R. and Beas, I.N. (2021). An overview of plastic waste generation and management in food packaging industries. Recycling, 6(1): 12.
- Nechita, P. and Roman, M. (2020). Review on polysaccharides used in coatings for food packaging papers. Coatings, 10(6): 566.
- Okada, M. (2002). Chemical syntheses of biodegradable polymers. Progress in Polymer Science, 27(1): 87-133.
- Parsons, R. (2022). The role of plastic packaging in transforming food retailing. British Food Journal, 124(4): 1285-1300.

- Pawar, P.A. and Purwar, A.H. (2013). Biodegradable polymers in food packaging. *American Journal of Engineering Research*, 2(5): 151-164.
- Pearson, R. (1982). PVC as a food packaging material. *Food Chemistry*, 8(2): 85-96.
- Petersen, K., Nielsen, P.V., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M.B., Nilsson, N.H. *et al.* (1999). Potential of biobased materials for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 10(2).
- Piringer, O.G. and Baner, A.L. (2008). Plastic packaging materials for food: barrier function, mass transport, quality assurance, and legislation. *John Wiley & Sons*.
- Polat, B. (2022). Packaging and the historical development of packaging design. *Journal of History School*, 58: 1854-1867.
- Puscaselu, R., Gutt, G. and Amariei, S. (2019). Rethinking the future of food packaging: Biobased edible films for powdered food and drinks. *Sustainability*, 24(17): 3136.
- Raheem, D. (2013). Application of plastics and paper as food packaging materials – An overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25: 177-188.
- Rajabian, M., Bonyadian, M., Abbasvali, M. and Khanjari, A. (2019). Effects of potato starch edible coating containing *Ziziphora clinopodioides* and *Thymus daenensis* essential oils on chemical organoleptic properties of chicken breast. *Journal of Veterinary Research*, 74(4): 450-463.
- Risch, S.J. (2009). Food packaging history and innovations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18): 8089-8092.
- Rydz, J., Musioł, M., Zawidlak-Węgrzyńska, B. and Sikorska, W. (2018). Present and future of biodegradable polymers for food packaging applications. In: *Biopolymers for Food Design*. pp. 431-467.
- Saha, N. (2022). Food packaging: concepts and its significance. In: *Food Packaging: Materials, Techniques and Environmental Issues*. Springer, pp.1-45.
- Sedaghat, N. and Boghori, P. (2023). New Achievements of Biodegradable Protein Plastics. *Packaging Science and Art*, 13(52): 33-39. [In Persian]
- Silvestre, C., Duraccio, D. and Cimmino, S. (2011). Food packaging based on polymer nanomaterials. *JPips*, 36(12): 1766-1782.
- Sirati Chahardahi, Z., Movahedi, F., Kord, B., Rouhanifar, M., Amini-Far, M. and Basparsh, A.F.F. (2017). Biodegradable polymers in the food packaging industry: Applications, limitations, and solutions. *Scientific Quarterly Polymerisation*, 7(1): 61-70. [In Persian]
- Steenis, N.D., Van Herpen, E., Van Der Lans, I.A., Ligthart, T.N. and Van Trijp, H.C. (2017). Consumer response to packaging design: The role of packaging materials and graphics in sustainability perceptions and product evaluations. *Journal of Cleaner Production*, 162: 286-298.
- Weber Macena, M., Carvalho, R., Cruz-Lopes, L.P. and Guiné, R.P. (2021). Plastic food packaging: perceptions and attitudes of Portuguese consumers about environmental impact and recycling. *Sustainability*, 13(17): 9953.
- Zhang, W. (2021). Analysis on the development and application of biodegradable polymers. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 647(1): 121-156.