

Review paper

Natural waste application in production of active packaging for food preservation

Behnaz Bazargani-Gilani*

Associate Professor, Department of Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(Received: 16 March 2025, Revised: 11 April 2025, Accepted: 27 April 2025)

Abstract

Recently, the use of plastic packaging in food products has caused consumer concerns due to its non-degradability, long durability in the environment, and the release of toxic substances into the food and even the environment. Therefore, the design and development of biodegradable packaging made from natural sources has gained significant attention from researchers. The natural compounds extracted from food waste can be utilized to produce such packaging. Many of these waste materials contain antioxidant and antimicrobial agents that help delay food spoilage and extend shelf life. Some natural wastes also contain indicator pigments that undergo color changes in response to variations in pH, carbon dioxide concentration, volatile nitrogen compounds, storage temperature, and time changes in food. These pigments can be utilized in the production of smart food packaging. This study reviews the types of food waste that have been used in food packaging so far, along with their active ingredients and their effects on the packaged food. The review, conducted from March 2024 to July 2024, examines 203 articles sourced from research databases such as Google Scholar, ScienceDirect, MDPI, CiteSeer, Springer, the Scientific Information Database (SID), and Civilica, with 99 sources being included in the present study. It can be concluded that the natural wastes, which are widely produced and discarded around the world every day, can be utilized for the identification and extraction of bioactive substances such as antimicrobial agents, antioxidants, indicator compounds, as well as protein, polysaccharides, and lipid biopolymers. By utilizing these extracted materials, safe, affordable, accessible, active, and intelligent packaging can be produced, enhancing the quality and shelf life of food during storage. These biodegradable packages are proposed as a viable alternative to the current, problematic plastic packaging.

Keywords: Natural waste, Food packaging, Bioactive ingredients, Natural indicators

How to cite this article:

Bazargani-Gilani, B., (2025). Natural waste application in production of active packaging for food preservation. *Innov., Food Technol.*, 12 (2), 212-236. <https://doi.org/10.22104/ift.2025.1537>

* Corresponding author: b.bazargani@basu.ac.ir
behnazbazargani90@gmail.com

مقاله مروری

کاربرد پسماندهای طبیعی در تولید بسته‌بندی‌های فعال برای نگهداری مواد غذایی

بهناز باززرگانی گیلانی*

دانشیار، گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۷)

چکیده

امروزه استفاده از بسته‌بندی‌های پلاستیکی در مواد غذایی، به دلیل عدم تجزیه پذیری و دوام طولانی در محیط زیست و همچنین آزادسازی مواد سمی به درون غذا و حتی محیط زیست، موجب نگرانی مصرف‌کنندگان شده است. با توجه به این نگرانی، طراحی و ساخت بسته‌بندی‌های زیست تخریب پذیر با منشأ طبیعی، بیش از پیش با استقبال پژوهش‌گران همراه شد. برای تولید این نوع بسته‌بندی‌ها می‌توان از ترکیبات طبیعی حاصل از پسماندهای مواد غذایی استفاده کرد. بسیاری از این پسماندها، حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی هستند که می‌توانند موجب تأخیر در فساد مواد غذایی و افزایش ماندگاری آن‌ها شوند. این نوع ضایعات، حاوی رنگدانه‌های نشانگر نیز هستند که با تغییرات فاکتورهای همچون pH، گازهای دی‌اکسید کربن، ترکیبات نیتروژنی فرار، دما و زمان تغییر رنگ می‌دهند و می‌توانند در تولید بسته‌بندی‌های هوشمند در مواد غذایی به کار روند. در این نوشتار، انواع پسماندهای به کار رفته در بسته‌بندی مواد غذایی و همچنین نوع ماده مؤثره آن‌ها و خواصی که در ماده غذایی بسته‌بندی شده از خود نشان داده‌اند، معرفی می‌شوند. برای جمع‌آوری این مطالب از اوایل اسفندماه ۱۴۰۲ تا اواخر تیرماه ۱۴۰۳، تعداد ۲۰۳ مقاله از موتورهای جست‌وجوگر Cite- MDPI, ScienceDirect, Google Scholar, Springer, Seer، پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) و سیویلیکا دریافت و مطالعه شد که از بین آن‌ها ۹۹ منبع مورد استفاده قرار گرفت. رهاورد مطالعه حاضر این است که از پسماندهای طبیعی که روزانه به طور گسترده‌ای در دنیا تولید و دور ریخته می‌شوند، می‌توان مواد زیست فعال نظیر ترکیبات ضد میکروب، آنتی‌اکسیدان، نشانگر، بیوپلیمرهای پروتئینی، پلی- ساکاریدی و لیپیدی را شناسایی و استخراج کرد و از آن‌ها در تولید بسته‌بندی‌های ایمن، مقرون به صرفه، در دسترس، فعال و هوشمند برای حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری مواد غذایی بهره برد. این بسته‌بندی‌های زیست تخریب پذیر، جایگزینی مناسب برای انواع بسته‌بندی‌های پرچالش پلاستیکی کنونی پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: پسماندهای طبیعی، بسته‌بندی مواد غذایی، ترکیبات زیست فعال، نشانگرهای طبیعی

* نویسنده مسئول: b.bazargani@basu.ac.irbehnazbazargani90@gmail.com

۱. مقدمه

بسته‌بندی مواد غذایی موجب حفظ کیفیت و نگهداری از غذا در برابر فاکتورهای محیطی، فیزیکی و میکروبی می‌شود، اما امروزه انتظارات مصرف‌کنندگان از بسته‌بندی‌های مواد غذایی به توان افزایش ماندگاری غذا و پایش به‌موقع فساد آن، افزایش یافته است. در همین راستا، دو نوع بسته‌بندی، با نام‌های بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند به وجود آمده‌اند [۱]. در بسته‌بندی‌های فعال، ترکیبات اضافه‌شده به بسته‌بندی، با عوامل درونی غذا واکنش داده و موجب افزایش ماندگاری آن می‌شوند [۲]. درحالی‌که در نوع هوشمند، ترکیبات افزوده‌شده با محیط اطراف غذا واکنش داده و کیفیت آن را نمایش می‌دهند [۳]. پلیمرهای شیمیایی به‌دلیل خواصی نظیر انعطاف‌پذیری، قیمت پایین، قابلیت چاپ خوب، مقاومت مناسب در مقابل عوامل محیطی و مکانیکی به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان ماده اصلی و پایه‌ای در بسته‌بندی مواد غذایی به کار رفته‌اند؛ اما این ترکیبات به‌دلیل عدم تجزیه‌پذیری و همچنین آزادسازی مواد سمی به درون غذا و محیط زیست بسیار نگران‌کننده هستند [۴]، بنابراین استفاده از بیوپلیمرها با منشا طبیعی و با خواص زیست‌تخریب‌پذیری به جای پلیمرهای شیمیایی در بسته‌بندی‌های مواد غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

بیوپلیمرهایی نظیر انواع پروتئین‌ها، لیپیدها، پلی‌ساکاریدها با خواص زیست‌تخریب‌پذیری عاری از ترکیبات سمی هستند و می‌توانند به‌راحتی از پسماندهای مواد غذایی استخراج و گسترده استفاده شوند [۵]. علاوه بر پلیمرهای شیمیایی، استفاده از انواع افزودنی‌ها و رنگدانه‌های شیمیایی که به‌منظور افزایش ماندگاری، بهبود ویژگی‌های حسی و هوشمندسازی بسته‌بندی‌های مواد غذایی نیز موجب اثرات سمی و جهش‌زایی در مصرف‌کنندگان می‌شوند. مطالعات نشان می‌دهند که پسماندهای حاصل از مواد غذایی حاوی ترکیباتی هستند که می‌توانند جایگزین مناسبی برای انواع افزودنی‌های مواد غذایی نظیر انواع طعم‌دهنده‌ها، رنگ‌دهنده‌ها و نگهدارنده‌ها باشند. این

پسماندها حاوی رنگدانه‌های متنوعی هستند که با تغییر شرایط ماده غذایی دچار تغییر رنگ می‌شوند و می‌توانند اطلاعات دقیقی را از وضعیت غذا به مصرف‌کننده ارائه می‌دهند [۶].

طبق مطالعات انجام‌شده، پسماندهای مواد غذایی می‌توانند ترکیباتی ارزان، در دسترس، غیرسمی، سالم و با قابلیت‌های فراوان برای بسته‌بندی مواد غذایی در اختیار ما بگذارند. به‌طوری‌که از این ترکیبات می‌توان در تولید انواع بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند استفاده و انتظارات مصرف‌کننده امروز مواد غذایی را برآورده کرد [۶-۸]. مطالعات اندکی به مرور و معرفی انواع پسماندهای طبیعی به‌کاررفته در بسته‌بندی‌های مواد غذایی پرداخته‌اند. از این رو، تحقیق پیش‌رو، با هدف معرفی انواع پسماندهای مورد استفاده در بسته‌بندی‌های مواد غذایی و خواص حاصل از آن‌ها در غذای بسته‌بندی‌شده آغاز شد.

۲. روش تحقیق

در این مطالعه، از سایت‌ها و موتورهای جست‌وجوی مختلفی نظیر Google Scholar، ScienceDirect، MDPI، Springer، Seer Cite، پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) و سیویلیکا استفاده شده است. کلیدواژه‌های مرتبط با پسماندهای مواد غذایی، صنعت غذا و بسته‌بندی نظیر Food packaging، Food waste، Smart packaging، Intelligent packaging، Plastic packaging، packaging، Food additive به کار گرفته شدند. مقالات از سال ۲۰۰۰ میلادی (معادل ۱۳۷۵ شمسی) برگزیده و تعداد ۲۰۳ مقاله و ۱۲ عنوان کتاب به زبان‌های فارسی و عمدتاً انگلیسی مطالعه و بررسی شدند و در ادامه، ۹۹ عنوان، به عنوان منابع نهایی استفاده شدند. این فعالیت از اوایل اسفندماه سال ۱۴۰۲ آغاز و تا اواخر تیرماه سال ۱۴۰۳ به طول انجامید. به جهت اهمیت موضوع، گستردگی آن و نبود مطالعه مشابهی در این رابطه و نیز شناخت تاریخچه استفاده از پسماندهای طبیعی در بسته‌بندی مواد غذایی و آشنایی با اثرات ترکیبات حاصل از آن‌ها در غذا، از منابع متعدد نقاط گوناگون دنیا در سال‌های مختلف بهره بردیم.

این نوع بسته‌بندی‌های طبیعی سازگار با محیط زیست بوده و مقرون به صرفه و در دسترس هستند، بنابراین جایگزین مناسبی برای انواع بسته‌بندی‌های پلاستیکی محسوب می‌شوند. به‌طور کلی پسماندهای طبیعی مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی را می‌توان به دو دسته غیرپلیمری و پلیمری تقسیم‌بندی کرد:

۳.۲. پسماندهای طبیعی غیرپلیمری مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی

۳.۲.۱. تفاله گوجه‌فرنگی

پراکندگی گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon Esculentum*) در نواحی معتدل و گرم کره زمین است. گوجه‌فرنگی گیاهی دو-لپه‌ای با بذرهای کرک‌دار است. ریشه آن افشان است و به‌دلیل غده‌های روغنی موجود در ساقه، هنگام ملامسه بوی نامطبوعی تولید می‌کند [۱۱]. حدود ۱۲۵ میلیون تن گوجه‌فرنگی به‌طور سالیانه در جهان تولید می‌شود و ایران با تولید حدود ۴ میلیون و ۲۰۰ هزار تن، رتبه هشتم در دنیا را دارد. بیشترین تولیدکنندگان این محصول کشورهای چین، ایالات متحده آمریکا و ترکیه هستند.

همزمان با افزایش رشد جمعیت، میزان تولید گوجه‌فرنگی در کشور روند صعودی داشته به‌طوری که از دو میلیون و چهارصد و سه هزار تن در سال ۱۳۷۴ به حدود چهار میلیون و دویست هزار تن در سال ۱۳۸۳ رسیده است. تولیدکنندگان اصلی گوجه‌فرنگی در ایران استان‌های فارس، خراسان، کرمان و آذربایجان شرقی هستند و ۵۰٪ تولید این محصول را به خود اختصاص داده‌اند [۱۲].

گوجه‌فرنگی حاوی ۵٪ ماده خشک و ۹۵٪ آب است. این محصول ۷ گرم پروتئین، ۴ گرم کربوهیدرات، ۱۹ کالری انرژی، ۱۲ میلی‌گرم کلسیم، ۲۴ میلی‌گرم فسفر، ۲۲۲ میلی‌گرم پتاسیم و ۲۱ میلی‌گرم اسید آسکوربیک به‌ازای ۱۰۰ گرم ماده خشک دارد. گوجه‌فرنگی حاوی املاح معدنی نظیر کلسیم، فسفر و آهن بوده و ویتامین‌هایی مانند A, B, C, K و حتی E دارد [۱۳]. رنگ قرمز این محصول، به‌دلیل محتوای بالای رنگدانه‌ی لیکوپن بوده که دارای

در این پژوهش سعی شده است که رایج‌ترین پسماندهای طبیعی که معمولاً سالانه در اکثر نقاط دنیا از جمله ایران، به وفور تولید می‌شوند و گزارشات دقیقی درباره آن‌ها وجود دارد، مطالعه و بررسی شوند.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. پسماندهای مواد غذایی

حفظ کیفیت، افزایش ماندگاری، جلوگیری از مسموم‌شدن و همچنین کاهش ضایعات محصول، از جمله مزایای بسته‌بندی مناسب مواد غذایی به‌شمار می‌روند. امروزه پلاستیک‌ها کاربرد گسترده‌تری نسبت به سایر انواع بسته‌بندی‌ها در مواد غذایی دارند. با توجه به این‌که این مواد از مشتقات نفتی بوده و استفاده از آن‌ها موجب مصرف بالای سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منابع انرژی تجدیدناپذیر، رهائش این مواد به درون ماده غذایی، پایداری آن‌ها در محیط زیست و آزادسازی شیرابه‌های سمی به محیط اطراف می‌شوند، نگرانی‌های جدی در مصرف‌کنندگان مواد غذایی و دوستداران محیط زیست به‌وجود آورده‌اند. بنابراین، تولید بسته‌بندی ایمن، مقرون به صرفه، تجزیه‌پذیر و در دسترس که بتواند کیفیت محصول را حفظ کرده و ماندگاری آن را افزایش دهد، بسیار لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد [۵، ۷]. پسماندهای مواد غذایی نظیر پوست، پالپ (گوشت میوه)، پوسته، دانه‌ها، ساقه و تفاله به‌راحتی در دسترس هستند و بین ۳۰ تا ۵۰٪ وزن غذاها را به خود اختصاص می‌دهند. پسماندهای مواد غذایی حاوی ترکیبات زیست‌فعال بسیاری نظیر فلاونول‌ها، پلی‌فنول‌ها و تانین‌ها هستند که هر یک دارای ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی قابل توجهی بوده که می‌توانند در بسته‌بندی‌های مواد غذایی به کار گرفته شوند [۹]. همچنین ترکیباتی نظیر آنتوسیانین‌ها، کورکومین، بتالائین، کلروفیل و برازیلین به‌عنوان رنگدانه‌های موجود در انواع پسماندهای مواد غذایی بوده که می‌توانند به‌عنوان نشانگر درون بیوپلیمرها قرار بگیرند و به عنوان فیلم‌های هوشمند در بسته‌بندی مواد غذایی، به‌منظور پایش فساد آن‌ها، به‌کار گرفته شوند [۱۰].



فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل‌توجهی است؛ به همین دلیل، از بدن در مقابل رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند [۱۲]. به‌دنبال تولید فراورده‌های مختلفی نظیر رب، سس و چاشنی‌ها از این محصول، آنچه باقی می‌ماند تفاله گوجه-فرنگی نامیده می‌شود که در واقع مخلوط دانه، آب و پوست است [۱۳].

به‌طور کلی با توجه به رقم گوجه‌فرنگی و نحوه استخراج فراورده‌های این محصول، حدود ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم تفاله گوجه‌فرنگی مرطوب از هر ۱۰۰۰ کیلوگرم محصول تازه تولید می‌شود [۱۴]. طبق گزارش‌های به‌دست‌آمده، ضایعات گوجه‌فرنگی به‌دلیل خصوصیات فیزیولوژیکی آن، بیش از ۳۵٪ بوده که به‌دنبال برداشت، حمل‌ونقل و انبارمانی این محصول به وجود می‌آید. این ضایعات اغلب حاوی پوست، باقیمانده‌های پالپ و دانه است که سرشار از پروتئین، چربی، آنزیم‌ها و رنگ‌دانه قرمز لیکوپن هستند. تفاله گوجه‌فرنگی حاوی ۴۴٪ دانه و ۵۶٪ پوست و پالپ (گوشت میوه) بوده و غنی از مواد مغذی مانند پروتئین‌ها، ویتامین‌هایی نظیر آلفاتوکوفرول (ویتامین E) و رنگ‌دانه‌های کاروتنوئید است که به‌عنوان یک محصول آنتی‌اکسیدان، به‌آسانی در دسترس بوده و قیمت پائینی دارد [۱۵، ۱۶].

کاربرد دیگر تفاله گوجه‌فرنگی، تولید ویتامین B12 در غذای حیوانات است [۱۷]. دانه گوجه‌فرنگی سرشار از چربی‌های خوراکی، لیکوپن و پروتئین است. کیفیت پروتئین این پسماند قابل مقایسه با سایر پروتئین‌های گیاهی بوده و طبق مطالعات به‌دست‌آمده، غنی از آمینو-اسیدهای ضروری مانند تریپتوفان، لیزین، فنیل‌آلانین، گلوتامین و آسپارژین است [۱۸]. دانه گوجه‌فرنگی ۱۸٪ فیبر، ۳۲٪ پروتئین و ۲۷٪ چربی دارد. پسماند دانه گوجه‌فرنگی سرشار از روغن‌های خوراکی است که ۳۶٪ وزن خشک آن را تشکیل می‌دهد. همانند روغن سویا، اسیدهای چرب دانه گوجه‌فرنگی شامل اسیدلینولئیک (۴۶٪/۱۸)، اسید اولئیک (۲۴٪/۶)، اسیدپالمیتیک (۱۸٪/۱)، اسیدلینولئیک (۶٪/۵) و اسیداستئاریک (۴٪/۴) است [۱۹].

از دیگر ضایعات دیگر گوجه‌فرنگی، پوست آن است که حاوی مقادیر زیادی ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها، لیکوپن و ویتامین C؛ است و pH آن، ۴/۴۵ است. استفاده از این ماده می‌تواند موجب افزایش ۵۳-۴۰٪ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی محصول نهایی شود، بنابراین می‌تواند به‌عنوان ممانعت-کننده اکسیداسیون چربی‌ها در محصولات گوشتی، در طول نگهداری و فراوری آن‌ها استفاده شود [۲۰]. همچنین از لیکوپن حاصل از تفاله گوجه‌فرنگی می‌توان در غنی‌سازی روغن‌های خوراکی، به‌عنوان جایگزینی برای آنتی-اکسیدان‌های شیمیایی استفاده کرد؛ زیرا این ترکیب با خاصیت آنتی‌اکسیدانی خود ماندگاری و کیفیت روغن‌های خوراکی را افزایش می‌دهد [۲۱-۲۳].

مجموع فیبر محلول و نامحلول پوست گوجه‌فرنگی حدود ۸۰٪ تخمین زده شده است، به‌طوری‌که نسبت فیبر نامحلول به فیبر محلول آن ۱۰ به ۱ است. بنابراین این پسماند می‌تواند به‌عنوان یک منبع غنی از فیبر در مواد غذایی در نظر گرفته شود [۲۱]. فیبر پوست گوجه‌فرنگی از سلولز و لیگنین تشکیل شده و می‌تواند در بهبود ویژگی‌های ساختاری، بافتی و حسی نظیر رنگ، بو و مقبولیت کلی مواد غذایی مؤثر باشد [۲۲]. تفاله گوجه‌فرنگی به‌عنوان یک منبع غنی از آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فنولی مطرح است.

محققان در مطالعات قبلی اعلام کردند که عصاره هیدروالکلی (اتانول ۵۰٪) تفاله گوجه‌فرنگی حاصل از روش استخراج التراسونیک، بالاترین قدرت آنتی‌اکسیدانی را در بین سایر عصاره‌ها از خود نشان داد. آن‌ها فعالیت آنتی-اکسیدانی عصاره تفاله گوجه‌فرنگی را مربوط به وجود ترکیباتی نظیر کاروتنوئیدها (به‌ویژه لیکوپن، آلفاکاروتن و بتاکاروتن)، اسیدآسکوربیک، فلاونوئیدها، لوتئین و توکوفرول‌ها می‌دانند (جدول ۱) [۲۴، ۲۵].

توکلی و همکاران در سال ۲۰۲۰ در مطالعه‌ای نتیجه‌گیری کردند که عصاره تفاله گوجه‌فرنگی به همراه پوشش صمغ عربی حاوی اسانس شوید می‌تواند به‌عنوان یک جانشین مناسب برای نگهدارنده‌ها و طعم‌دهنده‌های شیمیایی در فیله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در شرایط یخچال معرفی

گزارش کردند که رنگدانه قرمز لیکوپن موجود در پودر گوجه‌فرنگی موجب ایجاد رنگ قرمز جذاب و امتیاز حسی بالاتر در سوسیس‌های فرانکفورتر شد (جدول ۲) [۲۷].

شود. طبق نتایج ارزیابی حسی آن‌ها، اسانس شوید در کنار رنگ و طعم عصاره تفاله گوجه‌فرنگی، بر اکثر ویژگی‌های حسی گوشت ماهی (بافت، بو، رنگ و مقبولیت کلی) تأثیری خوشایند داشت [۲۶]. همچنین محققان دیگری

جدول ۱. مواد تشکیل دهنده انواع زباله های طبیعی

Table 1. Ingredients of natural waste types

Waste name	Bioactive Ingredients
Tomato residuum	Tryptophan, Lysine, Phenylalanine, Glutamine, Asparagine, Lipids, Enzymes, Carotenoids (Lycopene, alpha carotene, beta-carotene), Ascorbic acid, Flavonoids, Lutein and Tocopherols.
Pomegranate peel	Ellagitannins (Punicalagin and Punicalin), Gallic acid, Ellagic acid, Proanthocyanidin tannins (Procyanidin, prodelphinidin and Flavonoids), Hydrolysable tannins (Gallic and ellagic acid polyesters).
Apple peel	Hydroxy cinnamic acid, Di-hydrocalcon, Flavanols, Anthocyanin, Flavonoids, Procyanidin, Caffeic acid, Glycoside cyanidin, Catechin, Phloridzin, Chlorogenic acid, Phenolic acid, Quercetin, Glycosides, Phenolic acid derivatives
Cucumber peel	Flavanols, Proanthocyanins, Proanthocyanidins, 24-methylene cycloartenol, Phenolic derivatives, Oligomeric and polymeric peptids, Organic acids.
Red beetroot peel	Lysine, Leucine, isoleucine, Methionine, Tyrosine, Proline, Alanine, Betalain (betacyanin and betaxanthins), Saponin, Tannin, Alkaloids, Flavonoids.
Corn zein	Non-polar amino acids (Leucine, Alanine, Proline and Glutamine)
Gelatin of cattle, poultry and fish slaughterhouse waste	Essential amino acids (Glycine, Alanine, valine, Leucine, isoleucine, Methionine, Phenylalanine, Tryptophan, Proline)
Fruit peel pectin	α -(1,4)-d-polygalacturonic acid

۳.۲.۲. پوست انار

کشور ایران از جمله تولیدکنندگان اصلی میوه انار در دنیا به شمار می‌رود. انار با نام علمی *Punica granatum* از شاخه پیدازادان، رده نهان‌دانگان و تیره انارسانان^۱ است. این تیره، دارای یک جنس به نام پونیکا و دو گونه گراناتوم و پروتوپونیکا است. گونه *Punica granatum. L* بومی ایران و نواحی مدیترانه است [۲۸].

میوه انار به دلیل ترکیبات زیست‌فعال فراوان، طی قرن‌های متمادی در درمان انواع بیماری‌ها کاربرد داشته و با اهداف دارویی استفاده می‌شد [۲۹]. این ترکیبات شامل انواع قندها، نظیر گلوکز، فروکتوز، ساکاروز و مالتوز، اسیدهای

آلی مانند اسیدسیتریک، اسیدمالیک، اسیدسوکسینیک، اسیدتارتاریک و اسیدفوماریک، پلی‌فنول‌ها، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، اسیدهای چرب و ویتامین‌هایی همچون C، B1، B2، B6 و نیاسین و املاح معدنی نظیر کلسیم، فسفر، آهن و منگنز هستند [۳۰، ۳۱]. پلی‌فنول‌ها از متابولیت‌های ثانویه گیاهان به‌شمار می‌روند که خواص آنتی-اکسیدانی قابل توجهی دارند. این ترکیبات در انواع میوه‌ها، به‌ویژه میوه انار و سبزیجات یافت می‌شوند. بیشتر آن‌ها از مشتقات فلاون‌ها، ایزوفلاون‌ها، کاتچین و اسیدهای فنولیک هستند. ترکیبات پلی‌فنولی موجود در میوه انار، عبارت‌اند از الاجیک اسید، گالیک اسید، پونی کالائین، پونی کالین، کلروژنیک اسید، هیدروکسی سیامیک اسید،

¹. Punicaceae



اسیدگالیک (۱.۵۲ میکروگرم بر میلی گرم)، الاجیک اسید (۲.۲۹ میکروگرم بر میلی گرم) و کیوروسین (۷.۱۵ میکروگرم بر میلی گرم) [۳۷].

از پلی‌فنول‌های موجود در پوست انار که از نظر فراوانی بعد از سلولز، همی‌سلولز و لیگنین قرار می‌گیرند، تانن‌ها هستند که از خواص آنتی‌اکسیدانی و نیز توانایی قابض‌بودن یا تشکیل کمپلکس قوی با پروتئین‌ها و سایر ماکرومولکول‌ها را برخوردارند [۳۸]. تانن‌ها موجب ایجاد طعم گسی و تلخی در میوه‌های سبز و نارس می‌شوند. نسبت تانن‌ها به ترکیبات دیگر در میوه‌ها تعیین‌کننده طعم آن‌ها است. شرایط اقلیمی می‌تواند موجب تغییر در این نسبت و در نتیجه تغییر طعم میوه‌ها شود. طعم گسی و تلخی میوه‌ها با تکمیل فرایند رسیدگی و همچنین به علت افزایش قند آن‌ها، کاهش می‌یابد [۳۹]. تانن‌ها معمولاً به دو گروه تانن‌های پروآنتوسیانیدین‌ها یا تانن‌های متراکم (پلیمر فلاونوئیدها) و تانن‌های قابل هیدرولیز (پلی‌استرهای اسیدگالیک و الاجیک اسید) تقسیم می‌شوند [۴۰]. مهم‌ترین پروآنتوسیانیدین‌ها شامل پروسیانیدین و پرودلفیدین و تانن‌های قابل هیدرولیز نیز استرهای گالیک اسید و الاجیک اسید هستند (جدول ۱). الاجیک اسید در بسیاری از میوه‌های قرمز رنگ، مانند تمشک، توت‌فرنگی، انار، شاه‌توت، خرمالو، انگور، هلو، آلو و برخی میوه‌های آجیلی نظیر گردو یافت می‌شود. امروزه الاجیک اسید، بعنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدان و ضدسرطان شناخته شده است. طبق گزارش‌های قبلی، این ترکیب می‌تواند از تکثیر سلول‌های سرطانی جلوگیری کند، از جمله در بهبود روند درمان سرطان‌های سینه، پوست، پروستات و پانکراس آن را موثر دانسته‌اند [۴۱].

در مطالعه‌ای نشان داده شد که عصاره اتانولی پوست انار با روش عصاره‌گیری غوطه‌وری بالاترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به سایر عصاره‌ها دارد. همچنین مشخص شد که این عصاره با غلظت ۲۰۰ ppm، عملکردی مشابه آنتی‌اکسیدان‌های

پروتوکاتچیک اسید، هیدروکسی بنزوئیک اسید، کافئیک اسید، فرولیک اسید، کوماریک اسید، اوکوماریک اسید [۳۲، ۳۳] و فلاونوئیدهای لوتئولین، کامپفرول و نارینجین. علاوه بر این‌ها اسیدهای چرب اولئیک، پالمیتیک، استئاریک، پالمیتولئیک، آراشیدونیک، لائوریک و کاپریلیک نیز در ارقام مختلف انار یافت شده‌اند [۳۲].

به‌طور کلی، در بین انواع میوه و سبزیجات، انار بالاترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی را دارد و میوه‌های انگور، سیب، به و گلابی در رده‌های بعدی جای دارند. این خاصیت مربوط به حضور ترکیبات فنولی، نظیر ایزومرهای پونی کالائین، مشتقات الاجیک اسید و آنتوسیانین‌های دلفینیدین^۱، ۳، ۵ دی‌گلیکوزید و تری‌گلیکوزیدهای سیانیدین و پلارگونیدین هستند که توانایی جذب رادیکال‌های آزاد و به دنبال آن، پیشگیری از اکسیداسیون چربی‌ها را دارند [۳۴]. یان‌فنگ و همکاران [۳۵] گزارش کردند که پوست میوه انار در بین ۲۸ نوع میوه رایج در کشور چین، دارای بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی است. بنابر یافته‌های آنان، عصاره پوست میوه انار به‌طور معناداری خواص آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به پالپ آن دارد که این امر می‌تواند به مقادیر بالای ترکیبات فنلی موجود در پوست انار مرتبط باشد. پوست انار، پسماند کارخانجات و واحدهای تهیه آب‌میوه، کنسانتره، سس و رب انار است. در این مراکز، بخش زیادی از ضایعات را، بسته به رقم انار مورد استفاده از ۳۰ تا ۶۰٪ پوست میوه انار تشکیل می‌دهد که غنی از ترکیباتی به نام الاجی‌تانن‌ها نظیر پونی‌کالاجین و پونی‌کالین است [۳۶]. طبق گزارش بررسی‌ها، سالانه مقادیر زیادی پوست میوه انار در کارخانجات مربوطه بدون استفاده امحا می‌گردد. استفاده بهینه از پسماندهای کارخانجات فراوری مواد غذایی و ضایعات کشاورزی در بسته‌بندی مواد غذایی و حتی جیره غذایی دام و طیور، موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها و افزایش راندمان تولید می‌شود [۳۳]. آنالیز کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی نشان داده است که مهم‌ترین ترکیبات فنولی موجود در پوست انار، عبارت‌اند از:

² Hydrolyzable tannins

¹ Delphinidin

اول تولیدکننده سیب در دنیا محسوب می‌شود و بعد از مرکبات، بیشترین تولید را دارد [۴۹].

در هر ۱۰۰ گرم میوه سیب، ۸۴/۴ گرم آب، ۰/۳ گرم پروتئین، ۰/۱ گرم چربی، ۱۴/۷ گرم قند، ۰/۲ گرم نشاسته، ۲/۳ گرم مواد فیبری، ۵ میلی‌گرم اسید آسکوربیک، ۵ میلی‌گرم بتاکاروتن، ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم و ۴ میلی‌گرم کلسیم وجود دارد؛ البته این مقادیر بسته به نوع منطقه، آب و هوا، کود و شرایط اقلیمی می‌توانند متفاوت باشند. سیب در مقایسه با سایر میوه‌ها، به خاطر عناصر معدنی، فیبر و قندهای موجود در آن، همواره در تغذیه حائز اهمیت است [۴۹، ۵۰]. بسته به رقم و اجزاء مختلف سیب، ترکیبات فنولی تشکیل‌دهنده آن متفاوت است. طبق جدول (۱) به‌طور کلی ترکیبات فنولی موجود در عبارت‌اند از: ۱- هیدروکسی سینامیک اسید، ۲- دی هیدرو کالکون‌ها، ۳- فلاوانول‌ها، ۴- فلاونول‌ها و ۵- آنتوسیانین‌ها. مطالعات نشان می‌دهند که فلاونوئیدهایی مانند کوترسین ۳-گالاکتوزید، آنتوسیانین‌ها، کاتکین، فلوریدزین بیشتر در پوست سیب و کلروژنیک اسید عمدتاً در گوشت آن یافت می‌شود.

پوست سیب در مقایسه با گوشت آن، محتوای فنولی بالاتری دارد، بنابراین خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره پوست سیب نسبت به عصاره گوشت آن، بالاتر است [۵۱].

وجود مقادیر بالایی از ترکیبات فنولی و آنتوسیانین‌ها موجب فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی در این محصول شده است. بنابراین در پیشگیری از واکنش‌های اکسیداسیون در بدن و همچنین در مواد غذایی می‌تواند مؤثر باشد. این محصول در پیشگیری از بروز بیماری‌های قلبی-عروقی، سرطان و اختلالات عصبی مفید است [۵۰، ۵۲]. پوست سیب دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی، رنگ-دهندگی و طعم‌دهندگی است و می‌تواند به‌عنوان یک ماده نگه‌دارنده و افزودنی، به‌منظور افزایش ماندگاری مواد غذایی، در بسته‌بندی‌ها استفاده شود [۵۲، ۵۳].

امروزه پسماند کارخانجات فراوری‌کننده محصولات کشاورزی که منبع خوبی از ترکیبات زیست‌فعال هستند، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله پوست سیب است

شیمیایی در روغن دانه سویا دارد و می‌تواند جایگزینی مناسب برای آن‌ها در نظر گرفته شود [۴۲].

در تحقیقی دیگر، نمونه‌های گوشت سینه مرغ پس از غوطه‌وری در آب انار، با پوشش کیتوزان حاوی اسانس آویشن شیرازی پوشش داده شد. گزارش شد که این پوشش‌دهی، طی ۲۰ روز نگهداری آن‌ها در شرایط یخچال، علاوه بر ممانعت از رشد میکروبی و کاهش اکسیداسیون چربی نمونه‌ها، موجب بهبود ویژگی‌های حسی آن‌ها، نظیر طعم، بو، بافت و مقبولیت کلی شده است [۴۳]. مطالعات دیگری نیز درخصوص استفاده از آب انار و ترکیبات فنولی استخراج‌شده از آن در فراورده‌های گوشت مرغ انجام شد و به نتایج مشابهی دست یافت [۴۴، ۴۵].

در یک بررسی گزارش شد که فیلم کامپوزیتی کیتوزان-نشاسته حاوی عصاره پوست انار و اسانس کاکوتی دارای اثرات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی وجود داشته و توانسته موجب افزایش ماندگاری گوشت قرمز در شرایط یخچال شود [۴۶]. در مطالعه‌ای استفاده از عصاره پوست انار در فیلم کازئینات سدیم، موجب تأخیر فساد در نمونه‌های گوشت چرخ‌کرده بسته‌بندی‌شده با فیلم موردنظر گردید. آن‌ها این اثر را ناشی از فعالیت ضد میکروبی معنادار عصاره پوست انار ذکر کردند [۴۷]. پژوهش‌گران دیگری به بررسی تأثیر فیلم خوراکی کیتوزان-ژلاتین، حاوی پوست انار بر ماندگاری ماهی شوریده پرداختند و گزارش کردند که فیلم طراحی‌شده به‌طور معناداری ($p \leq 0.05$) موجب کاهش رشد میکروبی و اکسیداسیون چربی‌ها در نمونه‌هایی شد که طی ۱۶ روز در شرایط یخچال نگهداری شدند (جدول ۲) [۴۸].

۳.۲.۳. پوست سیب

سیب با نام علمی *Malus pumila* متعلق به خانواده گل‌سرخیان و درختی برگ‌ریز است که میوه‌ای شیرین و گوشتی دارد و بزرگ‌ترین گونه از سرده مالوس به‌شمار می‌رود. بیش از ۷۵۰۰ رقم سیب در دنیا شناسایی شده که برای مصرف خام و فراوری استفاده شده است. ایران جزء ۱۰ کشور



های مقاوم به سرما، *انتروباکتریاسه*، *لاکتوباسیلوس* ها، *سودوموناس* ها، *کپک*، *مخمر* و همچنین *ممانعت* از *واکنش* *اکسیداسیون* چربی‌ها در گوشت ران مرغ طی ۱۲ روز نگهداری در شرایط یخچال شده است. همچنین آن‌ها گزارش کردند که غوطه‌وری نمونه‌ها در محلول عصاره پوست سیب، به‌طور معناداری ($p \leq 0.05$)، موجب ایجاد تردی و یک طعم منحصربه‌فرد در آن‌ها، در مقایسه با سایر تیمارها، شده است [۵۳]. همچنین محققان دیگری تأثیر ضد میکروبی پودر پوست سیب را در فراورده‌های حاصل از گوشت گوساله اعلام کردند [۵۵].

در مطالعه‌ای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی بالاتر عصاره پوست سیب علیه باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *سودوموناس آئروژینوزا* را در مقایسه با عصاره پالپ سیب گزارش کردند. آن‌ها علت این امر را به محتوای فنولی بالاتر عصاره پوست سیب نسبت به عصاره پالپ آن نسبت دادند [۵۶]. همچنین گزارش شد که عصاره پوست سیب فعالیت ضد میکروبی قابل توجهی علیه باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس*، *باسیلوس سرئوس*، *سودوموناس آئروژینوزا*، *اشریشیا کلای* و گونه‌های سالمونلا از خود نشان داد [۵۷]. علاوه‌براین‌ها فعالیت ضدباکتریایی بالاتر عصاره پوست سیب علیه باکتری‌های *لاکتوکوکوس لاکتیس* و *لاکتوباسیلوس ساکی* در مقایسه با عصاره پالپ آن گزارش شد [۵۶]. ترکیبات فنولی به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه گیاهان هستند که می‌توانند به پروتئین‌های دیواره سلولی میکروارگانیسم‌ها متصل و در نتیجه موجب لیز دیواره سلولی آنان شوند.

ترکیبات فنولی به سه دسته فلاونوئیدها، مشتقات اسید فنولیک و تانن‌ها تقسیم می‌شوند. پالپ میوه سیب حاوی مشتقات اسیدفنولیک و فلاونوئیدهایی مانند فلاوان-۳-ال، فلاونول، پروسیانیدین‌ها، کالکون‌ها و آنتوسیانین‌ها است. درحالی‌که پوست سیب علاوه‌بر موارد ذکرشده، حاوی ترکیباتی مانند کافئیک اسید، پروسیانیدین، اسید کلروژنیک، کاتچین، فلاونوئیدهایی نظیر سیانیدین گلیکوزید، گلیکوزیدها و کورستین نیز است، بنابراین به نظر می‌رسد که پوست سیب حاوی مواد زیست‌فعال بیشتری نسبت به پالپ آن است [۵۸].

که در مقادیر زیادی به‌عنوان ضایعات کارخانجات تولیدکننده آب‌میوه، کمپوت و کنسانتره دور ریخته می‌شود. پوست سیب غنی از ترکیبات زیست‌فعال است، بنابراین اثرات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی در بسته‌بندی‌های فعال مواد غذایی و همچنین اثرات درمانی چشمگیری در سلامتی انسان دارد. علاوه‌بر این‌ها، پوست این میوه فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به گوشت آن دارد. گزارش شده است که پوست سیب غنی از ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی نظیر اسیدهای فنلی، فلاونول‌ها، کوئرستین، گلیکوزیدها، دی‌هیدروکالکون‌ها، فلاونول‌ها و آنتوسیانین است [۵۳]. مطالعات نشان می‌دهند که ترکیبات فنلی موجود در گیاهان، رشدنمو و همچنین پاسخ‌های دفاعی آن‌ها را تنظیم می‌کنند. پلی‌فنول‌ها منبع اصلی آنتی‌اکسیدان‌های سیب هستند. کل محتوای فنولیک سیب بین ۱۱۰ تا ۳۵۷ میلی گرم در ۱۰۰ گرم سیب تازه است. تحقیقات نشان داده‌اند که پوست سیب نسبت به گوشت سیب خاصیت آنتی‌اکسیدان بیشتری دارد، البته اکثر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در پوست و گوشت یکسان هستند، اما غلظت این مواد در پوست از گوشت بیشتر است. منبع دیگر آنتی‌اکسیدان‌های سیب تری‌ترپنوئیدها هستند که عمدتاً در پوست قرار دارند. پوست سیب حاوی مقادیر چشمگیر تری‌ترپنوئیدهای لیپوفیل است که در لایه کوتیکولی آن متمرکز شده‌اند. فراوان‌ترین آن‌ها اورسولیک اسید است که تا ۵۰ میکروگرم از یک سیب متوسط به دست می‌آید [۵۲]. تری‌ترپنوئیدهای ۵ حلقه‌ای از جمله معمول‌ترین متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که معمولاً در بخش‌های خارجی گیاه، مانند کوتیکول، پوست میوه و پوست درخت یافت می‌شوند. اورسولیک اسید و اولتانولیک اسید، از جمله مهم‌ترین تری‌ترپنوئیدها هستند که به مقدار زیادی در پوست سیب وجود دارند. تری‌ترپنوئیدهای جدا شده از پوست سیب، مانع از تکثیر سلول‌های سرطانی کبد (HepG2)، سینه (MCF-7) و کولون (CaCo-2) می‌شوند [۵۴].

طبق جدول (۲) در مطالعه‌ای تأثیر پوشش‌دهی با عصاره پوست سیب و پوشش خوراکی زئین ذرت غنی‌شده با اسانس زنجبیل را بر ویژگی‌های میکروبی، شیمیایی و حسی گوشت ران مرغ بررسی و نتیجه‌گیری کردند که پوشش طراحی‌شده، موجب کاهش رشد جمعیت باکتری-

گیاه به‌ویژه پوست آن دارای غلظت بالای اسیدلاکتیک به مقدار ۷-۸٪ وزنی-وزنی است؛ که این ترکیب خود به‌تنهایی اثر مهارکنندگی روی رادیکال‌های آنیون سوپراکسید و رادیکال هیدروکسیل را دارد [۶۲].

طبق جدول (۱) علاوه‌براین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیرفنولی همچون ۲۴-متیلن-سیکلوآرتنول (24-Methylene-cycloartenol) در خیار سبز شناسایی شده است که اثرات آنتی‌اکسیدانی قابل‌توجهی را به همراه دارد. عصاره خیار به‌عنوان یک عامل بهبوددهنده و مؤثر بر کاهش آسیب‌های کبدی و کلیوی ناشی از آرسنیک شناخته شده و طیف وسیعی از باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی را مهار می‌کند و بر گروهی از قارچ‌ها که جزء پاتوژن انسانی هستند مؤثر است [۵۹، ۶۳].

در مطالعه‌ای پوشش کامپوزیتی ژلاتین-نشاسته حاوی عصاره پوست خیار سبز و اسانس زیره بر ویژگی‌های میکروبی، شیمیایی و حسی پنیر فرآپالایش (UF) در طول ۵۶ روز نگهداری در شرایط یخچال بررسی شد. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که عصاره پوست خیار سبز به‌طور معناداری ($p < 0.05$) موجب بهبود ویژگی‌های حسی (نظیر طعم، بو، رنگ و مقبولیت کلی) نمونه‌های پنیر در طول دوره نگهداری شده است. مطالعات قبلی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره پوست خیار سبز را گزارش نمودند [۶۲]. آن‌ها دلیل این توانایی را وجود ترکیباتی نظیر مشتقات فنولی، گلیکوزیدها، پتیدی‌های اولیگومری و پلیمری، اسیدهای آلی، فلاونول‌ها و پروآنتوسیانیدین‌ها عنوان کردند (جدول ۲) [۶۰، ۶۴].

۳.۲.۵. پوست ریشه چغندر قرمز

چغندر قرمز با نام علمی *Beta vulgaris*، گیاهی از تیره اسفناج است؛ منبعی غنی از قند و فیبر با کالری کم و فاقد کلسترول، سرشار از مواد معدنی نظیر سدیم، پتاسیم، آهن، فسفر، روی و منیزیم و ویتامین‌های A، B، C، K و E. طبق جدول (۱) حاوی انواع آمینواسیدهای ضروری (لیزین، لوسین، ایزولوسین، متیونین و...) و غیرضروری (تیروزین، پرولین، آلانین و...) است. همچنین این محصول حاوی رنگدانه‌های بتالائین است [۶۵]. بتالائین‌ها جز خانواده

۳.۲.۴. پوست خیار سبز

خیار سبز متعلق به خانواده *Cucurbitaceae* و با نام علمی *Cucumis sativus* بوده و در سراسر جهان به‌صورت فصلی کشت می‌شود و گونه‌های گلخانه‌ای آن در تمام فصول در دسترس است که سالانه ۷/۲۶٪ کل سبزیجات تولیدی در جهان را به خود اختصاص داده است. بخش عمده رژیم غذایی مدیترانه‌ای است و به‌طور گسترده در یونان کشت می‌شود. ۹۵٪ این گیاه را آب تشکیل داده و دارای ۰/۶٪ پروتئین، ۰/۱٪ چربی و ۲/۲٪ کربوهیدرات است. ساقه این گیاه حالت رونده دارد و قادر است به صورت هیدروپونیک بوده و بدون ریشه در زمین رشد می‌کند و یا می‌تواند به یک تکیه‌گاه بپیچد. خیار گیاهی با بخش بیرونی سخت است و بخش داخلی آن تقسیم‌بندی ندارد. شکل این گیاه استوانه‌ای است و برخی گونه‌های آن تا ۶۰ سانتی‌متر طول و ۱۰ سانتی‌متر قطر دارند [۵۹]. محققین بر این باورند که پیدایش خیار سبز از هند سرچشمه گرفته است. این گیاه بیش از سه‌هزار سال است که در منطقه غرب آسیا کشت می‌شود و توسط رومی‌ها به مردمان کشورهای اروپایی معرفی شده است. سابقه کشت این گیاه در انگلستان در قرن چهاردهم میلادی و در فرانسه به قرن نهم میلادی بازمی‌گردد و کشت این گیاه در آمریکا نیز اواسط قرن شانزدهم میلادی آغاز شده است. رومیان باستان از برگ این گیاه به‌منظور افزایش بینایی، درمان محل گزش عقرب و دورکردن موش‌ها استفاده می‌کردند [۶۰، ۶۱]. از زمان‌های قدیم از میوه، برگ، ساقه و دانه این گیاه برای درمان مشکلات پوستی، سم‌زدایی و ضدخارش استفاده می‌کردند. عصاره این گیاه ضد چین و چروک، ضد میکروب، ضد دیابت است و دارای اثرات هیپولیپیدمی، فعالیت آنتی-هیالورونیداز و ضدالاستاز است. امروزه نیز در سراسر دنیا از عصاره این گیاه در تولید مواد آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود [۵۹].

میوه، پوست، پالپ و دانه خیار سبز دارای اثرات آنتی-اکسیدانی و ضد میکروبی است؛ و دلیل این امر وجود ترکیبات فنولی در این گیاه است؛ که از عمده‌ترین آن‌ها می‌توان فلاونول‌ها و پروآنتوسیانین‌ها را نام برد. عصاره این



عصاره پوست ریشه چغندر قرمز گزارش شد و علت را به محتوای ترکیبات فنولی آن نسبت دادند [۷۱، ۷۲]

برخی تحقیقات، خواص ضد میکروبی عصاره ریشه چغندر قرمز را در فیله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان گزارش کردند. آن‌ها این خاصیت را به حضور اسیدهای کلروژنیک، کافئیک، گالیک و پروتوکاتچیک نسبت داده‌اند [۷۳]. همچنین محققان دیگری فعالیت ضدباکتریایی عصاره اتانولی ریشه چغندر قرمز را علیه باکتری‌های باسیلوس، استافیلوکوکوس /شریشیا کلای گزارش کردند. آن‌ها این اثرات را مرتبط به حضور ترکیباتی نظیر ساپونین، تانین، آلکالوئیدها، فلاونوئید، گلیکوزیدهای قلبی دانستند [۶۸].

مطالعه دیگری افزایش ماندگاری نوعی ماهی پوشش داده‌شده با عصاره پوست ریشه چغندر قرمز در مدت زمان ۶ ماه نگهداری در شرایط فریزر را گزارش کردند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که مقادیر بالای بتالائین به‌عنوان ترکیبات فنولی در عصاره به‌کاررفته موجب فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی آن می‌شود. همچنین آن‌ها اعلام کردند که محتوای ترکیبات فنولی پوست ریشه چغندر قرمز ۵۰٪ و همین میزان در عصاره پالپ این محصول ۱۳٪ است [۷۴].

جدول (۲) نشان می‌دهد که در یک بررسی، کارایی فیلم هوشمند کیتوزان/ پلی وینیل الکل حاوی نشانگر عصاره پوست ریشه چغندر قرمز با فیلم حاوی عصاره کلم قرمز در نمایش به موقع فساد فیله قزل‌آلای رنگین کمان مقایسه شد. نتایج نشان داد که این دو نشانگر، کارایی مناسبی در پایش فساد مواد غذایی از خود نشان می‌دهند [۶].

در مطالعه‌ای دیگر، قابلیت نشانگر عصاره پوست ریشه چغندر قرمز درون فیلم خوراکی در نمایش به موقع فساد شیر پاستوریزه در دمای اتاق بررسی شد. نتایج نشان داد که فیلم هوشمند طراحی‌شده، کارایی چشمگیری در پایش فساد این ماده غذایی دارد [۵].

آنتوسیانین‌ها و ترکیبات نیتروژن‌دار محلول در آب هستند که از دو بخش بتاسیانین قرمز - بنفش و بتازانتین زرد - نارنجی تشکیل شده است. بتاسیانین ایمینیوم مزدوج بتالامیک اسید با سیکلودوپا و بتازانتین ایمینیوم مزدوج بتالامیک اسید با آمینواسیدها یا آمین‌ها است. بتالائین‌ها به‌دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی، محافظت‌کنندگی از کبد، ضدباکتری و التهاب بسیار مورد توجه هستند. بتالائین‌ها نسبت به نور، گرما، pH و اکسیژن کاملاً حساس و ناپایدارند [۶۶]. ریشه چغندر قرمز یکی از منابع غنی ترکیبات آنتی‌اکسیدان است. ترکیبات موجود در ریشه چغندر قرمز موجب کاهش خطر اکسایش لیپیدها، جلوگیری از سرطان و بیماری قلبی-عروقی، فشار خون، افزایش انرژی، کاهش روند زوال مغزی در افراد مسن، سلامت پوست و مو، ضدیوست و افزایش حساسیت به انسولین در افراد دیابتی می‌شوند. همچنین درمان‌کننده بوی بد دهان، ضدسرفه و سردرد، ضدکم‌خونی، تب‌بر و ادرارآور است که از ۲۰۰۰ سال پیش به‌عنوان دارو از آن استفاده می‌شد. از ریشه چغندر قرمز برای تولید رنگ قرمز طبیعی در صنایع آرایشی و بهداشتی، غذایی و دارویی استفاده می‌شود [۶۷-۶۹].

بتالائین ریشه چغندر قرمز تحت شرایط قلیایی تغییر رنگ می‌دهد. طی روند فساد مواد غذایی و آزاد شدن ترکیبات قلیایی، رنگ قرمز بتالائین به رنگ زرد در محیط قلیایی تغییر می‌کند. بتالائین‌ها قادر هستند طیف رنگی از قرمز تیره، قرمز روشن، بنفش، قهوه‌ای و زرد را ایجاد کنند و همین امر سبب شده در بسته‌بندی‌های هوشمند مواد غذایی از آن به‌عنوان یک شاخص حساس به تغییرات pH استفاده کنند.

در مطالعه‌ای، فیلم پکتین پوست هندوانه را با استفاده از عصاره ریشه چغندر قرمز هوشمند کرده و از آن برای نمایش فساد گوشت گوساله استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که فیلم هوشمند طراح شده توانست با دقت بالایی هنگام فساد نمونه‌های گوشت از قرمز به قهوه‌ای تغییر رنگ دهد [۷۰]. در بررسی دیگری، خواص آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی از

کپسول‌ها، به‌عنوان نگه‌دارنده، پنهان کردن طعم‌ها و بوها استفاده شود [۷۸].

تحقیقات نشان می‌دهند که پوشش خوراکی زئین ذرت می‌تواند با ترکیبات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی غنی‌سازی شود و برای بسته‌بندی مواد غذایی مختلف به کار رود. این پوشش تقویت شده می‌تواند با جلوگیری از رشد جمعیت میکروبی کل، با کتری‌های سرما دوست، سودوموناس‌ها، انتروباکتریاسه‌ها، باکتری‌های اسیدلاکتیک، کپک، مخمر و نیز ممانعت از اکسیداسیون چربی‌ها ماندگاری غذاها را در شرایط یخچال افزایش دهد.

طبق جدول (۲) در مطالعه‌ای، فیلم خوراکی زئین ذرت حاوی عصاره دانه شوید توانست با فعالیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی خود موجب تأخیر فساد میکروبی و فساد شیمیایی نمونه‌های فیله ماهی کپور معمولی در شرایط یخچال شود و ماندگاری آن‌ها را افزایش دهد. بنا به این دلایل، بسته‌بندی به کار رفته موجب بهبود ویژگی‌های حسی (بو، رنگ و مقبولیت کلی) فیله‌ها در طول ۱۲ روز دوره نگهداری در یخچال گردید [۷۹].

در مطالعه دیگری فیلم خوراکی زئین ذرت حاوی عصاره سماق و اسانس پونه موجب کاهش رشد میکروبی و همچنین ممانعت از واکنش اکسیداسیون چربی‌ها در نمونه‌های فیله مرغ بسته‌بندی شده با آن‌ها گردید. علاوه بر این‌ها، بسته‌بندی نمونه‌ها با فیلم‌های طراحی شده موجب حفظ ویژگی‌های حسی آن‌ها (بو، رنگ و مقبولیت کلی) در طول دوره نگهداری در شرایط یخچال شد [۸۰]. استفاده از پوشش خوراکی زئین ذرت حاوی اسانس گلپر در پنیر آب‌گیری شده، موجب افزایش ماندگاری آن در طول ۵۶ روز دوره نگهداری در شرایط یخچال گردید. محققان گزارش کردند که پوشش به کار رفته با جلوگیری از نفوذ اکسیژن، نور و میکروارگانیسم‌ها به سطح نمونه‌ها، از بروز فساد میکروبی و شیمیایی در آن‌ها جلوگیری کرده است [۸۱].

۳.۳. پسماندهای طبیعی پلیمری به کاررفته در بسته‌بندی مواد غذایی

۳.۳.۱. زئین ذرت

میزان پروتئین ذرت، ۷۰٪ گزارش شده که ۶۰٪ آن متعلق به زئین است، بنابراین زئین عمده‌ترین پروتئین ذرت محسوب می‌شود [۷۵]. چهار گروه پروتئینی آلبومین، گلوبولین، گلوتلین و پرولامین در ذرت وجود دارند و پرولامین همان زئین است که جزء پروتئین‌های ساده به-شمار می‌رود. براساس توالی اسیدهای آمینه پروتئین هتروژن زئین، سه فرم آلفازئین (۷۰-۸۵٪)، بتازئین (۲-۵٪) و گامازئین (۲۰-۱۰٪) وجود دارند و حلال آن‌ها اتانول است. زئین از جمله پسماندهای صنعت آسیابانی است و عمدتاً به صورت آلفازئین عرضه می‌شود. به دلیل مقادیر بالای آمینواسیدهای غیرقطبی مانند لوسین، آلانین و پرولین و نیز حضور آمینواسید گلوتامین که موجب افزایش پیوندهای هیدروژنی بین زنجیره پروتئینی می‌شود، میزان حلالیت زئین در آب کاهش یافته است [۷۶].

به دلیل شکنندگی و انعطاف‌پذیری پایین فیلم‌های زئین، امروزه از ترکیباتی مختلفی نظیر مواد ارگانیک، قندها، اسیدها چرب و ترکیبات زیست‌فعال طبیعی مانند مواد فنولی مستخرج از گیاهان در ساخت این فیلم‌ها استفاده می‌شود. این مواد نه تنها موجب بهبود خواص فیزیکوشیمیایی و انعطاف‌پذیری آن‌ها می‌شود، بلکه در فعال نمودن فیلم‌ها و افزایش خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد-میکروبی آن‌ها نیز بسیار مؤثر است.

مواد فنولی از متابولیت‌های ثانویه گیاهان به‌شمار می‌روند که به راحتی می‌توان آن‌ها را از ضایعات، محصولات جانبی و پسماندهای گیاهی، کشاورزی و صنعتی استخراج نمود [۷۷]. افزون بر این‌ها، زئین خاصیت ژل‌شوندگی قابل-توجهی دارد و می‌تواند به‌عنوان پوشش‌دهنده شکلات، برنج، خشکبار، آجیل و نیز در تولید پلاستیک‌ها، پوشش-های کاغذ، چسب‌ها، جایگزین‌های لاک، تخته‌های لمینت، فیلم‌های جامد چاپ رنگی و در صنعت دارو، برای پوشش



۳. ۲. ژلاتین حاصل از ضایعات کشتارگاهی گاو، طیور و ماهی

پروتئین ژلاتین با خواص مناسب تشکیل فیلم، می‌تواند به عنوان یک ماده زیست‌تخریب‌پذیر در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده شود. فیلم ژلاتینی به دلیل مزایای چند-منظوره مانند قیمت پایین، پلیمریزاسیون، زیست‌تخریب-پذیری، خواص ضدباکتری و آنتی‌اکسیدانی مناسب یک ماده ایده‌آل برای بسته‌بندی مواد غذایی است [۸۲]. غذاهای فاسدشدنی در شرایط نگهداری خاص (مانند دمای بالای نگهداری و رطوبت نسبی) می‌توانند به سرعت فاسد شوند. فیلم‌ها و پوشش‌های ژلاتینی با عملکردهای بهبودیافته (عمدتاً با مهار رشد میکروبی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حفظ خواص حسی) به طور مؤثری کاهش کیفیت این مواد غذایی را به تعویق می‌اندازند [۸۳]. ژلاتین، ماده‌ای پلیمری و چندعملکردی است که از هیدرولیز و دناتوراسیون کلاژن پوست، استخوان و بافت هم‌بند به دست می‌آید. ضایعات پستانداران، طیور و ماهی منابع تولید ژلاتین هستند. منابع اصلی ژلاتین تجاری پوست و غضروف خوک و پس از آن، پوست و استخوان گاو است [۸۴]. در حال حاضر ژلاتین پستانداران بیش از ۹۰٪ سهم بازار را تشکیل می‌دهد [۸۵].

تولید روبه‌رشد دام و به دنبال آن تولید فراوان ضایعات و محصولات جانبی آنها، موجب ساخت مقرون به صرفه ژلاتین شده است. در این بین ژلاتین گاوی به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد، از جمله محتوای پروتئین بالا برای تهیه فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به کار می‌روند (جدول ۲) [۸۴]. یکی دیگر از منابع آن، ژلاتین حاصل از آبزیان است. در طی فراوری آبزیان، مقدار زیادی محصول جانبی (پوست، فلس، استخوان) تولید می‌شود. پوست ماهی یکی از ضایعات قابل توجه تولید شده است [۸۶]. از فواید ژلاتین دریایی می‌توان به عدم وجود بیماری‌های آنسفالوپاتی اسفنجی شکل گاوی و عدم محدودیت مذهبی و مجاز بودن آن برای مسلمانان و یهودیان در مقایسه با ژلاتین خوک اشاره کرد [۸۴].

مطالعه‌ای بر عملکرد ژلاتین پوست ماهی سوف (*Lates niloticus*) و ماهی تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*) صورت گرفته و گزارش شده که گونه‌های مختلف دریایی دارای خواص ساختاری و فیزیکی متفاوتی از ژلاتین هستند که بر عملکرد آن‌ها تأثیر می‌گذارد [۸۷]. پوست ماهی منبع عالی ژلاتین است که از خواص عملکردی مناسب (مانند دمای بالای تشکیل ژل و ذوب و الاستیسیته بالا) برخوردار است. طبق مطالعات قبلی فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین ماهی، خواص آنتی‌اکسیدانی خوبی دارند و به عنوان یک عامل ضد میکروبی در برابر باکتری جنس *استافیلوکوکوس* عمل می‌کنند [۸۸]. فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین دارای ماتریس خوبی برای ترکیب عوامل ضد-میکروبی و آنتی‌اکسیدانی هستند که می‌توانند برای انجام عملکردهای خاص خود در افزایش ایمنی، پایداری و ماندگاری محصولات غذایی آزاد شوند.

طبق نتایج به دست آمده، ژلاتین پوست گاو و پس از آن ژلاتین پوست ماهی، کاربرد خوبی در بسته‌بندی مواد غذایی دارند. گفتنی است، ژلاتین پستانداران به دلیل استحکام ژل بالاتر که به خواص مکانیکی بهتر آن مرتبط است، کاربرد بیشتری در بسته‌بندی نسبت به ژلاتین ماهی دارد. طبق مطالعه‌ای که بر روی خواص فیزیکوشیمیایی ژلاتین پوست گاو و محتوای اسیدآمینه‌های آن انجام شده، ژلاتین پوست گاو حاوی انواع اسیدآمینه‌های ضروری، شامل گلیسین، آلانین، والین، لوسین، ایزولوسین، متیونین، فنیل آلانین، تریپتوفان و پرولین است که این محتوای پروتئینی سبب استحکام ژل فیلم ژلاتینی می‌شود (جدول ۱) [۸۴].

عبدالهدی و همکاران [۸۹] مطالعه‌ای بر روی کاربری فیلم ژلاتین پستانداران انجام دادند و گزارش کردند که می‌توان از فیلم‌ها و پوشش‌های ژلاتینی برای بسته‌بندی و نگهداری مواد غذایی مانند ماهی، گوشت و محصولات گیاهی استفاده کرد. لیو و همکاران [۹۰] مطالعه‌ای بر روی کاربرد فیلم‌های ژلاتین در به تأخیر انداختن افت کیفیت و افزایش ماندگاری فیله ماهی انجام دادند و گزارش کردند که تولید برخی از متابولیت‌های نامطلوب در نمونه‌های مورد مطالعه، مانند اسیدهای آلی، پوترسین، تیرامین و هیپوگزانتین

دارد. میکروگراف سه‌بعدی فیلم‌های پکتین پوست هندوانه یک سطح صاف با دره‌ها و قله‌های کمی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی و بررسی ساختار شیمیایی، پکتین استخراج‌شده از پوست هندوانه توانایی فیلم‌سازی خوبی دارد. همچنین پکتین پوست هندوانه دارای درجه استری شدن $50/62\%$ و فعالیت ضد رادیکالی قابل توجهی است. بنابراین، پکتین حاصل می‌تواند به‌عنوان یک ماده غذایی آنتی‌اکسیدانی و عملکردی بالقوه استفاده شود [۷۰]. همچنین پکتین را می‌توان از پوست موز، بدون توجه به تنوع آن نیز استخراج کرد. پوست موز به‌طور کلی دور ریخته می‌شود و ممکن است مشکلات زیست‌محیطی جدی ایجاد کند. با این حال، ترکیب پلیمری آن برای تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی مناسب است [۹۴]. ایجاد یک پوشش خوراکی، نفوذپذیری کمتر، انعطاف‌پذیری بیشتر، ساختار پیوسته و فشرده از ویژگی‌های مطلوب فیلم‌های پکتین پوست موز هستند. علاوه‌براین، لایه‌های تیره‌تر می‌توانند محافظت در برابر اکسیداسیون نوری مواد غذایی را افزایش دهند. فیلم‌های خوراکی زیست‌تخریب‌پذیر مبتنی بر پوست موز رسیده، بستری بالقوه برای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که می‌توانند به‌عنوان محافظی ایمن برای غذای فاسدشدنی در طول نگهداری استفاده شوند [۹۵].

یکی دیگر از منابع قابل توجه پکتین، پوست پرتقال است. پکتین استخراج‌شده از پوست پرتقال از نظر محتوای پروتئینی $0/92\%$ ، کربوهیدرات کل $92/41\%$ و خاکستر $4/1\%$ بر اساس وزن ماده خشک است. پکتین از پوست پرتقال با درجه متیلاسیون بیش از 60% استخراج می‌شود. علاوه‌براین محتوای اسید گالاکتورونیک و چرخش نوری آن، به‌ترتیب $81/2\%$ و 241 محاسبه شده است [۹۶]. فیلم‌های پکتینی حاصل از آن انعطاف‌پذیر با بافتی صاف، بوی مطبوع و رنگ زرد مات هستند که با افزایش محتوای گلیسرول رنگ آن به وضوح کاهش می‌یابد [۹۷، ۹۸]. بقایای پوست پرتقال به‌دلیل محتوای پکتین بالا برای تهیه فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر مناسب است. فیلم 5% ویژگی‌های یکنواختی، انعطاف‌پذیری و ظاهر فیزیکی بهتر را در

به‌طور قابل توجهی کاهش یافت که نشان می‌دهد بسته‌بندی مبتنی بر ژلاتین ماهی می‌تواند کیفیت ماهی را از طریق تداخل در متابولیسم کربوهیدرات، نیتروژن و نوکلئوتید حفظ کند.

۳.۳.۳. پکتین حاصل از پوست میوه‌جات

استفاده از بسته‌بندی‌های پلی‌ساکاریدی، می‌تواند راه‌حل سالم و مقرون‌به‌صرفه‌ای برای افزایش ماندگاری محصولات فسادپذیر باشد. بازدارندگی گازی فیلم‌های پلی‌ساکاریدی بسیار قابل توجه است و آن‌ها می‌توانند با اصلاح اتمسفر درون بسته‌بندی، فساد محصول را به‌تعویق اندازند. اما آن‌ها به‌دلیل ماهیت آب‌دوستشان در مقابل رطوبت بازدارندگی خوبی ندارند. ازجمله این فیلم‌ها می‌توان به فیلم خوراکی پکتین اشاره کرد. پکتین یکی از اجزای اصلی دیواره سلولی گیاهان است که طبق جدول (۱) به‌طور شیمیایی از اجزای پلی‌آلفا ۱ به ۴ گالاکتورونیک اسید تشکیل می‌شود. با توجه به درجه استری شدن آن با متانول، پکتین را می‌توان به‌عنوان پکتین متوکسیل بالا یا متوکسیل پایین طبقه‌بندی کرد.

در صنعت غذا، پکتین توسط اداره غذا و دارو، به‌عنوان ماده ایمن شناخته می‌شود [۹۱]. استفاده از پلیمرهای زیستی بازیافتی، نظیر پکتین می‌تواند همزمان به سه چالش اصلی پیش روی جامعه (مدیریت زباله‌های کشاورزی، کاهش زباله‌های پلاستیکی و حفاظت از سلامت محیط زیست) بپردازد. پکتین به‌دلیل ویژگی‌های غیرسمی، خوراکی، فراوانی و کم‌هزینه بودن آن به‌عنوان یکی از مواد اولیه برای ساخت فیلم‌های خوراکی در نظر گرفته شده است (جدول ۲) [۹۲]. استفاده از پکتین به‌دست‌آمده از محصولات جانبی کشاورزی می‌تواند هزینه تولید فیلم‌های خوراکی را کاهش دهد. به‌طورکلی پکتین‌ها در صنایع غذایی به‌عنوان تثبیت‌کننده، امولسیفایر و ژل استفاده می‌شوند [۹۳]. پوست هندوانه حدود 30% وزن کل آن را تشکیل می‌دهد و در تابستان میزان تولید آن افزایش می‌یابد و بیشتر آن به‌عنوان زباله دور ریخته می‌شود. هیچ شکاف یا حفره‌ای در سطح لایه‌های پکتین پوست هندوانه وجود ندارد که نشان می‌دهد پکتین پوست هندوانه توانایی تشکیل فیلم خوبی



پکتین دارای مزایای زیادی برای افزایش ماندگاری مواد غذایی از طریق تأخیر در اکسیداسیون لیپیدها، مهار رشد میکروبی، کنترل حرکت آب و غیره است. در نتیجه بسته‌بندی فعال مبتنی بر پکتین با خواص فیزیکی منحصربه‌فرد نظیر خواص مکانیکی مطلوب، آب‌گریزی، پایداری حرارتی و نیز ویژگی‌های عملکردی نظیر فعالیت‌های ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی، چشم‌اندازهای امیدوارکننده‌ای در نگه‌داری مواد غذایی دارد. الوارادو و همکاران [۹۷] بر روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و ساختاری بیوفیلیم‌های مبتنی بر پکتین پوست پرتقال تحقیق کردند و دریافتند که بیوفیلیم‌های ساخته‌شده از پوست پرتقال، دارای ویژگی‌های ارگانولپتیک مطلوب (بو، رنگ، طعم) کاربردی در صنایع غذایی است.

گلیسرول ۵٪ نیز به‌عنوان عامل روان‌کننده موجب بهبود خواص فیزیکوشیمیایی، انعطاف‌پذیری و بافت فیلم‌ها می‌شود. سیلوا و همکاران [۹۵] در مورد فیلم‌های خوراکی زیست‌تخریب‌پذیر پکتین پوست موز رسیده و نشاسته غنی‌شده با عصاره برگ ازگیل ژاپنی تحقیق کردند و دریافتند فیلم‌های خوراکی پکتینی پوست موز مقاومت ضعیفی داشتند، اما در مقایسه با فیلم نشاسته بسیار انعطاف‌پذیر بودند. بنابراین می‌توان از فیلم‌های پکتین پوست موز برای پوشش غذاهای فاسدشدنی با هدف افزایش عمر ماندگاری استفاده کرد.

جی یانگ و همکاران [۹۳] بر روی پکتین پوست خرمالو که به روش اسید داغ استخراج شده بود، تحقیق کردند و قابلیت امولسیون‌کنندگی آن را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که پکتین پوست خرمالو از نوع پکتین استیل‌شده کم‌متوکسی است و در مجموع نتایج نشان دادند که پکتین پوست خرمالو می‌تواند به‌عنوان یک منبع جدید امولسیفایر با فعالیت آنتی‌اکسیدانی عمل کند و جایگزین امیدوارکننده‌ای برای امولسیفایرهای طبیعی باشد و در صنایع غذایی استفاده شود.

جریدی و همکاران [۹۶] بر روی خواص فیزیکوشیمیایی، آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی فیلم‌های خوراکی مبتنی بر

مقایسه با فیلم ۳٪ نشان می‌دهد. گلیسرول ۵٪ ویژگی‌های بهینه‌ای مانند بافت نرم و قوام انعطاف‌پذیری بدون تشکیل حباب را ایجاد می‌کند [۹۷]. حضور کربن و هیدروژن به‌عنوان اجزای اصلی پکتین پوست پرتقال و نیتروژن به مقدار کمتر و همچنین رگه‌هایی از گوگرد که به طور طبیعی در پوست پرتقال یافت می‌شوند، نشان می‌دهند که این پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر عاری از ترکیبات آلوده یا خطرناک است و به محیط زیست آسیب نمی‌رساند [۹۸].

فیلم‌های بیوپلاستیک مبتنی بر پکتین با محتوای بالای گروه‌های متوکسی دارای درجه بالایی از استری شدن هستند که به آن‌ها توانایی تشکیل شبکه‌هایی با درجه ژل‌شوندگی بالا در دمای اتاق را می‌دهد و استحکام کششی بالایی دارند. فیلم‌های مبتنی بر پکتین کاربرد گسترده‌ای در زمینه بسته‌بندی محصولات گوشتی دارند و همچنین می‌توانند مشکل دفع زباله‌های کشاورزی را کاهش دهند [۹۷].

ژانگ و همکاران [۹۲] به بررسی اثرات تیمارهای مختلف آب جوش بر خواص لایه‌های پکتینی پوست میوه‌ی اژدها (دراگون فروت) پرداختند. آن‌ها دریافتند که فیلم پکتین پوست میوه اژدها خواص مشابهی با فیلم پکتین تجاری مرکبات نشان داد و می‌تواند انتخاب دیگری برای پکتین تجاری باشد و همچنین دریافتند که تیمار آب جوش اثر معناداری بر عملکرد پکتین دارد. زونگ‌لین گو و همکاران [۷۰] فیلم پکتین حاصل از پوست هندوانه حاوی عصاره ریشه چغندر قرمز به‌عنوان نشانگر pH را در نمایش فساد گوشت گاو به مدت ۸ روز بررسی کردند. آن‌ها گزارش دادند که این فیلم هوشمند شده، عملکرد مناسبی را در نمایش به موقع فساد گوشت از خود نشان داد. آن‌ها مشاهده کردند که با فاسدشدن گوشت گاو نگره‌داری‌شده در یخچال، رنگ فیلم‌ها از صورتی (روز ۰) به قهوه‌ای (روز ۸) تغییر کرد. بنابراین نتیجه‌گیری کردند که پکتین پوست هندوانه حاوی ۲٪ عصاره ریشه چغندر قرمز پتانسیل بالایی در پایش فساد گوشت گوساله در شرایط یخچال دارد.

هوانگ و همکاران [۹۹] بر روی بسته‌بندی فعال مبتنی بر پکتین مطالعه کردند و دریافتند که بسته‌بندی بر پایه

ذخیره‌سازی سرد می‌شود. بنابراین استفاده از فیلم‌های ترکیبی پکتین-ژلاتین با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مطلوب برای بسته‌بندی فعال مواد غذایی پیشنهاد می‌شود.

ژلاتین ماهی غنی‌شده با پکتین پوست پرتقال تحقیق کردند و دریافتند که این بسته‌بندی باعث بهبود خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و میکروبی پنیر در طول دوره

جدول ۲. روش‌های استفاده از ضایعات طبیعی در بسته‌بندی مواد غذایی

Table 2. Methods of natural waste using in food packaging

		Application types in food packaging			
Natural waste types	Waste name	Film	Coating	Food formulation	Extract
Non-polymeric natural waste in food packaging	Tomato residuum			[27]	[26]
	Pomegranate peel				[48-43]
	Apple peel			[55]	[53]
	Cucumber peel				[62]
	Red beetroot peel			[73]	[74, 70, 6, 5]
	Corn zein	[80-79]	[81]		
Polymeric natural waste in food packaging	Gelatin of cattle, poultry and fish slaughterhouse waste	[90]	[89]		
	Fruit peel pectin	[96, 70]			

به‌منظور افزایش ماندگاری فیلده ماهی قزل‌آلا استفاده کردند و اعلام کردند که پوشش به‌کاررفته نه‌تنها موجب ارتقا ویژگی‌های حسی گوشت ماهی نظیر (بافت، بو، رنگ و مقبولیت کلی) شده، بلکه ماندگاری آن‌ها را تا ۹ روز در شرایط یخچال افزایش داده است [۲۶].

در مطالعه دیگری با استفاده از عصاره پوست انار و اسانس کاکوتی فیلم کامپوزیتی کیتوزان-نشاسته را فعال کردند و اظهار داشتند که این بسته‌بندی فعال توانست با خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی خود، ماندگاری گوشت قرمز را در شرایط یخچال تا ۱۰ روز افزایش دهد [۴۶]. طی تحقیقی، استفاده از عصاره پوست انار در فیلم کارئینات سدیم، موجب افزایش ماندگاری نمونه‌های گوشت چرخ‌کرده، تا ۹ روز، شد. آن‌ها این اثر را به‌دلیل فعالیت ضد میکروبی معنادار عصاره پوست انار ذکر کردند [۴۷]. پژوهش‌گران دیگری به بررسی تأثیر فیلم فعال کیتوزان-ژلاتین حاوی پوست انار بر ماندگاری ماهی شوریده پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که بسته‌بندی فعال طراحی‌شده به‌طور معناداری ($p \leq 0.05$)، کاهش رشد میکروبی و

۳.۴. پسماندهای طبیعی در انواع بسته‌بندی‌های مواد غذایی

۳.۴.۱. پسماندهای طبیعی در بسته‌بندی‌های فعال

بسته‌بندی فعال یک صنعت نوین در بسته‌بندی مواد غذایی است. در این نوع بسته‌بندی از ترکیبات مختلفی نظیر جاذب‌های اکسیژن، رطوبت، دی‌اکسید کربن، اتیلن، ترکیبات طعم‌دهنده، ترکیبات آزادکننده کربن دی‌اکسید، ضد میکروب، آنتی‌اکسیدان و ترکیبات معطر استفاده می‌شود. بسته‌بندی‌های فعال علاوه بر داشتن خواص بازدارندگی، مثل نفوذناپذیری به رطوبت و گازها با تغییر شرایط بسته‌بندی، می‌توانند باعث افزایش ایمنی، ماندگاری و ویژگی‌های حسی ماده غذایی شوند. از پسماندهای طبیعی می‌توان در بسته‌بندی‌های فعال استفاده کرد که در کنار افزایش ماندگاری مواد غذایی، خواص حسی مطلوبی (طعم، بو، رنگ و مقبولیت کلی) را در غذا به وجود می‌آورند. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای از عصاره تفاله گوجه‌فرنگی به همراه اسانس شوید در پوشش صمغ عربی،



اکسیداسیون چربی‌ها در نمونه‌های مدنظر، در طول ۱۶ روز نگهداری در شرایط یخچال را به‌دنبال داشت [۴۸].

در یک تحقیق و بررسی، نوعی بسته‌بندی فعال بر پایه‌ی پوشش خوراکی زئین ذرت غنی‌شده با اسانس زنجبیل و عصاره پوست سیب ساخته شد. بسته‌بندی طراحی‌شده موجب کاهش رشد جمعیت باکتری‌های مقاوم به سرما، *لک‌توباسیلوس*‌ها، *سودوموناس*‌ها، کپک، مخمر و همچنین ممانعت از واکنش اکسیداسیون چربی‌ها در گوشت ران مرغ طی ۱۲ روز نگهداری در شرایط یخچال شده است. محققان گزارش کردند که غوطه‌وری نمونه‌ها در محلول عصاره پوست سیب، به شکل معناداری ($p \leq 0.05$) تردی و طعمی منحصر به فرد را در مقایسه با سایر تیمارها، ایجاد کرده است [۵۳].

در تحقیق دیگری، پوشش کامپوزیتی ژلاتین-نشاسته را با عصاره پوست خیار سبز و اسانس زیره فعال کردند و تأثیر آن بر ویژگی‌های میکروبی، شیمیایی و حسی پنیر فراپالایش (UF) در طول ۵۶ روز نگهداری در شرایط یخچال را بررسی نمودند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که پوشش فعال طراحی‌شده موجب افزایش ماندگاری نمونه‌ها تا ۵۶ روز در یخچال شده است. همچنین عصاره پوست خیار سبز به‌طور معناداری ($p \leq 0.05$) بهبود ویژگی‌های حسی (نظیر طعم، بو، رنگ و مقبولیت کلی) نمونه‌های پنیر در طول دوره نگهداری را موجب شد [۶۲].

۳.۴. ۲. پسماندهای طبیعی در بسته‌بندی‌های هوشمند

به بسته‌بندی‌هایی که بر وضعیت غذای بسته‌بندی‌شده یا محیط اطراف غذا نظارت می‌کنند بسته‌بندی هوشمند می‌گویند. از مزایای این سیستم‌ها می‌توان به سهولت ادغام در بسته‌بندی، تفسیر راحت داده‌ها و نظارت مداوم بر شرایط خارجی اشاره کرد. عیب اصلی این بسته‌بندی‌ها، عدم قابلیت بازیافت، گران‌قیمت بودن آن‌ها و احتمال نشت مواد موجود آن‌ها به مواد غذایی است. استفاده از پسماندهای طبیعی در ساخت این نوع بسته‌بندی‌ها می-

تواند تا حد زیادی، معایب ذکرشده را برطرف نماید، زیرا این ترکیبات به‌راحتی در محیط تجزیه می‌شوند، ارزان‌قیمت و در دسترس هستند و حتی در صورت نشت به ماده غذایی، مشکلی برای مصرف‌کننده ایجاد نمی‌کنند. برخی از این پسماندها، به تغییرات pH و همچنین گازهای حاصل از فساد ماده غذایی بسیار حساس هستند و با تغییر آن‌ها، تغییر رنگ مشخصی می‌دهند. ازجمله پسماندهایی که به‌عنوان نشانگر جهت هوشمندسازی در بسته‌بندی‌ها استفاده می‌شوند، می‌توان به عصاره پوست ریشه چغندر قرمز اشاره کرد. در مطالعات قبلی، کارایی عصاره پوست ریشه چغندر قرمز در پایش فساد فیله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در نوعی فیلم خوراکی در شرایط یخچال بررسی شد. محققان نتیجه‌گیری کردند که عصاره پوست ریشه چغندر قرمز تغییر رنگ مشخص و قابل قبولی در نمایش به‌موقع فساد فیله ماهی دارد. به‌طوری‌که این عصاره ضریب همبستگی مطلوبی را بین فاکتورهای فساد و تغییر رنگ حاصل از فساد فیله ماهی در بین سایر تیمارها از خود نشان داد [۶، ۱۰۰]. در سایر مطالعات، عملکرد عصاره پوست ریشه چغندر قرمز در نمایش به‌موقع فساد شیر پاستوریزه با نوعی نشانگر در فیلم هوشمند بر پایه کیتوزان-پلی وینیل الکل مقایسه شد. آن‌ها نیز گزارش کردند که عصاره پوست ریشه چغندر قرمز مشخص‌ترین و سریع‌ترین تغییر رنگ را با فساد شیر در مقایسه با دیگر تیمارها از خود نشان می‌دهد. بنابراین، آن‌ها عصاره پوست ریشه چغندر قرمز را، نشانگری مناسب جهت هوشمندسازی بسته‌بندی‌های مواد غذایی در پایش و نمایش به‌موقع فساد مواد غذایی معرفی کردند [۵].

۳.۵. استخراج و خالص‌سازی ترکیبات زیست‌فعال از پسماندهای طبیعی

چگونگی استخراج ترکیبات مؤثره پسماندها، بسته به هدف مورد نظر، نوع پسماند و حتی شرایط و امکانات موجود بسیار متفاوت است. چنانچه هدف، استخراج ترکیبات زیست‌فعال نظیر مواد ضد میکروب، آنتی‌اکسیدان و نشانگر از پسماندها باشد، معمولاً روش عصاره‌گیری کاربرد دارد.

جداسازی کرد [۷، ۷۰]؛ اما اگر هدف از استفاده از پسماندها، استخراج بیوپلیمرها برای بسته‌بندی ماده غذایی باشد، بسته به نوع بیوپلیمر و نوع پسماند، می‌توان از تست‌های آزمایشگاهی اختصاصی، نظیر لیز آنزیمی، تجزیه اسیدی، تجزیه قلیایی و رسوب‌گیری با اتانول استفاده کرد. این تست‌ها در مقالات، به‌منظور تولید انواع پلیمرهای طبیعی (پروتئینی، کربوهیدراتی و لیپیدی) از پسماندهای گیاهی استفاده شدند. به‌عنوان مثال، می‌توان به استخراج بیوپلیمر زئین از پسماندهای ذرت، پکتین از پوست مرکبات، هندوانه، موز و ژلاتین از ضایعات کشتارگاهی اشاره کرد [۴۸، ۵۳، ۹۱]. بنابراین، طبق نتایج جدول (۳)، با استفاده از تست‌های آزمایشگاهی و روش‌های مختلف عصاره‌گیری، می‌توان ترکیبات لازم برای تولید انواع بسته‌بندی‌های خوراکی و زیست تخریب‌پذیر با قابلیت‌های مختلف را از پسماندها و ضایعات طبیعی استخراج کرد.

عصاره‌گیری خود انواع گوناگونی نظیر تکنیک‌های غوطه‌وری، ریفلاکس، اولتراسوند و مایکروویو دارد که بسته به نوع پسماند و تأثیر این روش‌ها در استخراج ماده مؤثره آن‌ها، انتخاب می‌شوند. عصاره‌های حاصل از پسماندها سرشار از ترکیبات زیست‌فعال نظیر انواع فنول‌ها هستند که می‌توانند به‌عنوان نگهدارنده در تولید بسته‌بندی‌های فعال مواد غذایی به‌منظور تقویت خواص نگهدارندگی آن‌ها به کار روند. در مطالعات بسیاری، از انواع عصاره‌های گیاهی درون فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی برای تقویت خواص نگهدارندگی آن‌ها در مواد غذایی استفاده شده است [۲۹، ۵۳، ۶۲، ۷۹، ۸۰]. برخی از این عصاره‌ها حاوی ترکیبات نشانگر هستند که اگر درون بسته‌بندی ماده غذایی قرار گیرند، با فساد غذا و تغییرات pH آن تغییر رنگ می‌دهند. به‌طوری‌که با مشاهده تغییر رنگ ایجادشده، می‌توان در مورد قابل‌مصرف بودن و یا نبودن غذا اظهارنظر کرد. حتی می‌توان ترکیب نشانگر را از عصاره مربوطه استخراج و

جدول ۳. روش‌های استخراج اجزای زیست فعال زباله های طبیعی

Table 3. Extraction methods of bioactive components of natural waste

Waste Method	Fruit peel pectin	Gelatin of cattle, poultry and fish slaughterhouse waste	Corn zein	Red beetroot peel	Cucumber peel	Apple peel	Pomegranate peel	Tomato residuum
Extraction (Maceration, Reflex, Microwave and Ultrasound)				[74-70, 68, 6, 5]	[64-59]	[57-56, 53, 51]	[48-42, 35]	[26-24]
Enzymatic, acidic and alkaline lysis		[90-88]						
Sedimentation with ethanol	[98-91]							



۳. ۶. راه‌های ارزیابی بسته‌بندی‌های تولیدشده با استفاده از پسماندهای طبیعی

معمول‌ترین آزمون‌های لازم برای ارزیابی بسته‌بندی‌های مواد غذایی، اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی نظیر مقاومت در برابر کشش (Tensile strength)، ازدیاد طول در نقطه شکست (Elongation at break) و مقاومت در برابر تغییرشکل (Young's Modulus) است. این فاکتورها، میزان انعطاف‌پذیری و الاستیسیته بسته‌بندی را ارزیابی می‌کنند و اطلاعات درستی درباره نوع بسته‌بندی ارائه می‌دهند. در مطالعه‌ای گزارش شد که افزودن عصاره پوست ریشه چغندر قرمز به فیلم خوراکی کیتوزان/پلی‌وینیل الکل، موجب افزایش مقاومت در برابر کشش (۴/۲۰ مگاپاسکال) و ازدیاد طول در نقطه شکست (۱۱۸٪) فیلم در مقایسه با فیلم‌های بدون عصاره شد. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که افزودن عصاره به فیلم‌ها به‌طور معناداری موجب بهبود ویژگی‌های مکانیکی آن‌ها در مقایسه با سایرین شده است [۱۰۰].

در مطالعه دیگری از فیلم خوراکی زئین ذرت در بسته‌بندی فیله ماهی کپور معمولی استفاده شد. آن‌ها مقاومت در برابر کشش (۰/۹۱ مگاپاسکال)، ازدیاد طول در نقطه شکست (۳۰/۶۸٪)، مقاومت در برابر تغییرشکل (۷۴/۸ مگاپاسکال) فیلم‌ها را اندازه‌گیری کردند و اعلام نمودند که فیلم زئین، دارای ویژگی‌های مکانیکی مطلوبی در بسته‌بندی مواد غذایی است. برآورد آن‌ها این بود که زئین ذرت می‌تواند تعامل خوبی با دیگر عصاره‌ها و اسانس‌ها، به‌منظور افزایش خواص نگهدارندگی فیلم‌ها ایجاد کند [۷۹].

در بررسی دیگری، محققان عصاره میوه سماق و اسانس انکپسوله پونه کوهی را به فیلم زئین اضافه کردند و به این نتیجه رسیدند که پلیمر زئین تعامل خوبی با این مواد برقرار کرده است، به‌طوری‌که این ترکیبات موجب بهبود ویژگی‌های مکانیکی فیلم حاصل شده‌اند [۸۰].

طی تحقیقاتی گزارش شد که فیلم پکتین پوست هندوانه دارای مقاومت در برابر کشش (۱۵ مگاپاسکال)، ازدیاد طول در نقطه شکست (۲۶/۶۷٪) قابل قبولی است و این ویژگی‌ها، با افزودن عصاره ریشه چغندر قرمز به‌طور معناداری بهبود یافته است. آن‌ها علت این موضوع را برقراری پیوندهای هیدروژنی بین پکتین و

عصاره ذکر کردند که موجب افزایش مقاومت ماتریکس فیلم حاصل شده است [۷۰]. همچنین مطالعات مشابهی در مورد فیلم خوراکی ژلاتین حاصل از پسماندهای جانوری در بسته‌بندی مواد غذایی وجود دارد که در آن‌ها به ویژگی‌های مکانیکی مطلوب فیلم‌های ژلاتینی، برای بسته‌بندی مواد غذایی و نیز تعامل قدرتمند آن‌ها با انواع افزودنی‌های به‌کاررفته در این نوع از فیلم‌ها، پرداخته‌اند [۲، ۴۸، ۸۶، ۹۶].

۳. ۷. پایداری، دسترسی و بومی‌بودن پسماندهای معرفی‌شده

نتایج مطالعات قبلی نشان می‌دهند که بسته‌بندی‌های طراحی‌شده با استفاده از پسماندهای طبیعی در طول دوره نگهداری غذای بسته‌بندی‌شده کاملاً پایدار بوده و عملکردهای مورد انتظارشان را (خواص ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و نشانگر بودن) به نحو مطلوبی در ماده غذایی اعمال می‌کنند [۲۹، ۵۳، ۶۲، ۷۹، ۸۰]. از طرفی، این نوع بسته‌بندی‌ها زیست‌تخریب‌پذیر بوده و به‌راحتی در محیط زیست تجزیه شده و بدون تولید هیچ ماده سمی و مضر به طبیعت باز می‌گردند. تمام پسماندهای معرفی‌شده در این پژوهش، به وفور در اکثر نقاط دنیا، از جمله کشور ایران یافت می‌شوند. بنابراین به‌راحتی در دسترس هستند و می‌توان از آن‌ها استفاده کرد [۶، ۲۶، ۴۶، ۵۳، ۶۲، ۷۹، ۹۰، ۹۶].

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به استفاده گسترده از بسته‌بندی‌های مواد غذایی و مضرات جدی بسته‌بندی‌های پلاستیکی برای مصرف‌کنندگان، به دلیل نفوذ ترکیبات آن‌ها درون ماده غذایی و نیز زیست-تخریب‌ناپذیری آن‌ها و آزادسازی شیرابه‌های سمی زباله‌ای به محیط زیست، استفاده از بسته‌بندی‌های سالم با قابلیت زیست-تخریب‌پذیری و عاری از ترکیبات شیمیایی لازم و ضروری به-نظر می‌رسد. افزون بر این، قیمت تمام‌شده، در دسترس بودن و طبیعی بودن این بسته‌بندی‌ها نیز موضوع مهمی است که پژوهش‌گران بایستی به آن توجه ویژه‌ای داشته باشند تا امکان تجاری‌سازی این نوع از بسته‌بندی‌ها در صنایع فراهم شود؛ بنابراین استفاده از ترکیبات ارزان و طبیعی با آثار مورد نظر در

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت دانشگاه بوعلی سینا انجام شده است که قدردان این همراهی هستیم.

مراجع

- [1] Feyzollahi, Y., Golmohammadi, A., Nematollahzadeh, A., & Tahmasebi, M. (2022). Evaluation the effect of biodegradable active packaging based on Zein containing Zataria multiflora essential oil on postharvest shelf life of strawberry. *Innov. Food Technol.*, 9(2), 113-127. [In Persian] <https://doi.org/10.22104/jift.2021.5248.2071>
- [2] Sodeifi, B., Nazamezhad, N., & Sharifi, S.H. (2020). Effect of biodegradable films based on chitosan/polyvinyl alcohol/fish gelatin incorporated with cinnamaldehyde on shelf-life extension of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *Innov. Food Technol.*, 7(2), 223-242. [In Persian] <https://doi.org/10.22104/jift.2019.3628.1869>
- [3] Shahrapour, D., Khomeiri, M., Kashiri, M., & Razavi, S.M.A. (2021). Evaluation of probiotic bioactive edible coating application on qualitative properties of fresh strawberry. *Innov. Food Technol.*, 8(4), 443-456. [In Persian] <https://doi.org/10.22104/jift.2020.3811.1902>
- [4] Mohammadalinejad, S., Almasi, H., & Moradi, M. (2020). Immobilization of Echium amoenum anthocyanins into bacterial cellulose film: A novel colorimetric pH indicator for freshness/spoilage monitoring of shrimp. *Food Control.*, 113, 107169. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107169>
- [5] khodabakhsh, P., & Bazargani-Gilani, B. (2025). Comparison of pH and Gas Sensitivity of Chitosan/Polyvinyl Alcohol Smart Film Containing Beet Root Peel and Red Cabbage Indicators in Milk Spoilage Monitoring. *J. Food Anal. Methods.*, [In press] <https://doi.org/10.1007/s12161-025-02774-2>
- [6] Beigzadeh, S., & Bazargani-Gilani, B. (2025). Chitosan/polyvinyl alcohol flm containing beetroot peel and red cabbage extracts in freshness monitoring of trout fillet: gas or pH indicators. *J. Food Meas. Charact.*, 19, 736-752. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-03006-7>

این زمینه، می‌تواند راه‌گشا باشد. پسماندها و ضایعات طبیعی حاصل از مواد غذایی، گزینه‌های مناسبی جهت تولید بسته‌بندی‌های طبیعی فعال و هوشمند هستند.

پیشنهاد می‌شود جهت شناسایی و معرفی انواع پسماندهای طبیعی کاربردی در امر تولید بسته‌بندی‌های سالم مواد غذایی و همچنین بهینه‌سازی روش‌های استخراج مواد مؤثر آن‌ها، اهتمام ویژه‌ای صورت گیرد.

- [7] Bazargani-Gilani, B., Izadpanahi, Z., Kafrashi, Z., Salimi, F., & Zarei, F. (2023). Introducing and Efficiency of Some Natural pH-Indicators for Use in Smart Food Packaging. *J. Packag. Sci. Technol.*, 14, 15-23. [In Persian] <https://doi.org/20.1001.1.22286675.1402.14.55.2.0>
- [8] Latos-Brozio, M., & Masek, A. (2020). The application of natural food colorants as indicator substances in intelligent biodegradable packaging materials. *Food Chem Toxicol.*, 135, 110975. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110975>
- [9] Collins M. N, Nechifor, M., Tanasa, M., Zanoaga, M., McLoughlin, A., Strózyk, M. A., Culebras, M., & Teacă, C. A. (2019). Valorization of lignin in polymer and composite systems for advanced engineering applications – A review . *Int. J. Biol. Macromol.*, 131, 828-849. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.069>
- [10] Jönsson, L. J., & Martín, C. (2016). Pretreatment of lignocellulose: Formation of inhibitory by-products and strategies for minimizing their effects. *Bioresour. Technol.*, 199, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.009>
- [11] Mazaheri Tehrani, M., Mortazavi, S. A. Shahidi, F., & Mohalati, M. R. N. (2003). Evaluation of qualitative charachtristics of different varieties of tomatoes. *J. Agric. Nat. Res.*, 10, 65-76.
- [12] Mazaheri Tehrani, M., Mortazavi, S. A., Ziyaalagh, H. R., & Ghandi, A. (2007). Production and processing of tomato, 3 ed. Tehran, Iran: Marz Danesh. [In Persian]
- [13] Fallahi, M. (2006). Tomato processing technology, 5 ed. Mashhad, Iran: Marz Danesh. [In Persian]
- [14] Persia, M. E., Parsons, C. M., Schang, M., & Azcona, J. (2003). Nutritional evaluation of dried tomato seeds. *Poult. Sci.*, 82, 141-146. <https://doi.org/10.1093/ps/82.1.141>



- [15] Mansoori, B., Modirsanei, M., Radfar, M., Kiaei, M. M., Farkhoy, M., & Honarзад, J. (2008). Digestibility and metabolisable energy values of dried tomato pomace for laying and meat type cockerels. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 141, 384-390. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2007.06.029>
- [16] Al-Muhtaseb, A. A. H., Al-Harashsheh, M., Hararah, M., & Magee, T. R. A. (2010). Drying characteristics and quality change of unutilized-protein rich-tomato pomace with and without osmotic pre-treatment. *Ind Crops Prod.*, 31, 171-1. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.10.002>
- [17] Haddadin, M. S. Y., Abu-Reesh, I. M., Haddadin, F. A. S., & Robinson, R. K. (2001). Utilisation of tomato pomace as a substrate for the production of vitamin B12 – a preliminary appraisal. *Bioresour. Technol.*, 78, 225-230. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00018-9)
- [18] Sogi, D. S., Bhatia, R. S., Garg, K., & Bawa, A. S. (2005). Biological evaluation of tomato waste seed meals and protein concentrate. *Food Chem.*, 89, 53-56. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.083>
- [19] Demirbas, A. (2010). Oil, micronutrient and heavy metal contents of tomatoes. *Food Chem.*, 118, 504-507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.007>
- [20] Toor R. K., & Savage, G. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Res. Int.*, 38, 487-494. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.10.016>
- [21] García Herrera, P., Sánchez-Mata, M. C., & Cámara, M. (2010). Nutritional characterization of tomato fiber as a useful ingredient for food industry. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 11, 707-711. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.07.005>
- [22] Calvo, M. M., García, M. L., & Selgas, M. D. (2008). Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. *Meat Sci.*, 80, 167-172. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.11.016>
- [23] Benakmoum, A., Abbeddou, S., Ammouche, A., Kefalas, P., & Gerasopoulos, D. (2008). Valorisation of low quality edible oil with tomato peel waste. *Food Chem.*, 110, 684-690. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.063>
- [24] Elbadrawy, E., & Sello, A. (2016). Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. *Arab. J. Chem.*, 9, S1010-S1018. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.11.011>
- [25] Stajčić, S., Četković, G., Čanadanović-Brunet, J., Djilas, S., Mandić, A., & Četojević-Simin, D. (2015). Tomato waste: Carotenoids content, antioxidant and cell growth activities. *Food Chem.*, 172, 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.069>
- [26] Tavakkoli, E., Bazargani-Gilani, B., & Pajohi-Alamoti, M. (2020). The impacts of tomato residuum extract with Arabic gum and dill essential oil on the shelf life improvement of trout fillets stored at chilly condition. *J. Food Saf.*, 40(4), e12812. <https://doi.org/10.1111/jfs.12812>
- [27] Eyiler, E., & Oztan, A. (2011). Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. *LWT - Food Sci. Technol.*, 44(1), 307-311. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.07.004>
- [28] Moradnia, M., Mohammadkhani, N., Azizi, B., Mohammadi, M., Ebrahimpour, S., Tabatabaei-Malazy, O., . . . Ale-Ebrahim, M. (2024). The power of Punica granatum: A natural remedy for oxidative stress and inflammation; a narrative review. *J. Ethnopharmacol.*, 330, 118243. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.118243>
- [29] Longtin, R. (2003). The pomegranate: nature's power fruit? *J. Natl. Cancer Inst.*, 95(5), 346-348. doi: 10.1093/jnci/95.5.346.
- [30] Mirdehghan, S. H., & Rahemi, M. (2007). Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Sci. Hortic.*, 111(2), 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.10.001>
- [31] Melgarejo, P., Salazar, D. M., Amorós, A., & Artés, F. (1995). Total lipids content and fatty acid composition of seed oils from six pomegranate cultivars. *J. Sci. Food Agric.*, 69(2), 253-256. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740690216>
- [32] Karakaplan1, M., & Özcan1, M. (1998). Determination of phenolic acids in pomegranate juices by HPLC-DAD. *Eur. J. Sci. Technol.*, 6, 32-37. ID: 238140966
- [33] Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. M & „Kader, A. A. (2000). Antioxidant Activity of Pomegranate Juice and Its Relationship with Phenolic Composition and Processing. *J. Agric. Food Chem.*, 48(10), 4581-4589. <https://doi.org/10.1021/jf000404a>
- [34] Noda, Y., Kaneyuki, T., Mori, A., & Packer, L. (2002). Antioxidant activities of pomegranate fruit extract and its anthocyanidins: delphinidin, cyanidin, and pelargonidin. *J. Agric. Food Chem.*, 50(1), 166-171. doi: 10.1021/jf0108765.

- [35] Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J., & Cheng, S. (2006). Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Food Chem.*, 96(2), 254-260. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.033>
- [36] Ben Nasr, C., Ayed, N., & Metche, M. (1996). Quantitative determination of the polyphenolic content of pomegranate peel. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 203(4), 374-378. <https://doi.org/10.1007/BF01231077>
- [37] El-Hadary, A. E., & Taha, M. (2020). Pomegranate peel methanolic-extract improves the shelf-life of edible-oils under accelerated oxidation conditions. *Food Sci. Nutr.*, 8(4), 1798-1811. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1391>
- [38] Rashid, R., Masoodi, F. A., Wani, S. M., Manzoor, S., & Gull, A. (2022). Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from pomegranate peel, their nanoencapsulation and application for improvement in shelf life extension of edible oils. *Food Chem.*, 385, 132608. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132608>
- [39] Kumar, N., Daniloski, D., Pratibha, Neeraj, D'Cunha, N. M., Naumovski, N., & Petkoska, A. T. (2022). Pomegranate peel extract – A natural bioactive addition to novel active edible packaging. *Food Res. Int.*, 156, 111378. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111378>
- [40] Trigo, J. P., Alexandre, E. M. C., Silva, S., Costa, E., Saraiva, J. A., & Pintado, M. (2020). Study of viability of high pressure extract from pomegranate peel to improve carrot juice characteristics. *Food & Funct.*, 11(4), 3410-3419. DOI <https://doi.org/10.1039/C9FO02922B>
- [41] More, S. B., Gogate, P. R., & Waghmare, J. S. (2022). Bioactives from pomegranate peel and moringa leaves as natural antioxidants for stability of edible oil blends. *Braz. J. Chem. Eng.*, 39(2), 527-538. <https://doi.org/10.1007/s43153-021-00150-1>
- [42] Javani-Seraji, S., Bazargani-Gilani, B., & Aghajani, N. (2023). Influence of extraction techniques on the efficiency of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extracts in oxidative stability of edible oils. *Food Sci. Nutr.*, 11(5), 2344-2355. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3244>
- [43] Bazargani-Gilani, B., Aliakbarlu, J., & Tajik, H. (2015). Effect of pomegranate juice dipping and chitosan coating enriched with *Zataria multiflora* Boiss essential oil on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 29, 280-287. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.04.007>
- [44] Naveena, B. M., Sen, A. R., Vaithiyanathan, S., Patil, G., & Kondaiah, N. (2010). Antioxidant Potential Of Pomegranate Juice In Cooked Chicken Patties. *J. Muscle Foods.*, 21, 557-569. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2009.00203.x>
- [45] Vaithiyanathan, S., Naveena, B. M., Muthukumar, M., Girish, P. S., & Kondaiah, N. (2011). Effect of dipping in pomegranate (*Punica granatum*) fruit juice phenolic solution on the shelf life of chicken meat under refrigerated storage (4°C). *Meat Sci.*, 88(3), 409-414. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.019>
- [46] Mehdizadeh, T., Tajik, H., & Mojaddar Langroodi, A. (2018). The effect of active and edible starch-chitosan composite film incorporated with thymus kotschyanus essential oil and punica granatum peel extracts on shelf life of meat during storage. *Irani. Food Sci. Technol. Res. J.*, 14(2), 371-382. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v0i0.61062>
- [47] Moghadam, A. K., & Djomeh, Z. E. (2017). Antimicrobial activity of caseinate – based edible film incorporated with pomegranate peel extract on minced meat. *J. Food Sci. Technol. (Iran)*, 14(67), 323-330. ID: 266051163
- [48] Saki, J., A, K., & Hosseini, S. M. (2018). Effect of chitosan-gelatin film combined with pomegranate peel extract on quality properties of Belanger's croaker *Johnius belangerii* stored at 4 °C. *Vet. Res. Biolo. Prod.*, 31(2), 128-139. <https://doi.org/10.22092/vj.2017.116252.1381>
- [49] Gharedaghi, J., Aliakbarlu, J., & Tajik, H. (2020). Antioxidant potential of apple pomace extract and its efficacy in alginate coating on chemical stability of rainbow trout fillet. *J. Food Meas. Charact.*, 14(1), 135-141. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00275-5>
- [50] H. P. V. Rupasinghe, N. Erkan, and A. Yasmin, "Antioxidant Protection of Eicosapentaenoic Acid and Fish Oil Oxidation by Polyphenolic-Enriched Apple Skin Extract," *J. Agric. Food Chem.*, 58, 1233-1239, 2010. <https://doi.org/10.1021/jf903162k>
- [51] Rupasinghe, H. P. V., Erkan, N., & Yasmin, A. (2010). Antioxidant Protection of Eicosapentaenoic Acid and Fish Oil Oxidation by Polyphenolic-Enriched Apple Skin Extract. *J. Agric. Food Chem.*, 58(2), 1233-1239. <https://doi.org/10.1021/jf903162k>
- [52] Sekhon-Loodu, S., Warnakulasuriya, S. N., Rupasinghe, H. P., & Shahidi, F. (2013). Antioxidant



- ability of fractionated apple peel phenolics to inhibit fish oil oxidation. *Food Chem.*, 140(1-2), 189-196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.040>
- [53] Barkhordari, P., & Bazargani-Gilani, B. (2021). Effect of apple peel extract and zein coating enriched with ginger essential oil on the shelf life of chicken thigh meat. *J. Food Meas. Charact.*, 15(3), 2727-2742. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00863-4>
- [54] McCann, M. J., Gill, C. I. R., O' Brien, G., Rao, J. R., McRoberts, W. C., Hughes, P., . . . Rowland, I. R. (2007). Anti-cancer properties of phenolics from apple waste on colon carcinogenesis in vitro. *Food Chem. Toxicol.*, 45(7), 1224-1230. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.01.003>
- [55] Shin, S.-H., Chang, Y., Lacroix, M., & Han, J. (2017). Control of microbial growth and lipid oxidation on beef product using an apple peel-based edible coating treatment. *LWT - Food Sci. Technol.*, 84, 183-188. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.054>
- [56] Agourram, A., Ghirardello, D., Rantsiou, K., Zeppa, G., Belviso, S., Romane, A., . . . Giordano, M. (2013). Phenolic Content, Antioxidant Potential, and Antimicrobial Activities of Fruit and Vegetable By-Product Extracts. *Int. J. Food Prop.*, 16(5), 1092-1104. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.576446>
- [57] Belkhir, M., Rebai, O., Dhaouadi, K., Sioud, B., Amri, M., & Fattouch, S. (2013). Antioxidant and Antimicrobial Activities of Tunisian Azarole (*Crataegus Azarolus* L.) Leaves and Fruit Pulp/Peel Polyphenolic Extracts. *Int. J. Food Prop.*, 16(6), 1380-1393. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.586080>
- [58] Alberto, M. R., Rinsdahl Canavosio, M. A., & Manca de Nadra, M. C. (2006). Antimicrobial effect of polyphenols from apple skins on human bacterial pathogens. *Electronic Journal of Biotechnology*, 9(3), 205-209. <https://doi.org/10.4067/S0717-34582006000300006>
- [59] Sotiroidis, G., Melliou, E., Sotiroidis, T. G., & Chinou, I. (2010). Chemical analysis, antioxidant and antimicrobial activity of three greek cucumber (*Cucumis Sativus*) cultivars. *J. Food Biochem.*, 34(s1), 61-78. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2009.00296.x>
- [60] Chen, S., Huang, H., & Huang, G. (2019). Extraction, derivatization and antioxidant activity of cucumber polysaccharide. *Int. J. Biol. Macromol.*, 140, 1047-1053. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.203>
- [61] Mukherjee, P. K., Nema, N. K., Maity, N., & Sarkar, B. K. (2013). Phytochemical and therapeutic potential of cucumber. *Fitoterapia*, 84, 227-236. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2012.10.003>
- [62] Esparvarini, Z., Bazargani-Gilani, B., Pajohi-Alamoti, M., & Nourian, A. (2022). Gelatin-starch composite coating containing cucumber peel extract and cumin essential oil: Shelf life improvement of a cheese model. *Food Sci. Nutr.*, 10(3), 964-978. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2730>
- [63] Fatima, N., Fatmi, N., Shahzada, M., Sharma, S., Kumar, R., Ali, M., & Kumar, A. (2018). Ameliorating effect of *Cucumis sativus* (cucumbers) against arsenic induced toxicity in mice. *Open J. Pathol.*, 8(3), 78-84. <https://doi.org/10.4236/ojpathology.2018.83009>
- [64] Agarwal, M., Kumar, A., Gupta, R., & Upadhyaya, S. (2012). Extraction of polyphenol, flavonoid from *Embllica officinalis*, *Citrus limon*, *Cucumis sativus* and evaluation of their antioxidant activity. *Orient. J. Chem.*, 28(2), 993. <https://doi.org/10.13005/ojc/280248>
- [65] El-Ashry, A. A. E., El-Bahr, M. K., & Gabr, A. M. M. (2020). Effect of light quality on Betalain content of red beet (*Beta vulgaris* L.) cultured in vitro. *Egypt. Pharm. J.*, 19. https://doi.org/10.4103/epj.epj_43_19
- [66] Fu, Y., Shi, J., Xie, S.-Y., Zhang, T.-Y., Soladoye, O. P., & Aluko, R. E. (2020). Red Beetroot Betalains: Perspectives on Extraction, Processing, and Potential Health Benefits. *J. Agric. Food Chem.*, 68(42), 11595-11611. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04241>
- [67] Zia, P., Sunita, M., & Sneha, S. (2021). Extraction of Natural Colour from Beet Root (*Beta vulgaris*) its Phytochemical Analysis and Antibacterial Activity. *EAS J. Nutr. Food Sci.*, 3, 80-85. <https://doi.org/10.36349/easjnfs.2021.v03i04.002>
- [68] Nwankwo, C. C., & T, D. B. (2021). Antimicrobial and antihelminthic activities of beetroot plant. *GSC Biol. Pharm. Sci.*, 15(3), 093-101. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2021.15.3.0123>
- [69] Flores-Mancha, M. A., Ruíz-Gutiérrez, M. G., Sánchez-Vega, R., Santellano-Estrada, E., & Chávez-Martínez, A. (2020). Characterization of Beet Root Extract (*Beta vulgaris*) Encapsulated with Maltodextrin and Inulin. *Mol.*, 25(23). <https://doi.org/10.3390/molecules25235498>
- [70] Guo, Z., Ge, X., Li, W., Yang, L., Han, L., & Yu, Q.-l. (2021). Active-intelligent film based on pectin from watermelon peel containing beetroot extract to monitor

- the freshness of packaged chilled beef. *Food Hydrocoll.*, 119, 106751.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106751>
- [71] Šeremet, D., Durgo, K., Jokić, S., Huđek, A., Vojvodić Cebin, A., Mandura, A., . . . Komes, D. (2020). Valorization of Banana and Red Beetroot Peels: Determination of Basic Macrocomponent Composition, Application of Novel Extraction Methodology and Assessment of Biological Activity In Vitro. *Sustainability*, 12(11), 4539, 2020.
<https://doi.org/10.3390/su12114539>
- [72] Salamatullah, A. M., Hayat, K., Alkaltham, M. S., Ahmed, M. A., Arzoo, S., Husain, F. M., . . . Al-Harbi, L. N. (2021). Bioactive and Antimicrobial Properties of Oven-Dried Beetroot (Pulp and Peel) Using Different Solvents. *Processes*, 9(4), 588.
<https://doi.org/10.3390/pr9040588>
- [73] Yavuzer, E., Özogul, F., & Özogul, Y. (2020). Impact of icing with potato, sweet potato, sugar beet, and red beet peel extract on the sensory ,chemical, and microbiological changes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets stored at $(3 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C})$. *Aquac. Int.*, 28(1), 187-197.
<https://doi.org/10.1007/s10499-019-00454-7>
- [74] Maqbool, H., Safeena, M. P., Abubacker, Z., Azhar, M., & Kumar, S. (2021). Effect of beetroot peel dip treatment on the quality preservation of Deccan mahseer (Tor khudree) steaks during frozen storage ($-18 \text{ }^{\circ}\text{C}$). *LWT - Food Sci. Technol.*, 151, 112222.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112222>
- [75] Fereydouni, N., Movaffagh, J., Amiri, N., Darroudi, S., Gholoobi, A., Goodarzi, A., . . . Darroudi, M. (2021). Synthesis of nano-fibers containing nano-curcumin in zein corn protein and its physicochemical and biological characteristics. *Sci. Rep.*, 11(1), 1902.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-73678-w>
- [76] Wei, Y., Zhan, X., Dai, L., Zhang, L., Mao, L., Yuan, F., . . . Gao, Y. (2021). Formation mechanism and environmental stability of whey protein isolate-zein core-shell complex nanoparticles using the pH-shifting method. *LWT - Food Sci. Technol.*, 139, 110605.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110605>
- [77] Mattice, K. D., & Marangoni, A. G. (2021). Physical properties of zein networks treated with microbial transglutaminase. *Food Chem.*, 338, 128010.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128010>
- [78] Giteru, S. G., Ali, M. A., & Oey, I. (2021). Recent progress in understanding fundamental interactions and applications of zein. *Food Hydrocoll.*, 120, 106948.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106948>
- [79] Zolfaghari, A., Bazargani-Gilani, B., & Aghajani, N. (2023). Edible film based on corn zein containing dill extract and essential oil/ β -cyclodextrin inclusion complex: Shelf life enhancement of common carp fillet. *Food Sci. Nutr.*, 11(7), 4275-4288.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.3353>
- [80] Motalebinejad, H., Bazargani-Gilani, B., & Pajohi-Alamoti, M. (2023). Corn Zein edible film containing Sumac fruit extract and encapsulated Thymus daenensis Celak essential oil to improving the shelf life of chicken fillet. *J. Food Meas. Charact.*, 17(6), 5989-6002.
<https://doi.org/10.1007/s11694-023-02099-w>
- [81] Rajaei Lak, H., Bazargani-Gilani, B., & Karami, M. (2024). Different coating application methods: Zein-based edible coating containing Heracleum persicum essential oil for shelf-life enhancement of whey-less cheese. *Food Sci. & Nutr.*, 12, 5990-6010.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.4269>
- [82] Rather, J. A., Akhter, N., Ashraf, Q .S., Mir, S. A., Makroo, H. A., Majid, D., . . . Dar, B. (2022). A comprehensive review on gelatin: Understanding impact of the sources, extraction methods, and modifications on potential packaging applications. *Food Packag. Shelf Life.*, 34, 100945.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100945>
- [83] Lu, Y., Luo, Q., Chu, Y., Tao, N., Deng, S., Wang, L., & Li, L. (2022). Application of gelatin in food packaging: A review. *Polym.*, 14(3), 436.
<https://doi.org/10.3390/polym14030436>
- [84] Samatra, M .Y., Noor, N. Q. I. M., Razali, U. H. M., Bakar, J., & Shaarani, S. M. (2022). Bovidae-based gelatin: Extractions method, physicochemical and functional properties, applications, and future trends. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 21, 3153-3176.
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12967>
- [85] Zhang, T., Sun, R., Ding, M., Li, L., Tao, N., Wang, X., & Zhong, J. (2020). Commercial cold-water fish skin gelatin and bovine bone gelatin: Structural, functional, and emulsion stability differences. *LWT - Food Sci. Technol.*, 125, 109207.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109207>
- [86] Nurdiani, R., Ma'rifah, R. D., Busyro, I. K .,Jaziri, A. A., Prihanto, A. A., Firdaus, M., . . . Huda, N. (2022). Physical and functional properties of fish gelatin-based film incorporated with mangrove extracts. *PeerJ*, 10, e13062 . <https://doi.org/10.7717/peerj.13062>



- [87] Badway, H. M., El-Moniem, A., Somia, M., Soliman, A., & Rabie, M. (2019). Physicochemical properties of gelatin extracted from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Nile perch (*Lates niloticus*) fish skins. *Zagazig J. Agric. Res.*, 46(5), 1529-1537. <https://doi.org/10.21608/zjar.2019.48170>
- [88] Lv, L.-C., Huang, Q.-Y., Ding, W., Xiao, X.-H., Zhang, H.-Y., & Xiong, L.-X. (2019). Fish gelatin: The novel potential applications. *J. Funct. Foods*, 63, 103581. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103581>
- [89] Abdelhedi, O., Salem, A., Nasri, R., Nasri, M., & Jridi, M. (2022). Food applications of bioactive marine gelatin films. *Curr. Opin. Food Sci.*, 43, 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.12.005>
- [90] Liu, Y., Kai, Y., & Yang, H. (2023). Biodegradable fish gelatin/chitosan-based active films alter chill-stored golden pomfret (*Trachinotus blochii*) metabolites mainly through modulating four metabolic pathways. *Food Packag. Shelf Life*, 36, 101046. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101046>
- [91] Espitia, P. J. P., Du, W.-X., Avena-Bustillos, R. d. J., Soares, N. d. F. F., & McHugh, T. H. (2014). Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. *Food Hydrocoll.*, 35, 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.005>
- [92] Zhang, X., Chen, X., Dai, J., Cui, H., & Lin, L. (2024). Edible films of pectin extracted from dragon fruit peel: Effects of boiling water treatment on pectin and film properties. *Food Hydrocoll.*, 147, 109324. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109324>
- [93] Jiang, Y., Xu, Y., Li, F., Li, D., & Huang, Q. (2020). Pectin extracted from persimmon peel: A physicochemical characterization and emulsifying properties evaluation. *Food Hydrocoll.*, 101, 105561. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105561>
- [94] Bagabaldo, P. A. A., Atienza, L. M., Castillo-Israel, K. A. T., Estacio, M. A. C., Gaban, P. J. V., Maniawang, J. R. C., . . . Cena-Navarro, R. B. (2022). 'Saba' banana (*Musa acuminata* x *balbisiana* BBB Group) peel pectin supplementation improves biomarkers of obesity and associated blood lipid disorders in obese hypercholesterolemic mice. *Curr. Res. Food Sci.*, 5, 251-260. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2022.01.016>
- [95] Medeiros Silva, V. D., Coutinho Macedo, M. C., Rodrigues, C. G., Neris dos Santos, A., de Freitas e Loyola, A. C., & Fante, C. A. (2020). Biodegradable edible films of ripe banana peel and starch enriched with extract of *Eriobotrya japonica* leaves. *Food Biosci.*, 38, 100750. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100750>
- [96] Jridi, M., Abdelhedi, O., Salem, A., Kechaou, H., Nasri, M., & Menchari, Y. (2020). Physicochemical, antioxidant and antibacterial properties of fish gelatin-based edible films enriched with orange peel pectin: Wrapping application. *Food Hydrocoll.*, 103, 105688. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105688>
- [97] Ramos-Alvarado, M., Cadenas-González, M., Bolio-López, G., Leo-Avelino, G., Maciel-Cerda, A., Castañeda-Castañeda, C., & Ramos-Valencia, J. (2020). Biofilms based on pectin from orange peel (*Citrus sinensis*): Physical, chemical and structural characterization. *Agroind. Sci.*, 10, 273-278. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.03.08>
- [98] Zioga, M., Tsouko, E., Maina, S., Koutinas, A., Mandala, I., & Evageliou, V. (2022). Physicochemical and rheological characteristics of pectin extracted from renewable orange peel employing conventional and green technologies. *Food Hydrocoll.*, 132, 107887. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107887>
- [99] Huang, J., Hu, Z., Hu, L., Li, G., Yao, Q., & Hu, Y. (2021). Pectin-based active packaging: A critical review on preparation, physical properties and novel application in food preservation. *Trends Food Sci. Technol.*, 118, 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.026>
- [100] Ghanbar Soleiman Abadi, F., Bazargani-Gilani, B., Emamifar, A., & Nourian, A. (2024). Beet root peel extract as a natural cost-effective pH indicator and food preservative in edible film: shelf life improvement of cold-stored trout fillet. *Food Sci Nutri.*, 12, 10561-10575. <https://doi.org/10.1002/fsn.4605>