



Food Packaging by Adding Essential Oils and Vegetable Oils in Edible Films and Coatings

Mani Jabbari *, Mitra Jabbari, Mina Jabbari

* Master of Science, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran

(Received: 18/09/2024, Revised: 12/11/2024, Accepted: 25/11/2024, Published: 15/03/2025)

DOR: 20.1001.1.22286675.1403.15.60.7.2

ABSTRACT

Increasing environmental concerns about the use of packaging materials based on petroleum-derived polymers in the food industry have encouraged researchers to produce edible food packaging materials from renewable sources. Edible films and coatings based on biopolymers can be used as biobased packaging materials to increase the shelf life of food products. However, their poor mechanical properties and high permeability to water vapor limit their practical application. In this regard, vegetable oils, as natural additives, have a high potential to overcome some shortcomings related to the performance of food packaging materials. Vegetable oils can improve the antioxidant and antimicrobial properties of packaging. In addition, the combination of vegetable oils can significantly improve the performance of food packaging materials in preserving and improving the quality characteristics of different food products.

Keywords: Biopolymers, Barberry, Olive, Biodegradable

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

Publisher: Imam Hussein University

© Authors



* Corresponding Author Email: mani.jabbari.mp@gmail.com

علمی - ترویجی

بسته‌بندی مواد غذایی با افزودن اسانس و روغن‌های گیاهی در فیلم و پوشش‌های خوراکی

مانی جباری^۱، میترا جباری^۲، مینا جباری^۳

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران، ۲- کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، ۳- کارشناس ارشد بوم‌شناسی آبریان، گروه شیلات، دانشکده علوم دامی شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی ساری، ایران

DOR: 20.1001.1.22286675.1403.15.60.7.2

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲

چکیده

افزایش نگرانی‌های زیست محیطی در مورد استفاده از مواد بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای مشتق شده از نفت در صنایع غذایی، محققان را تشویق به تولید مواد بسته‌بندی مواد غذایی خوراکی از منابع تجدیدپذیر کرده است. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، بر پایه پلیمرهای زیستی می‌توانند به عنوان مواد بسته‌بندی بر پایه زیستی برای افزایش عمر مفید محصولات غذایی استفاده شوند. با این حال، ویژگی‌های مکانیکی ضعیف و نفوذپذیری بالا برای بخار آب، کاربرد عملی آنها را محدود می‌کند. در این راستا، روغن‌های گیاهی، به عنوان افزودنی‌های طبیعی پتانسیل بالایی برای غلبه بر برخی کاستی‌های مربوط به عملکرد مواد بسته‌بندی خوراکی دارند. روغن‌های گیاهی، می‌تواند منجر به بهبود در خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی بسته‌بندی شوند. علاوه بر این، ترکیب روغن‌های گیاهی، می‌تواند به‌طور قابل توجهی عملکرد مواد بسته‌بندی خوراکی را در حفظ و ویژگی‌های کیفی محصولات مختلف غذایی را بهبود بخشد.

کلیدواژه‌ها: پلیمرهای زیستی، زرشک، زیتون، زیست تخریب پذیر

۱- مقدمه

[۳]. با این حال، از آنجایی که این مواد غیرقابل بازیافت هستند، استفاده از آنها می‌تواند منجر به مشکلات زیست محیطی و بهداشتی جدی شود [۴]. در نتیجه، جایگزینی مواد مصنوعی با جایگزین‌های سازگار با محیط زیست بسیار مهم است. در سال‌های اخیر، مطالعات متعدد نشان داده‌اند که مواد بسته‌بندی خوراکی، پتانسیل بالایی برای جایگزینی پلیمرهای بر پایه نفت در صنایع غذایی دارند [۵]. مزیت عمده استفاده از بسته‌بندی‌های خوراکی در صنایع غذایی این است که آنها غیرسمی، قابل بازیافت و سازگار با محیط زیست هستند. بسته‌بندی خوراکی، نه تنها به حفظ کیفیت محصولات غذایی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند تأثیر مثبتی بر ظاهر بصری و مقبولیت مصرف‌کننده محصولات داشته باشد [۶]. علاوه بر این، بسته‌بندی خوراکی را می‌توان با عوامل فعال متعددی مانند آنتی‌اکسیدان‌ها و ضد میکروبی‌ها ترکیب کرد که می‌تواند کیفیت و ایمنی محصولات غذایی را بهبود بخشد [۵].

یکی از چالش‌های مهمی که امروزه صنایع غذایی با آن مواجه است، کاهش تولید روز افزون ضایعات غذایی می‌باشد. در سطح جهان، یک سوم کل مواد غذایی تولید شده، معادل حدود ۱/۳ میلیارد تن، سالانه به هدر می‌رود [۱]. تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۲۵، زباله‌های تولید شده از ۲/۲ میلیارد تن در سال فراتر رود [۲]. بنابراین کاهش ضایعات مواد غذایی، از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا می‌تواند از ضررهای اقتصادی و آلودگی محیط زیست جلوگیری کند.

بسته‌بندی مواد غذایی، یک رویکرد جدید برای به حداقل رساندن هدر رفت مواد غذایی، از طریق محافظت از محصولات غذایی در برابر زوال فیزیکی، شیمیایی و میکروبی ارائه می‌کند. در حال حاضر، پلیمرهای مشتق شده از نفت، مانند پلی اتیلن، پلی پروپیلن و پلی وینیل کلراید، معمولاً در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند

* رایانامه نویسنده مسئول: mani.jabbari.mp@gmail.com

نقش مهمی در خواص بیولوژیکی به آنها دارند. علاوه بر این، نشان داده شده است که ترکیب روغن‌های گیاهی، در این مواد بسته‌بندی تأثیر مثبتی بر خواص مکانیکی، ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی سیستم بسته‌بندی دارد [۱۴، ۱۵، ۱۶].

۲- فیلم‌ها و پوشش‌های بر پایه پلیمرهای زیستی همراه با روغن‌های گیاهی

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به دلیل پایداری و سازگاری با محیط زیست در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته‌اند. اجزای مورد استفاده برای ساخت فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، باید اساساً از نوع مواد غذایی باشند، که نه تنها ماتریس پلیمری، بلکه حلال و سایر افزودنی‌های بالقوه را نیز شامل می‌شود. با وجود این واقعیت که فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی عملکرد یکسانی دارند، نحوه تولید و اعمال آنها کاملاً متفاوت است. از فیلم‌های خوراکی برای بسته‌بندی محصول غذایی استفاده می‌شود، در حالی که پوشش‌های خوراکی روی محصولات غذایی به شکل مایع با استفاده از روش‌های غوطه‌ورسازی یا پاشش اعمال می‌شوند [۱۷]. تفاوت اصلی دیگر بین آنها این است که ضخامت پوشش‌های خوراکی به‌طور کلی کمتر (کمتر از ۰/۳ میلی‌متر) از لایه‌های خوراکی است [۱۵]. برای بسته‌بندی موثر مواد غذایی، فیلم‌های خوراکی به حداقل خواص مکانیکی مانند استحکام کششی (TS^1) برای مقاومت در برابر شکستن، ازدیاد طول در هنگام شکست (EB^2) برای کشش‌پذیری و انعطاف‌پذیری برای خم شدن بدون به خطر انداختن یکپارچگی نیاز دارند. از سوی دیگر، پوشش‌های خوراکی باید در برابر شرایط محیطی مانند رطوبت، تغییرات دما، اکسیداسیون هوا و قرار گرفتن در معرض نور مقاومت نشان دهند. به عنوان مثال، پایداری در برابر اکسیداسیون هوا برای جلوگیری از خراب شدن مواد پوشش، تضمین اثربخشی آنها در حفظ کیفیت مواد غذایی بسیار مهم است. علاوه بر این، مقاومت در برابر قرار گرفتن در معرض نور به جلوگیری از تخریب پوشش کمک می‌کند، که می‌تواند خواص محافظتی آن را از طریق اکسیداسیون نوری، ترکیبات زیست فعال موجود در مواد پوشش به خطر بیندازد. دستیابی به ترکیبی متعادل از الزامات، ذکر شده برای توسعه و کاربرد موفقیت‌آمیز فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی برای بسته‌بندی مواد غذایی بسیار مهم است. برای تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، حداقل سه جزء مورد نیاز است: ۱- حلال (معمولاً آب)، ۲- بیوپلیمر تشکیل دهنده فیلم و ۳- نرم‌کننده. علاوه بر این، برای افزایش عملکرد بسته، مواد افزودنی خاصی در ماتریس

استفاده از پلیمرهای زیستی به عنوان مواد پایه در تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، اخیراً عمدتاً به دلیل قیمت پایین و زیست سازگاری آنها رایج‌تر شده است [۶]. بیوپلیمرها، مواد پلیمری هستند که می‌توانند از گیاهان، حیوانات یا منابع میکروبی به دست آیند. تاکنون بیوپلیمرهای مختلفی با هدف تولید فیلم‌ها یا پوشش‌های خوراکی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این میان پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها رایج‌ترین بیوپلیمرهایی هستند که برای این منظور استفاده می‌شوند. کیتوزان، صمغ‌های گیاهی، سلولز و نشاسته از جمله محبوب‌ترین پلی‌ساکاریدهای مورد استفاده در بسته‌بندی خوراکی هستند، در حالی که رایج‌ترین پروتئین‌های مورد استفاده در بسته‌بندی خوراکی ژلاتین، پروتئین آب پنیر، آلبومین تخم مرغ، کارژین و پروتئین سویا هستند [۷]. علیرغم توانایی خوب آنها در تشکیل فیلم، به دلیل ماهیت آبدوستی‌شان، نفوذپذیری بخار آب بالایی دارند. استراتژی‌های مختلفی می‌تواند برای کاهش نفوذپذیری بخار آب مواد بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای زیستی اعمال شود. در میان آنها، ادغام اجزای آبریز در ماتریس بیوپلیمر، رایج‌ترین است. در این زمینه، اجزای آبریز مانند اسانس‌ها و روغن‌های گیاهی، گزارش شده است که نفوذپذیری بخار آب سیستم‌های بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای زیستی را کاهش می‌دهند [۸]. روغن‌های گیاهی که از انواع مختلف دانه‌ها، میوه‌ها و آجیل‌های حاوی روغن به دست می‌آید، عصاره‌های لیپیدی غنی از اسیدهای چرب هستند. متداول‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده برای استخراج آنها روش‌های استخراج با حلال یا مکانیکی است. از سوی دیگر، اسانس‌ها، عصاره‌های بسیار غلیظی هستند که از قسمت‌های خاص گیاه مانند برگ، گل یا ساقه با استفاده از فرآیندهایی مانند تقطیر با بخار و تقطیر با آب بدست می‌آیند. اسانس‌ها، سرشار از ترکیبات معطر هستند که عطرها و رایحه‌های متمایزی به آنها می‌بخشد. از آنجایی که اسانس‌ها، عموماً دارای عطر شدید هستند، حضور آنها در لایه‌ها و پوشش‌های خوراکی ممکن است، تغییرات نامطلوبی را در کیفیت حسی محصولات غذایی ایجاد کند [۹].

روغن‌های گیاهی، به دلیل نقش مهمی که در بهبود سلامت انسان دارند، بخش مهمی از رژیم غذایی انسان می‌باشند، جدا از اینکه روغن‌های گیاهی، منبع اولیه اسیدهای چرب ضروری (لینولئیک و لینولنیک) هستند، ترکیبات فعال زیستی متعددی در ترکیب خود دارند که مسئول فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی آنها هستند [۱۰]. در حالی که ترکیبات زیست فعال، معمولاً در اسانس‌ها فراوان‌تر هستند، روغن‌های گیاهی خاصی، نیز حاوی مقادیر قابل توجهی از این ترکیبات هستند. به عنوان مثال، توکوفرول‌ها، کاروتنوئیدها، استرول‌ها و ترکیبات فلی موجود در روغن‌های مختلف گیاهی مانند روغن زیتون [۱۱]، دانه انار [۱۲] و روغن کاملیا [۱۳]

¹ Tensile Strength

² Elongation at Break

ماتریس بیوپلیمر تسهیل کند. نوع و مقدار روغن‌های گیاهی، گنجانده شده در فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی نیز می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر تعامل آنها با پلیمرهای زیستی تأثیر بگذارد و در نتیجه بر ویژگی‌های کلی مواد بسته‌بندی توسعه یافته تأثیر بگذارد. به‌دلیل تغییرات در پروفایل اسیدهای چرب، روغن‌های گیاهی، مختلف درجات مختلفی از آب‌گریزی را نشان می‌دهند که می‌تواند بر توانایی آنها برای پراکندگی یکنواخت در ماتریس‌های زیست پلیمری آبدوست تأثیر بگذارد. مقدار روغن‌های گیاهی، اضافه شده به فرمولاسیون با تأثیرگذاری بر عواملی مانند انعطاف‌پذیری، نفوذپذیری و پایداری مواد بسته‌بندی، برهمکنش‌ها را تعدیل می‌کند. مقادیر بیش از حد ممکن است منجر به جداسازی فاز یا به خطر افتادن یکپارچگی ساختاری مواد بسته‌بندی شود، در حالی که مقدار بهینه می‌تواند همگنی را افزایش داده و اثرات هم‌افزایی بین روغن‌های گیاهی و بیوپلیمرها را به حداکثر برساند. نوع پلیمر زیستی نیز عامل مهم دیگری است که می‌تواند بر تعامل آنها با روغن‌های گیاهی، تأثیر بگذارد. بیوپلیمرهای مختلف دارای ویژگی‌های ساختاری و شیمیایی متمایز هستند که می‌تواند بر سازگاری آنها با انواع مختلف روغن‌های گیاهی، تأثیر بگذارد. ماهیت آب دوست یا آب‌گریز بیوپلیمر می‌تواند بر پراکندگی و امولسیون شدن روغن‌های گیاهی در ماتریس تأثیر بگذارد. علاوه بر این، حضور گروه‌های عاملی روی زنجیره‌های پلیمری زیستی ممکن است تعامل با اجزای خاص روغن‌های گیاهی را تسهیل یا مانع شود. به‌طور کلی، درک این فعل و انفعالات برای توسعه فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی موثر که حاوی روغن‌های گیاهی هستند، ضروری است [۱۸].

۴- تأثیر روغن گیاهی بر خواص مختلف بسته‌بندی خوراکی ضخامت

ضخامت لایه، یک پارامتر مهم است که می‌تواند بر سایر ویژگی‌های سیستم بسته‌بندی مانند نفوذپذیری بخار آب (WVP^5) و ویژگی‌های مکانیکی تأثیر بگذارد [۲۲]. به‌طور کلی، افزودن روغن‌های گیاهی، ضخامت مواد بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای زیستی را افزایش می‌دهد. به عنوان مثال، با اضافه کردن روغن‌های زیتون، ذرت، سویا و آفتابگردان به پوشش حاوی کاراگینان، ضخامت پوشش افزایش یافت [۲۳]. در همین راستا، اضافه کردن روغن‌های گیاهی همچون زیتون، ذرت و کلزا باعث افزایش ضخامت فیلم صمغ دانه بارهنگ^۶ شد [۲۴]. افزایش ضخامت لایه‌ها ممکن است به‌دلیل تغییرات ساختاری در ساختار فیلم ناشی از ادغام روغن‌های گیاهی باشد [۲۳].

پلیمر زیستی گنجانده شده است. ترکیبات آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی، رایج‌ترین افزودنی‌هایی هستند که در فرمولاسیون فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی برای نگهداری مواد غذایی استفاده می‌شوند [۱۸].

روغن‌های گیاهی، به‌طور کلی در پخت و پز و فرمولاسیون مواد غذایی استفاده می‌شود. با این حال، اخیراً کاربردهایی به عنوان افزودنی‌های طبیعی در تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی پیدا کرده‌اند، برخی از روغن‌های گیاهی، پتانسیل فعالیت ضد میکروبی در برابر میکروارگانیسم‌های بیماری‌های مختلف غذایی مانند استافیلوکوکوس اورئوس^۱، سالمونلا انتریکا^۲، اشریشیا کلی^۳ و لیستریا مونوسیتوژنز^۴ را دارند [۱۹]. علاوه بر این، روغن‌های گیاهی، می‌توانند حاوی ترکیبات فعال بیولوژیکی متعددی مانند پلی‌فنل‌ها، توکوفرول‌ها و فلاونوئیدها باشند که می‌توانند خواص آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی را به مواد بسته‌بندی منتقل کنند [۱۰، ۲۰]. رایج‌ترین روغن‌های گیاهی، مورد استفاده در فرمولاسیون مواد بسته‌بندی خوراکی روغن زیتون، آفتابگردان، ذرت و کانولا می‌باشد روغن‌های گیاهی، را می‌توان به فیلم‌ها و پوشش‌های بر پایه پلیمرهای زیستی یا از طریق فناوری امولسیفیکاسیون یا با لمینیت کردن فیلم‌ها با یک لایه روغن اضافه کرد [۲۱]. در روش امولسیون‌سازی، روغن‌های گیاهی در محلول آبی پلیمری حاوی سورفکتانت‌های مناسب برای تشکیل امولسیون‌های پایدار پراکنده و همگن می‌شوند. روش دیگر امولسیون‌سازی، ابتدا شامل تهیه امولسیون روغن‌های گیاهی با یک سورفکتانت مناسب و سپس اختلاط بعدی این امولسیون با محلول آبی پلیمری است. امولسیون زیست پلیمر روغن‌های گیاهی حاصل از هر دو روش، سپس به عنوان محلول پوششی یا برای تولید یک فیلم خوراکی استفاده می‌شود [۱۸].

۳- روغن‌های گیاهی و فعل و انفعالات پلیمرهای زیستی

فعل و انفعالات بین روغن‌های گیاهی و پلیمرهای زیستی در فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، می‌تواند نقش مهمی در تعیین خواص و عملکرد کلی مواد بسته‌بندی داشته باشد. این فعل و انفعالات شامل سازگاری مولکولی بین ماهیت آب‌گریز روغن‌های گیاهی و ویژگی‌های آب دوست بیوپلیمرها است. در این راستا، ترکیب سورفکتانت‌های مناسب می‌تواند، پراکندگی و همگن‌سازی روغن‌های گیاهی را در

¹ Staphylococcus aureus

² Salmonella enterica

³ Escherichia coli

⁴ Listeria monocytogenes

⁵ water vapor permeability

⁶ Plantago major

[۲۵]. کیتوزان [۲۹]، ژلاتین [۳۲] و آلبومین [۳۳] را افزایش داد. محققان گزارش کردند که ازدیاد طول در هنگام شکست فیلم بر پایه صمغ دانه بارهنگ با ترکیب انواع مختلف روغن‌های گیاهی از جمله کلزا، ذرت و زیتون به‌طور قابل توجهی افزایش یافت که این مشاهدات را می‌توان به اثر روغن‌های گیاهی بر روی فیلم‌های مبتنی بر پلیمرهای زیستی نسبت داد [۲۴].

۴-۲- حلالیت در آب

یافته‌های قبلی نشان داد که ادغام روغن‌های گیاهی در فیلم‌های خوراکی، حلالیت آب آنها را کاهش می‌دهد. به عنوان مثال، محققین، مشاهده کردند که حلالیت آب فیلم عربی کنجاک گلوکومانان/آگار/صمغ^۱ به‌طور قابل توجهی با افزایش غلظت روغن نارگیل کاهش یافت که از ۴۵/۲٪ (شاهد) تا ۲۳/۱٪ با افزودن ۰/۶٪ (وزنی/وزنی) تغییر کرد [۱۴]. اثر مشابهی در مطالعه دیگری مشاهده شد که در آن روغن بذر کتان با غلظت ۲ درصد (حجمی/حجمی) به فیلم کیتوزان اضافه و کاهش قابل توجهی در حلالیت آب فیلم از ۵۵/۵٪ به ۳۵٪ مشاهده شد [۳۴]. محققان گزارش دادند که ادغام ۲٪ (حجمی/حجمی) روغن دانه آفتابگردان به فیلم بر پایه نشاسته منجر به کاهش ۳۴/۸٪ در حلالیت آب فیلم شد [۳۵]. بنابراین، روغن‌های گیاهی را می‌توان به عنوان افزودنی‌های بالقوه برای افزایش آب‌گریزی فیلم‌ها و پوشش‌های مبتنی بر پلیمرهای زیستی در نظر گرفت.

۴-۳- نفوذپذیری بخار آب (WVP)

مواد بسته‌بندی خوراکی، نقش مهمی در تعیین کیفیت و ایمنی محصولات غذایی در طول ذخیره‌سازی دارد [۳۶]. یکی از عملکردهای کلیدی مواد بسته‌بندی خوراکی، به حداقل رساندن انتقال بخار آب بین محیط اطراف و مواد غذایی است. بنابراین، بررسی نفوذپذیری بخار آب آنها قبل از کاربرد آنها برای بسته‌بندی مواد غذایی حیاتی است. به‌طور کلی، مواد بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای زیستی به‌دلیل خاصیت آبدوستی خود مقاومت محدودی در برابر بخار آب دارند [۳۷، ۳۰]. بنابراین، افزودن ترکیبات آبریز، به ماتریس پلیمری برای کاهش انتقال بخار آب از طریق فیلم مورد نیاز است. اثر افزودن روغن گیاهی بر نفوذپذیری بخار آب فیلم‌های خوراکی در چندین مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است و یافته‌های متفاوتی مشاهده شده است به عنوان مثال، نفوذپذیری بخار آب فیلم بر پایه ایزوله پروتئین آب پنیر همراه با روغن آفتابگردان به‌طور قابل

با این وجود، باید توجه داشت که افزایش ضخامت فیلم، همیشه به غلظت روغن‌های گیاهی اعمال شده بستگی ندارد. به عنوان مثال، محققین دریافتند که ضخامت لایه بر اساس نشاسته/کیتوزان پس از افزودن روغن زیتون به میزان ۲ درصد (وزنی/وزنی) به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. با این حال، افزایش بیشتر در غلظت روغن زیتون (تا ۵٪ وزنی/وزنی) بطور قابل توجهی بر ضخامت فیلم تأثیر نمی‌گذارد [۲۵]. از سوی دیگر، برخی مطالعات نیز نشان داده‌اند، که افزودن روغن‌های گیاهی به‌طور قابل توجهی بر ضخامت فیلم تأثیر نمی‌گذارد. به عنوان مثال، محققان این پدیده را در فیلم نشاسته پس از افزودن روغن نارگیل مشاهده کردند [۲۶]. این نتایج نشان می‌دهد که اثر افزودن روغن‌های گیاهی بر ضخامت فیلم بسته به ترکیب ماتریس فیلم می‌تواند بسیار متفاوت باشد.

۴-۱- خواص مکانیکی

خواص مکانیکی خوب، برای فیلم‌های خوراکی ضروری است، زیرا استحکام مکانیکی و انعطاف‌پذیری ضعیف می‌تواند منجر به شکستن شبکه فیلم در حین ذخیره‌سازی یا حمل و نقل مواد غذایی بسته‌بندی شود. خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی، عمدتاً توسط ازدیاد طول در هنگام شکست و استحکام کششی آنها تعیین می‌شود. ازدیاد طول در هنگام شکست قابلیت کشش و انعطاف فیلم را نشان می‌دهد، در حالی که استحکام کششی قدرت فیلم را در برابر تنش نشان می‌دهد. ازدیاد طول در هنگام شکست و استحکام کششی بسیار تحت تأثیر ساختار شیمیایی و ترکیب فیلم‌ها هستند [۲۷]. مطالعات نشان داده است که افزودن روغن‌های گیاهی در فیلم‌های خوراکی اثرات متفاوتی بر خواص کششی آنها دارد. به عنوان مثال، افزودن روغن کلزا، استحکام کششی فیلم خوراکی بر پایه پروتئین آب پنیر را بهبود بخشید [۲۸]. به‌طور مشابه، افزودن روغن زیتون باعث بهبود استحکام کششی فیلم ساخته شده از کیتوزان شد [۲۹]. این اثر می‌تواند به‌دلیل واکنش‌های پیوند متقابل بین پلیمر زیستی و روغن اعمال شده باشد که باعث کاهش حجم آزاد و تحرک مولکولی فیلم می‌شود [۲۹، ۲۸]. با این حال، ترکیب روغن کلزا، استحکام کششی یک فیلم بر پایه پروتئین سویا را کاهش داد [۳۰]. همچنین روغن زیتون، استحکام کششی، فیلم نشاسته سیب زمینی را کاهش داد [۳۱]. بنابراین، تغییرات در استحکام کششی پلیمرهای زیستی، ناشی از افزودن روغن‌های گیاهی به شدت به نوع و سطح افزودن بیوپلیمر و روغن‌های گیاهی بستگی دارد. از سوی دیگر، نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که افزودن روغن‌های گیاهی موجب شده است که ازدیاد طول در هنگام شکست فیلم‌های بر پایه پلیمرهای زیستی را افزایش می‌دهد، به عنوان مثال، افزودن روغن زیتون، ازدیاد طول در هنگام شکست فیلم‌های خوراکی بر پایه نشاسته/کیتوزان

^۱ Konjac Glucomannan/Agar/Gum Arabic

^۲ Water Vapor Permeability

نفوذپذیری اکسیژن فیلم بر پایه نشاسته ذرت/ آلژینات سدیم/ صمغ عربی شد [۳۷]. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که نفوذپذیری اکسیژن بر روی فیلم‌ها به شدت به ترکیب و نوع زیست پلیمر بستگی دارد.

۴-۵- عبور نور فرابنفش

خاصیت مانع فرابنفش (UV) مواد بسته‌بندی می‌تواند، نقش مهمی در محافظت از غذاها در برابر خراب شدن مواد تشکیل دهنده آنها داشته باشد. نور فرابنفش، می‌تواند تجزیه مواد غذایی را از طریق واکنش‌های فتوشیمیایی تسریع کند [۱۶]. بنابراین، توسعه مواد بسته‌بندی مواد غذایی با ظرفیت بالای مسدود کننده اشعه ماوراء بنفش می‌تواند به حداقل رساندن افت کیفیت غذاهای بسته‌بندی شده کمک کند. توانایی مانع نور فرابنفش مواد بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای زیستی تا حد زیادی به نوع پلیمر و همچنین وجود مواد مسدود کننده نور فرابنفش مانند نانو مواد و پلی‌فنول‌ها در فرمول فیلم بستگی دارد [۴۲]. محققان گزارش کردند که فیلم ژلاتینی ترکیب شده با روغن نارگیل، توانایی محافظت در برابر اشعه ماوراء بنفش بسیار بالاتری نسبت به فیلم ژلاتینی خالص دارد، که به توانایی جذب نور فرابنفش ترکیبات آنتی اکسیدانی موجود در روغن نارگیل نسبت دادند [۴۳]. نتیجه مشابهی برای فیلم‌های ژلاتینی با افزودن روغن زیتون [۳۲]، روغن کاملیا [۱۵] و روغن ذرت [۴۴] مشاهده شد. محققان مشاهده کردند که فیلم نشاسته حاوی روغن زیتون دارای خاصیت مانعی در برابر نور فرابنفش بالاتر از فیلم نشاسته به تنهایی است [۳۱]. محققین دریافتند که توانایی مانع تابش اشعه ماوراء بنفش در لایه آلژینات، زمانی که فیلم با روغن آفتابگردان یا بذر کتان پوشانده شود، به‌طور قابل توجهی بهبود یافته است [۳]. روغن‌های گیاهی، معمولاً حاوی ترکیبات پلی‌فنلی مختلفی هستند که می‌توانند به عنوان مسدود کننده نور فرابنفش عمل کرده و خواص محافظتی فیلم در برابر اشعه ماوراء بنفش را بهبود بخشند [۴۲، ۴۵]. بنابراین می‌توان آنها را به عنوان مواد بالقوه مانع نور فرابنفش برای کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی در نظر گرفت.

۴-۶- خواص نوری

خواص نوری مواد بسته بندی مواد غذایی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر ظاهر بصری محصول و همچنین قصد خرید مصرف کنندگان داشته باشد. این خواص می‌تواند نقش مهمی در محافظت از محصولات غذایی در برابر زوال ناشی از نور داشته باشد [۴۹]. بنابراین ارزیابی این خواص در توسعه مواد بسته‌بندی مواد غذایی از اهمیت بالایی برخوردار است. رنگ و شفافیت از مهمترین خواص نوری مواد

توجهی کمتر از فیلم بدون روغن بود [۳۸]. کاهش نفوذپذیری بخار آب، در نتیجه افزودن روغن‌های گیاهی در انواع دیگر پلیمرهای زیستی مانند کیتوزان [۲۹]، ایزوله پروتئین سویا [۳۰]، نشاسته [۳۹] و ژلاتین [۱۵] نیز مشاهده شد. روغن‌های گیاهی، به عنوان اجزای آبریز، می‌توانند نفوذپذیری بخار آب فیلم‌ها را با افزایش آبریزی فیلم و ایجاد پیچ‌خوردگی در مسیری که مولکول‌های آب برای نفوذ به فیلم طی می‌کنند، کاهش دهند [۲۱]. با این وجود، نوع و غلظت روغن گیاهی، نیز عوامل مهمی هستند که می‌توانند بر نفوذپذیری بخار آب فیلم‌ها تأثیر بگذارند. به عنوان مثال، محققان دریافتند که روغن ذرت نسبت به روغن کانولا و زیتون در کاهش نفوذپذیری بخار آب یک فیلم، بر پایه صمغ دانه بارهنگ موثرتر است [۲۴]. در مطالعه دیگری، مشخص شد که روغن گردو نسبت به روغن بادام تأثیر بیشتری بر کاهش نفوذپذیری بخار آب لایه‌های بر پایه پروتئین آب پنیر داشت [۴۰]. محققان گزارش دادند که نفوذپذیری بخار آب یک فیلم حاوی پروتئین سویا با افزایش غلظت روغن بذر کتان در فرمول فیلم از ۱٪ به ۳٪ (وزنی/وزنی) افزایش یافت. با این حال، افزایش بیشتر در غلظت روغن (تا ۱۰٪، وزنی/وزنی) به‌طور قابل توجهی نفوذپذیری بخار آب فیلم را کاهش داد [۴۱]. با توجه به این یافته‌ها، انتخاب نوع و غلظت روغن گیاهی بهینه برای فرموله کردن مواد بسته‌بندی خوراکی با نفوذپذیری بخار آب مورد نظر ضروری است.

۴-۴- نفوذپذیری اکسیژن (OP)

اکسیداسیون با از بین بردن مواد مغذی ماکرو/میکرو و تولید طعم‌های بد، باعث از دست دادن کیفیت غذاها می‌شود، بنابراین، توسعه مواد بسته‌بندی با نفوذپذیری اکسیژن ایده‌آل در محافظت از محصولات غذایی در برابر فساد مهم است. به عنوان مثال، افزودن روغن دانه آفتابگردان، نفوذپذیری اکسیژن یک فیلم بر پایه نشاسته ماش/صمغ گوار را افزایش داد [۳۵]. به‌طور مشابه، فیلم‌های ایزوله پروتئین آب پنیر در هنگام غنی‌سازی با روغن گردو یا بادام، افزایش قابل توجهی در نفوذپذیری اکسیژن نشان دادند [۴۰]. این مشاهدات را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که، اکسیژن یک مولکول غیرقطبی است و بنابراین، حلالیت آن در فیلم‌های حاوی روغن بیشتر از فیلم‌های بدون افزودن روغن است [۳۵]. با این وجود، کاهش قابل توجهی در نفوذپذیری اکسیژن فیلم ایزوله پروتئین آب پنیر پس از افزودن روغن دانه آفتابگردان مشاهده شد [۳۸]. به‌طور مشابه، محققین گزارش کردند که افزودن روغن نارگیل باعث کاهش

به عنوان مثال، ترکیب روغن هسته انگور در ماتریس صمغ گالاتومانان/انتان شنبلیله دمای ذوب و دمای انتقال فیلم را کاهش داد [۲۲]. همین نتیجه، برای فیلمی بر پایه صمغ بذر اصلی بارهنگ که با روغن‌های گیاهی، مختلف از جمله کلزا، ذرت و زیتون ترکیب شده است، مشاهده شد [۲۴]. محققان دریافتند که افزودن روغن زیتون به فیلم سلولز کربوکسی متیل سلولز/باکتری بر پایداری حرارتی آن تأثیر منفی می‌گذارد، زیرا کاهش وزن فیلم با روغن زیتون بیشتر از فیلم کنترل در آنالیز گرما وزنی مشاهده شد [۴۷]. این نتایج ممکن است به دلیل این واقعیت باشد که افزودن روغن‌های گیاهی، به عنوان مواد آبریز، باعث افزایش حجم آزاد در ساختار فیلم می‌شود و در نتیجه منجر به اختلال در پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی در بین زنجیره‌های پلیمری می‌شود [۲۶]. در مطالعه‌ای دیگر مشاهده شد که پایداری حرارتی فیلم کربوکسی متیل سلولز تقویت شده با نانوذرات اکسید روی پس از افزودن روغن دانه زیره سیاه به‌طور قابل توجهی بهبود یافته است. آنها این یافته را به افزایش فعل و انفعالات بین مولکولی بین اجزای فیلم نسبت دادند [۴۸]. چندین مطالعه دیگر، بهبود پایداری حرارتی را به دنبال افزودن روغن‌های گیاهی به بیوپلیمرهای مختلف مانند فیلم‌های ژلاتین [۴۴، ۳۲] و کیتوزان [۳۴] گزارش کرده‌اند.

۴-۸- خواص آنتی اکسیدانی

واکنش‌های اکسیداسیون در محصولات غذایی، می‌تواند منجر به تشکیل ترکیباتی شود که کیفیت محصول را کاهش داده و بر خواص حسی محصول تأثیر منفی می‌گذارد. مواد بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای زیستی با ظرفیت آنتی اکسیدانی می‌توانند به تأخیر در اکسیداسیون محصولات غذایی کمک کنند. بخش غیر صابونی روغن‌های گیاهی، ممکن است حاوی انواع ترکیبات فعال بیولوژیکی باشد که می‌توانند فعالیت آنتی اکسیدانی داشته باشند [۲۰]. تحقیقات اخیر نشان داده است که ترکیب روغن‌های گیاهی در بسته‌بندی‌های خوراکی باعث ایجاد فعالیت آنتی اکسیدانی می‌شود [۳۴، ۵۰، ۱۵، ۴۸]. به عنوان مثال، فعالیت آنتی اکسیدانی فیلم کیتوزان از ۸/۵۴٪ به ۳۰/۹۹٪ با افزودن ۱/۶٪ (حجمی/حجمی) روغن دانه زرشک^۳ به فیلم افزایش یافت [۵۰]. به‌طور مشابه، دیگر محققان مشاهده کردند که فعالیت آنتی اکسیدانی فیلم کیتوزان از ۱۶/۰۹٪ به ۲۳/۷۴٪ افزایش یافت زیرا غلظت روغن بذرتان در فیلم از صفر به ۲٪ (حجمی/حجمی) افزایش یافت [۳۴]. ظرفیت آنتی اکسیدانی روغن‌های گیاهی، بسته به ترکیب شیمیایی آنها

بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای زیستی است. رنگ فیلم‌ها به‌طور کلی با استفاده از پارامترهای رنگ a^* ، b^* و اختلاف رنگ کل بیان می‌شود، که اندازه‌گیری تغییر رنگ است که براساس مقادیر پارامترهای رنگ محاسبه می‌شود [۳۵]. مقدار شفافیت، که اغلب به عنوان کدورت نامیده می‌شود، نیز با تقسیم جذب فیلم در ۶۰۰ نانومتر بر ضخامت آن محاسبه می‌شود [۱۵].

ترکیب روغن‌های گیاهی، معمولاً باعث می‌شود فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی رنگی و کمتر شفاف شوند، به عنوان مثال، ترکیب روغن گردو و بادام باعث افزایش کدورت و تفاوت رنگ کل فیلم بر اساس ایزوله پروتئین آب پنیر شد [۴۰]. افزایش تفاوت رنگ کل و کدورت ناشی از ترکیب روغن‌های گیاهی در مطالعات دیگر روی فیلم‌های پروتئین سویا [۳۰]، آلبومین [۳۳] و ژلاتین [۱۵] نیز مشاهده شد. افزایش تفاوت رنگ کل لایه‌ها در نتیجه افزودن روغن را می‌توان به انواع مختلف رنگدانه‌ها (مانند کلروفیل‌ها) موجود در روغن‌های گیاهی نسبت داد [۲۴]. علاوه بر این، افزایش شفافیت لایه‌های حاصل از افزودن روغن‌های گیاهی را می‌توان با اثر پراکندگی نور قطرات روغن پراکنده در شبکه پلیمری زیستی شرح داد [۲۹]. با این حال، برخی از مطالعات کاهش مقدار کدورت در فیلم‌های خوراکی را در پاسخ به افزودن روغن‌های گیاهی گزارش کردند. به عنوان مثال، محققین دریافتند که افزودن روغن قهوه، باعث کاهش شفافیت یک فیلم بر پایه نشاسته ذرت می‌شود [۱۶]. به همین ترتیب، محققان مشاهده کردند که کدورت یک فیلم بر پایه صمغ گالاتومانان/انتان شنبلیله پس از افزودن روغن هسته انگور اندکی کاهش یافت [۲۲]. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار کدورت فیلم‌ها تا حد زیادی به ترکیب شیمیایی و سطح افزودن روغن‌های گیاهی و همچنین نوع پلیمر زیستی بستگی دارد [۳۰].

۴-۷- خواص حرارتی

خواص حرارتی مواد بسته‌بندی نشان دهنده توانایی آنها در تحمل شرایط گرمایشی است. تجزیه و تحلیل ترموگراویمتری^۱ (آنالیز گرما وزنی تکنیکی است که در آن جرم a ماده به عنوان تابعی از دما یا زمان نظارت می‌شود زیرا نمونه تحت یک برنامه دمای کنترل شده در یک جو کنترل شده قرار می‌گیرد). و کالریمتری اسکن تفاضلی^۲ (یک تکنیک حرارتی تحلیلی است که در آن تفاوت در مقدار حرارت مورد نیاز برای افزایش دمای نمونه و مرجع به عنوان تابعی از دما اندازه‌گیری می‌شود) اغلب برای ارزیابی پایداری حرارتی مواد بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۶].

¹ Thermogravimetric

² Differential Scanning Calorimetry (DSC)

³ Berberis crataegina

۵- برنامه‌های غذایی

روغن‌های گیاهی، را می‌توان به عنوان افزودنی‌های طبیعی و ایمن برای بهبود عملکرد فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی در افزایش ماندگاری محصولات غذایی استفاده کرد. ادغام روغن‌های گیاهی در مواد بسته‌بندی خوراکی به حفظ ایمنی و کیفیت آنها کمک کرد. این نتایج را می‌توان به راحتی به بهبود خواص ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی مواد بسته بندی خوراکی در نتیجه افزودن روغن‌های گیاهی نسبت داد.

۶- میوه‌ها و سبزیجات

میوه‌ها و سبزیجات به دلیل ماهیت بسیار فاسد شدنی، ماندگاری محدودی دارند. بنابراین، بهبود عملکرد فیلم‌ها و پوشش‌های بر پایه پلیمرهای زیستی برای نگهداری این مواد غذایی برای صنایع غذایی اهمیت زیادی دارد. محققان تأثیر فیلم بر پایه کنجک گلوکومانان/آگار/صمغ عربی حاوی روغن نارگیل را بر ویژگی‌های کیفی خیارهای نگهداری شده در یخچال به مدت ۱۲ روز بررسی کرد، نتایج نشان داد که کاهش وزن و کاهش سفتی نمونه‌های بسته‌بندی شده در فیلم حاوی روغن نارگیل به‌طور قابل توجهی کمتر از نمونه‌های بسته‌بندی نشده و نمونه‌های بسته‌بندی شده در فیلم بدون روغن نارگیل بود [۱۴]. محققان استفاده از پوشش کربوکسی متیل سلولز ترکیب شده با روغن هسته انار روی توت فرنگی را گزارش کردند و مشاهده شد که افزودن روغن هسته انار به پوشش به کاهش وزن و حفظ ترکیبات فنلی توت‌فرنگی در طول نگهداری به مدت ۱۶ روز در شرایط یخچال کمک کرد [۵۷]. محققین، تأثیر پوشش کیتوزان با روغن دانه چای را بر ویژگی‌های کیفی میوه گلابی در طول مدت نگهداری به مدت ۲۱ روز در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مورد مطالعه قرار داد. نمونه‌های پوشش داده شده با کیتوزان حاوی روغن دانه چای در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش و نمونه‌های پوشش داده شده با کیتوزان به تنهایی، نرخ تنفس کمتر، مواد جامد محلول کل بالاتر و مقاومت بیشتری در برابر پوسیدگی قارچی نشان دادند [۵۸]. در مطالعه دیگری، میوه گلابی با پوشش ایزوله پروتئین سویا حاوی روغن زیتون پوشانده شد، محققان مشاهده کردند که افزایش غلظت روغن زیتون در پوشش منجر به کاهش، کاهش وزن میوه گلابی پس از نگهداری در دمای محیط به مدت ۵ روز شد [۵۹]. در مطالعه دیگری، اثر پوشش ایزوله پروتئین آب پنیر ترکیب شده با روغن سبوس برنج را بر ویژگی‌های کیفی کیوی طی ۲۸ روز نگهداری در یخچال ارزیابی شد. نتایج نشان داد که ادغام روغن سبوس برنج در پوشش به کاهش، کاهش وزن و حفظ خواص حسی نمونه در طول نگهداری کمک می‌کند [۶۰].

می‌تواند بسیار متفاوت باشد. با این حال، فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده شده آنها عمدتاً به وجود ترکیبات فنلی و استرول‌ها در ترکیب شیمیایی آنها نسبت داده می‌شود [۵۱]. این ترکیبات زیست فعال می‌توانند از طریق مکانیسم‌های مختلفی برای خنثی کردن رادیکال‌های آزاد، مهار واکنش‌های اکسیداسیون و حفظ کیفیت و ویژگی‌های حسی محصولات غذایی در فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی عمل کنند.

۴-۹- خواص ضد میکروبی

بسته‌بندی ضد میکروبی، می‌تواند با محدود کردن رشد میکروبی به بهبود ایمنی غذاهای بسته‌بندی شده کمک کند. از این نظر، ترکیب افزودنی‌هایی که فعالیت‌های ضد میکروبی را نشان می‌دهند در مواد بسته‌بندی خوراکی یک رویکرد امیدوارکننده برای به دست آوردن محصولات غذایی عاری از نگهدارنده‌های مصنوعی است. تحقیقات اخیر نشان داده است که ترکیب روغن‌های گیاهی، توانایی ضد میکروبی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی را در برابر میکروارگانیسم‌های مختلف بهبود می‌بخشد، فیلم‌های خوراکی مختلف، حاوی روغن‌های گیاهی، مختلف، رشد این میکروارگانیسم‌ها را به میزان‌های متفاوتی کاهش دادند، به عنوان مثال، محققان، فعالیت ضد میکروبی فیلم‌های ترکیبی کیتوزان-زیتون/ذرت/روغن آفتابگردان را در برابر باکتری‌های بیماری‌زای مختلف منتقله از غذا و انسان ارزیابی کرد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که فیلم کیتوزان مخلوط شده با روغن زیتون یا روغن آفتابگردان فعالیت ضد میکروبی بالاتری نسبت به فیلم کیتوزان مخلوط شده با روغن ذرت از خود نشان می‌دهد [۵۲]. روغن‌های گیاهی، حاوی ترکیبات فعال بیولوژیکی متعددی هستند که می‌توانند به عنوان عوامل ضد میکروبی با نفوذ به سلول میکروبی، آسیب رساندن به یکپارچگی ساختاری سلول و تحریک نشت محتویات سلولی عمل کنند [۵، ۱۰]. فعالیت ضد میکروبی روغن‌های گیاهی، با طیف متنوعی از ترکیبات فعال زیستی مانند پلی‌فنل‌ها، کاروتنوئیدها و توکوفرول‌ها در ترکیب شیمیایی آنها مرتبط است [۵۳]. با این حال، توجه به این نکته مهم است که ترکیب اسیدهای چرب نیز می‌تواند بر خواص ضد میکروبی روغن‌های گیاهی تأثیر بگذارد [۵۴]. در بیشتر مطالعات، افزایش غلظت روغن‌های گیاهی در فرمولاسیون فیلم منجر به افزایش فعالیت بازدارندگی فیلم‌ها شد [۳۴، ۵۵، ۵۶، ۲۶، ۱۵]. محققان، تأثیر افزودن روغن ذرت بر فعالیت ضد قارچی فیلم ژلاتینی ترکیب شده با نانوکیتین را در برابر اسپروئیلوس ارزیابی کردند، نتایج نشان داد که فعالیت ضد قارچی فیلم پس از افزودن روغن ذرت مهار شد [۴۴].

قبل، افزودن روغن‌های گیاهی به مواد بسته‌بندی خوراکی به‌طور قابل توجهی به حداقل رساندن فرایندهای زوال در محصولات غذایی کمک می‌کند. با این حال، استفاده از روغن‌های گیاهی از فیلم‌ها و پوشش‌ها به محصولات غذایی باید بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که ویژگی‌های حسی غذاهای بسته‌بندی شده تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند. به‌طور کلی، روغن‌های گیاهی پتانسیل زیادی را به عنوان افزودنی‌های طبیعی برای بهبود عملکرد مواد بسته‌بندی خوراکی نشان می‌دهند.

۹- مراجع

- [1] FAO. The State of Food and Agriculture 2019. Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction; FAO: Rome, Italy, 2019.
- [2] T. Senturk Parreidt, K. Müller, and M. Schmid, "Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications," *Foods*, 17;7(10):170. 2018, doi: 10.3390/foods7100170.
- [3] N. Nehchiri, S. Amiri, and M. Radi, "Improving the water barrier properties of alginate packaging films by submicron coating with drying linseed oil. Packag.," *Technol. Sci.* 34, 283–295. 2021, doi.org/10.1002/pts.2558.
- [4] V. Gupta, D. Biswas, and S. Roy, "A comprehensive review of biodegradable polymer-based films and coatings and their food packaging applications," *Materials* 15, 5899, 2022, doi.org/10.3390/ma15175899.
- [5] F. Shahidi, and A. Hossain, "Preservation of aquatic food using edible films and coatings containing essential oils: A review," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 62, 66–105. 2020, doi: 10.1080/10408398.2020.1812048
- [6] A.M. Ribeiro, B.N. Estevinho, and F. Rocha, "Preparation and incorporation of functional ingredients in edible films and coatings," *Food Bioprocess Technol.* 14, 209–231. 2021, doi.org/10.1007/s11947.
- [7] P. Sharma, V.P. Shehin, N. Kaur, and P. Vyas, "Application of edible coating on fresh and minimally processed vegetables: A review," *Int. J. Veg. Sci.* 25, 295–314, 2019, doi.org/10.1080/19315260.2018.1510863.
- [8] U. Amin, M.U. Khan, Y. Majeed, M. Rebezov, M. Khayrullin, E. Bobkova, M.A. Shariati, I.M. Chung, and M. Thiruvengadam, "Potentials of polysaccharides, lipids and proteins in biodegradable food packaging applications," *Int. J. Biol. Macromol.* 183, 2184–2198, 2021, doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.182.
- [9] A. Manzoor, B. Yousuf, J.A. Pandith, and S. Ahmad, "Plant-derived active substances incorporated as antioxidant, antibacterial or antifungal components in coatings/films for food packaging applications," *Food Biosci.* 53, 102717, 2023, doi:10.1016/j.fbio.2023.102717.
- [10] R. Delshadi, A. Bahrami, A.G. Tafti, F.J. Barba, and L.L. Williams, "Micro and nano-encapsulation of vegetable and essential oils to develop functional food products with improved nutritional profiles," *Trends Food Sci. Technol.* 104, 72–83, 2020, doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.004.
- [11] C. Jimenez-Lopez, M. Carpena, C. Lourenço-Lopes, M. Gallardo-Gomez, J.M. Lorenzo, F.J. Barba, M.A. Prieto, and J. Simal-Gandara, "Bioactive compounds and quality of extra virgin olive oil," *Foods* 9, 1014, 2020, doi: 10.3390/foods9081014.
- [12] T. Kaseke, U.L. Opara, and O.A. Fawole, "Effects of enzymatic pretreatment of seeds on the physicochemical properties, bioactive compounds, and antioxidant activity of pomegranate seed oil," *Molecules* 26, 4575, 2021, doi: 10.3390/molecules26154575.
- [13] L. Zhang, S. Wang, R. Yang, J. Mao, J. Jiang, X. Wang, W. Zhang, Q. Zhang, and P. Li, "Simultaneous determination of tocopherols, carotenoids and phytosterols in edible vegetable oil by ultrasound-assisted saponification, LLE and LC-MS/MS," *Food Chem.* 289, 313–319. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.067.

محققان، تأثیر پوشش ایزوله پروتئین آب پنیر حاوی روغن زیتون را بر ویژگی‌های کیفی آناناس تازه برش داده شده در شرایط یخچال به مدت ۸ روز ارزیابی کردند. مشخص شد که ترکیب پوشش ایزوله پروتئین آب پنیر با روغن زیتون در حفظ اسید اسکوربیک و محتوای فنل کل نمونه موثرتر از پوشش ایزوله پروتئین آب پنیر خالص بود [۶۱].

۷- فرآورده‌های گوشتی

گوشت و فرآورده‌های گوشتی مواد غذایی فاسد شدنی هستند که در شرایط نگهداری و حمل و نقل نامناسب به سرعت فاسد می‌شوند. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی همراه با افزودنی‌های کاربردی، پتانسیل زیادی برای به حداقل رساندن فرایندهای زوال در این محصولات فراهم می‌کنند. در مطالعه‌ای، از یک پوشش گلوکومانان/کاراگینان ترکیب شده با روغن کاملیا برای بهبود کیفیت گوشت مرغ در طول مدت نگهداری به مدت ۱۰ روز در شرایط یخچال استفاده شد. در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش و نمونه‌های پوشش داده شده با پوشش بر پایه گلوکومانان/کاراگینان، نمونه‌های پوشش داده شده با پوشش گلوکومانان/کاراگینان حاوی روغن کاملیا، pH کمتر، کاهش وزن، نیتروژن کل فرار، مواد واکنش دهنده تیوباربیتوریک اسید در طول ذخیره‌سازی حساب می‌شود. علاوه بر این، مشخص شد که ویژگی‌های حسی گوشت مرغ تحت تأثیر، افزودن روغن کاملیا به پوشش قرار نمی‌گیرد [۶۲].

۸- نتیجه‌گیری

به عنوان یک جایگزین پایدار برای پلیمرهای مصنوعی، مواد بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای زیستی در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. با این حال، در مقایسه با پلاستیک‌های معمولی، پلیمرهای زیستی به تنهایی خواص تشکیل فیلم ضعیفی دارند. در این زمینه، ترکیب بیوپلیمرها با روغن‌های گیاهی یک استراتژی امیدوارکننده برای بهبود عملکرد مواد بسته‌بندی خوراکی به نظر می‌رسد. ترکیب روغن‌های گیاهی در بسته‌بندی‌های خوراکی به‌طور کلی باعث بهبود قابلیت سدسازی (بخار آب، اکسیژن و نور فرابنفش) و خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی می‌شود و در عین حال استحکام کششی مواد بسته‌بندی را کاهش می‌دهد. با این حال، توجه به این نکته مهم است که چنین اثراتی می‌تواند به شدت تحت تأثیر عوامل متعددی قرار گیرد، از جمله ترکیب و نوع روغن‌های گیاهی و پلیمر زیستی و برهمکنش‌های شیمیایی بالقوه بین بیوپلیمر و اجزای روغن. بنابراین انتخاب روغن‌های گیاهی و بیوپلیمر با فرمولاسیون مناسب می‌تواند کمک قابل توجهی به تولید مواد بسته‌بندی با خواص مطلوب کند. علاوه بر این، با توجه به مطالعات

- [31] R. Farajpour, Z.E. Djomeh, S. Moeini, H. Tavahkolipour, and S. Safayan, "Structural and physico-mechanical properties of potato starch-olive oil edible films reinforced with zein nanoparticles," *Int. J. Biol. Macromol.* 149, 941–950, 2020, doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.175.
- [32] W. Ma, C.H. Tang, S.W. Yin, X.Q. Yang, Q. Wang, F. Liu, Z.H. Wei, "Characterization of gelatin-based edible films incorporated with olive oil," *Food Res. Int.* 49, 572–579, 2012, doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.037.
- [33] A. Taqi, K.A. Askar, K. Nagy, L. Muthiac, and I. Stamatina, "Effect of different concentrations of olive oil and oleic acid on the mechanical properties of albumen (egg white) edible films," *Afr. J. Biotechnol.* 10, 12963–12972, 2011, doi:10.5897/AJB11.1971.
- [34] M. Gursoy, I. Sargin, M. Mujtaba, B. Akyuz, S. Ilk, L. Akyuz, M. Kaya, Y.S. Cakmak, A.M. Salaberria, and J. Labidi, "False flax (*Camelina sativa*) seed oil as suitable ingredient for the enhancement of physicochemical and biological properties of chitosan films," *Int. J. Biol. Macromol.* 114, 1224–1232, 2018, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.04.029.
- [35] J.S. Lee, E.S. Lee, and J. Han, "Enhancement of the water-resistance properties of an edible film prepared from mung bean starch via the incorporation of sunflower seed oil," *Sci. Rep.* 10, 13622, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-70651-5.
- [36] A. Bahrami, R.R. Molkarram, S.M. Khiabani, B. Ghanbarzadeh, and R. Salehi, "Physico-mechanical and antimicrobial properties of tragacanth/hydroxypropyl methylcellulose/beeswax edible films reinforced with silver nanoparticles," *Int. J. Biol. Macromol.* 129, 1103–1112, 2019, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.09.045.
- [37] M. Xiao, B. Tang, J. Qin, K. Wu, F. Jiang, "Properties of film-forming emulsions and films based on corn starch/sodium alginate/gum Arabic as affected by virgin coconut oil content," *Food Packag. Shelf Life* 32, 100819, 2022, doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100819.
- [38] B.G. Erdem, S. Dıblan, and S. Kaya, "Development and structural assessment of whey protein isolate/sunflower seed oil biocomposite film," *Food Bioprocess. Technol.* 118, 270–280, 2019, doi.org/10.1016/j.fbp.2019.09.015.
- [39] M.H. Wardak, P. Kingwascharapong, S. Aryan, F. Tanaka, and F. Tanaka, "Preparation and characterization of corn starch-based film: Effect of citric acid or sunflower oil and its combination," *J. Food. Meas. Charact.* 15, 1907–1915, 2021, doi:10.1007/s11694-020-00786-6.
- [40] S. Galus, and J. Kadzin'ska, "Whey protein edible films modified with almond and walnut oils," *Food Hydrocoll.* 52, 78–86, 2016, doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.013.
- [41] E.J. Hopkins, C. Chang, R.S. Lam, and M.T. Nickerson, "Effects of flaxseed oil concentration on the performance of a soy protein isolate-based emulsion-type film," *Food Res. Int.* 67, 418–425, 2015, doi:10.1016/j.foodres.2014.11.040.
- [42] P. Ezati, A. Khan, R. Priyadarshi, T. Bhattacharya, S.K. Tammina, J.W. Rhim, "Biopolymer-based UV protection functional films for food packaging," *Food Hydrocoll.* 142, 108771, 2023, doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108771.
- [43] N. Jusoh, M. Isa, and N. Sarbon, "Physical, mechanical and antioxidant properties of chicken skin gelatin films incorporated with virgin coconut oil," *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 45, 102525, 2022, doi:10.1016/j.bcab.2022.102525.
- [44] S. Sahraee, J.M. Milani, B. Ghanbarzadeh, and H. Hamishehkar, "Effect of corn oil on physical, thermal, and antifungal properties of gelatin-based nanocomposite films containing nano chitin," *LWT* 76, 33–39, 2017, doi:10.1016/j.lwt.2016.10.028.
- [45] F. Hashempour-Baltork, P. Farshi, A.M. Alizadeh, S. Azadmard-Damirchi, and M. Torbati, "Nutritional aspects of vegetable oils: Refined or unrefined?," *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 124, 2100149, 2022, doi:10.1002/ejlt.202100149.
- [46] T.C. Vianna, C.O. Marinho, L.M. Júnior, S.A. Ibrahim, R.P. Vieira, "Essential oils as additives in active starch-based food packaging films: A review," *Int. J. Biol. Macromol.* 182, 1803–1819, 2021, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.05.170.
- [47] O.M. Atta, S. Manan, M. Ul-Islam, A.A.Q. Ahmed, M.W. Ullah, G. Yang, "Development and characterization of plant oil-incorporated
- [14] M. Xiao, L. Luo, B. Tang, J. Qin, K. Wu, and F. Jiang, "Physical, structural, and water barrier properties of emulsified blend film based on konjac glucomannan/agar/gum Arabic incorporating virgin coconut oil," *LWT* 154, 112683, 2021, doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112683.
- [15] X. Zong, X. Zhang, K. Bi, Y. Zhou, M. Zhang, J. Qi, and M. Fu, "Novel emulsion film based on gelatin/polydextrose/camellia oil incorporated with Lactobacillus pentosus: Physical, structural, and antibacterial properties," *Food Hydrocoll.* 121, 107063, 2021, doi:10.1016/j.foodhyd.2021.107063.
- [16] Y. Wang, X. Wang, G. Hu, A. Al-Romaima, X. Liu, X. Bai, J. Li, Z. Li, and M. Qiu, "Effect of green coffee oil as a natural active emulsifying agent on the properties of corn starch-based films," *LWT* 170, 114087, 2022, doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114087.
- [17] J. Ju, Y. Xie, Y. Guo, Y. Cheng, H. Qian, and W. Yao, "Application of edible coating with essential oil in food preservation," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 59, 2467–2480, 2019, doi: 10.1080/10408398.2018.1456402.
- [18] H.C. Moghadas, R. Chauhan, and J.S. Smith, "Application of Plant Oils as Functional Additives in Edible Films and Coatings for Food Packaging: A Review," *Foods* 13, 997, 2024, doi: 10.3390/foods13070997.
- [19] E. Medina, A. De Castro, C. Romero, and M. Brenes, "Comparison of the concentrations of phenolic compounds in olive oils and other plant oils: Correlation with antimicrobial activity," *J. Agric. Food Chem.* 54, 4954–4961, 2006, doi:10.1021/JF0602267.
- [20] F. Shahidi, "Antioxidants in food and food antioxidants," *Food/Nahrung* 44, 158–163, 2000, doi: 10.1002/1521-3803(20000501)44:3<158.
- [21] M.D. Khah, B. Ghanbarzadeh, L. Roufegarnejad Nezhad, and A. Ostadrahimi, "Effects of virgin olive oil and grape seed oil on physicochemical and antimicrobial properties of pectin-gelatin blend emulsified films," *Int. J. Biol. Macromol.* 171, 262–274, 2021, doi.org/10.1016.
- [22] R. Niknam, M.R. Soudi, and M. Mousavi, "Biodegradable composite films based on Trigonella foenum-graceum galactomannan-xanthan gum: Effect of grape seed oil on various aspects of emulsified films," *J. Am. Oil Chem. Soc.* 100, 163–174, 2023, doi:10.1002/aocs.12644.
- [23] Z.A.N. Hanani, "Physicochemical characterization of kappa-carrageenan (*Euchema cottoni*) based films incorporated with various plant oils," *Carbohydr. Polym.* 157, 1479–1487, 2016, doi.org/10.1016.
- [24] R. Niknam, B. Ghanbarzadeh, A. Ayaseh, and H. Hamishehkar, "*Plantago major* seed gum based biodegradable films: Effects of various plant oils on microstructure and physicochemical properties of emulsified films," *Polym. Test.* 77, 105868, 2019, DOI:10.1016/j.polymertesting.2019.04.015.
- [25] M. Hasan, R. Rusman, I. Khaldun, L. Ardana, M. Mudatsir, and H. Fansuri, "Active edible sugar palm starch-chitosan films carrying extra virgin olive oil: Barrier, thermo-mechanical, antioxidant, and antimicrobial properties," *Int. J. Biol. Macromol.* 163, 766–775, 2020, doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.076.
- [26] Z. Fangfang, B. Xinpeng, G. Wei, G.D. Wang, Z.Z. Shi, and G. Jun, "Effects of virgin coconut oil on the physicochemical, morphological and antibacterial properties of potato starch-based biodegradable films," *Int. J. Food Sci. Technol.* 55, 192–200, 2020, doi.org/10.1111/ijfs.14262.
- [27] F. Zhu, "Polysaccharide based films and coatings for food packaging: Effect of added polyphenols," *Food Chem.* 359, 129871, 2021, doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129871.
- [28] S. Galus, and J. Kadzinska, "Moisture sensitivity, optical, mechanical and structural properties of whey protein-based edible films incorporated with rapeseed oil," *Food Technol. Biotechnol.* 54, 78–89, 2016, doi: 10.17113/ftb.54.01.16.3889.
- [29] M. Pereda, G. Amica, and N.E. Marcovich, "Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films," *Carbohydr. Polym.* 87, 1318–1325, 2012, doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.019.
- [30] S. Galus, "Functional properties of soy protein isolate edible films as affected by rapeseed oil concentration," *Food Hydrocoll.* 85, 233–241, 2018, doi:10.1016/j.foodhyd.2018.07.026.

- [55] B. Yoon, J. Jackman, E. Valle-González, and N.J. Cho, "Antibacterial free fatty acids and monoglycerides: Biological activities, experimental testing and therapeutic applications," *Int. J. Mol. Sci.*, 19, 1114, 2018, doi: 10.3390/ijms19041114.
- [56] T.D. Xuan, G.Q. Gu, T.N. Minh, T.N. Quy, and T.D. Khanh, "An overview of chemical profiles, antioxidant and antimicrobial activities of aommercial vegetable edible oils marketed in Japan," *Foods* 7, 21, 2018, doi: 10.3390/foods7020021.
- [57] A.Y. Melikog̃ lu, N. Hayatiog̃ lu, M.C. Hendekçi, I. Tekin, and S. Ersus, "Development and characterization of edible films based on carboxymethyl cellulose enriched with pomegranate seed oil and the coating of strawberries," *J. Food Process. Preserv.*, 46, 16607, 2022, doi.org/10.1111/jfpp.16607.
- [58] V.T. Tran, T. Kingwascharapong, F.Tanaka, and F.Tanaka, "Effect of edible coatings developed from chitosan incorporated with tea seed oil on Japanese pear," *Sci. Hortic.*, 288, 110314, 2021, doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110314.
- [59] A.S. Nandane, R.K. Dave, and T.V.R. Rao, "Optimization of edible coating formulations for improving postharvest quality and shelf life of pear fruit using response surface methodology," *J. Food Sci. Technol.*, 54, 1–8, 2017, doi: 10.1007/s13197-016-2359-9.
- [60] F. Hassani, F. Garousi, and M. Javanmard, "Edible coating based on whey protein concentrate-rice bran oil to maintain the physical and chemical properties of the kiwifruit *Actinidia deliciosa*," *Trakia J. Sci.*, 10, 26–34, 2012, (in Persian).
- [61] A. Uthairatanakij, Y.H. Wote, N. Laohakunjit, P. Jitareerat, and N. Kaisangsri, "Whey protein incorporated with olive oil as novel edible coating for fresh cut pineapples," *Acta Hortic.*, 1336, 351–356, 2021, doi: 10.17660/ActaHortic.2022.1336.46.
- [62] X. Zhou, X. Zong, M. Zhang, Q. Ge, J. Qi, J. Liang, X. Xu, and G. Xiong, "Effect of konjac glucomannan/carrageenan-based edible emulsion coatings with camellia oil on quality and shelf-life of chicken meat," *Int. J. Biol. Macromol.*, 183, 331–339, 2021, doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.165.
- carboxymethyl cellulose/bacterial cellulose/glycerol-based antimicrobial edible films for food packaging applications," *Adv. Compos. Hybrid Mater.*, 5, 973–990, 2022, doi:10.1007/s42114-021-00408-9.
- [48] A. Biswas, T. Ahmed, M.R. Rana, M.M. Hoque, M.F. Ahmed, M. Sharma, K. Sridhar, R. Ara, B. Stephen Inbaraj, "Fabrication and characterization of ZnO nanoparticles-based biocomposite films prepared using carboxymethyl cellulose, taro mucilage, and black cumin seed oil for evaluation of antioxidant and antimicrobial activities," *Agronomy* 13, 147, 2023, doi.org/10.3390/agronomy13010147.
- [49] G.P. Singh, S.P. Bangar, T. Yang, M. Trif, V. Kumar, and D. Kumar, "Effect on the properties of edible starch-based films by the incorporation of additives: A Review," *Polymers* 14, 1987, 2022, doi.org/10.3390/polym14101987.
- [50] M. Kaya, P. Ravikumar, S. Ilk, M. Mujtaba, L. Akyuz, J. Labidi, A.M. Salaberria, Y.S. Cakmak, and S.K. Erkul, "Production and characterization of chitosan based edible films from *Berberis crataegina*'s fruit extract and seed oil," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 45, 287–297, 2018, doi.org/10.1016/j.ifset.2017.11.013.
- [51] R. Liu, M. Lu, T. Zhang, Z. Zhang, Q. Jin, M. Chang, X. Wang, "Evaluation of the antioxidant properties of micronutrients in different vegetable oils," *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 122, 1900079, 2020, doi.org/10.1002/ejlt.201900079.
- [52] L. Akyuz, M. Kaya, S. Ilk, Y.S. Cakmak, A.M. Salaberria, J. Labidi, B.A. Yilmaz, and I. Sargin, "Effect of different animal fat and plant oil additives on physicochemical, mechanical, antimicrobial and antioxidant properties of chitosan films," *Int. J. Biol. Macromol.*, 111, 475–484, 2018, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.045.
- [53] A.A. Fallah, E. Samast, T. Jafari, and A.M. Khaneghah, "Vegetable oil-based nanoemulsions for the preservation of muscle foods: A systematic review and meta-analysis," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 63, 8554–8567, 2023, doi: 10.1080/10408398.2022.2057415.
- [54] S.A. Petropoulos, A. Fernandes, R.C. Calhelha, Y. Rouphael, J. Petrovic, M. Sokovic, I.C.F.R. Ferreira, and L. Barros, "Antimicrobial properties, cytotoxic effects, and fatty acids composition of vegetable oils from purslane, linseed, luffa, and pumpkin Seeds," *Appl. Sci.*, 11, 5738, 2021, doi.org/10.3390/app11125738.