مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

مروری بر بکارگیری پلی‌فنول‌ها در بسته‌بندی فعال تخم‌مرغ با هدف افزایش ماندگاری

داریوش خادمی شورمستی

دانشیار، گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۹

کلمات کلیدی:

بسته‌بندی،

تخم‌مرغ،

زیست‌پلیمر،

زیست‌فعال،

فیتوکیمیکال

DOI:10.22034/FSCT.21.157.239.

* مسئول مکاتبات:

Da.khademi@iau.ac.ir

چکیده

تخم‌مرغ یکی از بهترین منابع طبیعی پروتئین با کیفیت بالا و سایر مواد مغذی بوده و در عین حال مستعد فساد است. نگرانی مصرف‌کنندگان از آلودگی و انتقال بیماری‌زاها به‌ویژه *سالمونلا*، موجب شد تا تمایل به استفاده از تخم‌مرغ‌های ایمن و بسته‌بندی شده افزایش یابد. مشکلات زیست‌محیطی پلیمرهای مصنوعی به‌عنوان مواد بسته‌بندی به معضلی جهانی تبدیل شده است، به‌همین دلیل جایگزینی آنها با پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر توسعه یافته است. برای غلبه بر برخی از ضعف‌های فیزیکی و مکانیکی و افزایش عملکرد زیست-پلیمرها، آنها را با یکدیگر ترکیب نموده (کامپوزیت) و/یا عوامل تقویت‌کننده و عوامل طبیعی در ساخت آنها بکار می‌رود. اسانس و عصاره‌های گیاهی مختلف به‌طور گسترده‌ای در مواد بسته‌بندی فعال مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج مطالعه‌های انجام شده نشان داد خواص سدی و عملکردی زیست‌پلیمرهای فعال به‌دلیل ماهیت آب‌گریزی، خواص ضد اکسیدانی و ضد میکروبی پلی‌فنول‌های موجود در اسانس و عصاره بهبود می‌یابد. بسته‌بندی تخم‌مرغ با این زیست‌پلیمرهای فعال موجب حفظ کیفیت داخلی طی دوره نگهداری و در نهایت افزایش ماندگاری آن می‌شود. در این مقاله سعی شده است بکارگیری ترکیبات شیمیایی گیاهی در زیست‌پلیمرهای فعال بسته‌بندی تخم‌مرغ بر پایه پلی‌ساکارید، پروتئین و پلی‌استر آلیفاتیک مرور شود.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

۱-مقدمه

تخم‌مرغ علاوه بر داشتن ویتامین‌ها، مواد معدنی، کاروتنوئیدها و چربی‌های ضروری، منبع عالی، مرجع و البته ارزان قیمت پروتئینی محسوب می‌شود [۱و ۲]. از سوی دیگر، تخم‌مرغ به‌عنوان یک محصول غنی از مواد مغذی، می‌تواند به محیطی ایده‌آل برای رشد میکروارگانیسم‌ها از جمله پاتوژن‌ها (به‌ویژه *سالمونلا انتریتیدیس* و *استافیلوکوکوس اورئوس*) تبدیل شود و لذا مستعد فساد است. روند کاهش کیفیت تخم‌مرغ بلافاصله پس از تخم‌گذاری شروع می‌شود و طی نگهداری، به‌ویژه در محیط‌های نامناسب (غیر یخچالی)، ادامه می‌یابد. به‌همین دلیل، تعیین ماندگاری تخم‌مرغ و اطمینان از کیفیت و ایمنی آن برای مصرف‌کننده مهم است [۳]. کیفیت ضعیف پوسته تخم‌مرغ نیز یکی از نگرانی‌های اصلی در ایمنی آن است، زیرا تخم‌مرغ‌های دارای پوسته شکسته و ترک‌خورده (حدود ۸ درصد از کل تولید تخم‌مرغ) راحت‌تر در معرض آلودگی باکتریایی قرار می‌گیرند. بنابراین محافظت از پوسته‌ها در برابر انتقال جرم بسیار مهم بوده و منطقی است رهیافت‌های محافظت از تخم‌مرغ برپایه مسدود کردن منافذ پوسته باشد [٤].

گرچه یکی از مؤثرترین روش‌ها جهت جلوگیری از کاهش کیفیت داخلی و افزایش ماندگاری تخم‌مرغ‌های تازه، نگهداری آنها در دمای یخچال است، اما این روش همانند شستشوی تخم‌مرغ، تابع مقررات خاص کشورهای مختلف است؛ در حالی‌که در ایالات متحده و برخی کشورها شستن تخم‌مرغ یک عمل ضروری، معمول و ثابت است و تخم‌مرغ در سراسر زنجیره تأمین باید در دمای کمتر از ۷/۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری شود، در اتحادیه اروپا، تخم‌مرغ قبل از مصرف‌کننده نهایی نباید در یخچال باشد و شستن تخم‌مرغ‌های خوراکی ممنوع است. ضمن اینکه نگهداری در یخچال باعث افزایش هزینه تولید و بالتبع قیمت نهایی محصول نیز خواهد شد [٥]. در کشور ما نیز الزامی به شستن یا ضدعفونی تخم‌مرغ خوراکی و نگهداری آن در دمای یخچال در زنجیره تأمین و عرضه وجود ندارد.

طی دهه‌های اخیر، علاقه‌ی فزاینده‌ای به استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌ها به‌عنوان یک روش بسته‌بندی و نگهداری مواد غذایی و ابزاری برای افزایش کیفیت، ایمنی و ثبات ایجاد شده است. در رابطه با تخم‌مرغ، استفاده از یک لایه پوشش محافظ نازک می‌تواند مانعی در برابر انتقال جرم ایجاد کند و در عین حال، ممکن است ویسکوزیته و برخی خصوصیات عملکردی را نیز حفظ کند و به‌طور بالقوه تعداد تخم‌مرغ‌های ترک خورده را کاهش دهد [٦]. مواد زیستی مختلفی شامل پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و حتی برخی از پلیمرهای مصنوعی (مانند پلی‌استرهای آلیفاتیک) برای پوشش‌دهی مناسب هستند [٤]. علاوه بر این، ترجیح استفاده از عوامل زیست‌فعال طبیعی نسبت به ترکیبات مصنوعی موجب شد فیتوکمیکال‌ها و ترکیبات زیست‌فعال طبیعی مشتق شده، با خواص ضد میکروبی و ضد اکسیدانی، بیش از پیش در بسته‌بندی فعال مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرند. در پاسخ به نیازهای جامعه، بسته‌بندی باید بر اساس شیوه‌های تولید پایدار، رهیافت‌های بازاریابی، رفتار مصرف‌کننده، نگرانی‌های زیست‌محیطی و البته ظهور فناوری‌های جدید، به‌ویژه فناوری‌های زیستی و نانو، توسعه یابد [۷]. لذا در این بررسی سعی شده است نقش این مواد فعال با تاکید بر پلی‌فنول‌ها در توسعه بسته‌بندی تخم‌مرغ با هدف افزایش ایمنی و ماندگاری آن مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲-روش بررسی و چارچوب نظری

در این مطالعه، مقالات و اسناد علمی مرتبط با کاربرد فیتوکمیکال‌ها و پلی‌فنول‌ها در بسته‌بندی فعال مواد غذایی به‌ویژه تخم‌مرغ مورد بررسی قرار گرفت. کلید واژه‌های زیست‌پلیمر، فیتوکمیکال، پلی‌فنول، بسته‌بندی فعال، کیفیت داخلی و پوسته تخم‌مرغ، فیلم و پوشش زیست تخریب‌پذیر در پایگاه‌های اطلاعاتی و موتورهای جستجو از جمله Science Direct, Scopus, Google Scholar و پایگاه‌های نمایه کننده مقالات داخلی مانند SID و نیز

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

مجلات تخصصی مرتبط با موضوع، طی ۵ سال اخیر جستجو شد.

۲-۱- مواد بسته‌بندی فعلی و چالش‌های مرتبط

تولید جهانی پلاستیک به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است، به‌طوری که ٤٠ درصد از کل پلاستیک تولید شده برای بسته‌بندی و نزدیک به نیمی از آن برای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود. پلاستیک‌ها حدود ٦ درصد از مصرف جهانی نفت را تشکیل می‌دهند که پیش‌بینی می‌شود این میزان تا سال ۲۰۵۰ به ۲۰ درصد افزایش یابد [۸].

زباله‌های پلاستیکی دفن شده در طی تخریب غیرزیستی و زیستی، مواد مضری را آزاد می‌کنند که خاک و آب را آلوده می‌کنند. انتشار متان و دی‌اکسید کربن در طی هضم میکروبی پلاستیک به گرمایش جهانی کمک می‌کند. حیوانات از طریق بلع در معرض ضایعات پلاستیکی قرار می‌گیرند. لذا، کشورهای مختلف چالش آلودگی پلاستیک را از طریق کاهش ضایعات، کاهش تولید، بازیافت و امکان استفاده از جایگزین‌ها مورد بررسی قرار می‌دهند. دولت‌ها با توجه به قوانین جهانی که بر حفاظت از محیط‌های سرزمینی و دریایی تمرکز دارد، ابتکارات سیاستی را برای کاهش آلودگی پلاستیکی اتخاذ کرده‌اند [۹].

بسته‌بندی غذاها با اهداف مختلفی از جمله محافظت در برابر عوامل محیطی، بهبود کیفیت و ایمنی، افزایش ماندگاری و تسهیل در استفاده، نگهداری و حمل و نقل، صورت می‌گیرد. به‌طور سنتی، مواد بسته‌بندی مورد استفاده برای این منظور، از پلیمرهای مصنوعی مانند پلی‌آمید، پلی-پروپیلن، پلی‌اتیلن ترفتالات، اتیلن وینیل الکل، پلی‌استایرن و پلی‌وینیل کلراید ساخته می‌شدند. این پلیمرهای مصنوعی به‌دلیل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی مفیدشان مانند استحکام مکانیکی، انعطاف‌پذیری، ویژگی‌های نوری و ویژگی‌های سدی، مخصوصاً برای تولید مواد بسته‌بندی مناسب هستند. در نتیجه، تولیدات صنعتی آنها در چند دهه گذشته به افزایش خود ادامه داده است. با این حال، استفاده گسترده از پلاستیک‌های مصنوعی برای این منظور، پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی دارد، زیرا این نوع مواد بسته‌بندی می‌توانند برای مدت طولانی در محیط باقی بمانند و در صورت تخریب، میکروپلاستیک‌ها یا نانوپلاستیک‌ها را تشکیل دهند که آب، خاک و مواد غذایی را آلوده می‌کنند [۱۰].

۲-۲- راه‌حل‌های ممکن برای مواد بسته‌بندی فعلی

با توجه به نگرانی‌های فزاینده‌ی زیست‌محیطی پیرامون پلاستیک‌های مصنوعی، علاقه فزاینده‌ای به استفاده از پلیمرهای طبیعی، مانند پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها، اغلب در ترکیب با سایر اجزای طبیعی (مانند لیپیدها، فسفولیپیدها، سورفکتانت‌ها یا نانوذرات طبیعی) برای ساخت مواد بسته-بندی زیست تخریب‌پذیر وجود دارد [۱۱-۱۳]. مواد زیست تخریب‌پذیر مانند پلیمرهای زیستی، پلاستیک‌های زیستی، نانوکامپوزیت‌های زیستی و پوشش‌های خوراکی برای جایگزینی پلاستیک‌های مصنوعی در حال توسعه هستند. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر، تجدیدپذیر، غیرسمی، زیست‌سازگار، زیست‌تخریب‌پذیر، قابل تولید مجدد، تطبیق‌پذیر و در دسترس هستند و دارای ردپای کربن کم هستند [١٤]. با این حال، مسائلی مانند ناروانی (ویسکوزیته)، آب‌گریزی، فعالیت تبلور، شکنندگی، حساسیت به آب، پایداری حرارتی، خواص سدی دربرابر گاز، استحکام مکانیکی، دشواری فرآوری و هزینه، مانع پذیرش گسترده صنعتی آنها شده است [۱۵].

برای غلبه بر نقاط ضعف زیست‌پلیمرها، مطالعات زیادی با افزودن عوامل تقویت‌کننده مانند نانوپرکننده‌ها، نانو الیاف، پلیمرهای زیستی دیگر، نرم‌کننده‌ها و عوامل طبیعی مانند اسانس‌ها و عصاره‌ها انجام شده که به بهبود کیفیت غذا، ایمنی، ارزش غذایی و خواص حسی آن‌ها کمک می‌کنند. به‌عنوان مثال در بررسی بکارگیری ۱/۵ و ۳ درصد نانو رس در محلول پوششی آلژینات سدیم، نشان داده شدکه افزایش سهم نانو رس در ساختار پوشش نانو چند سازه‌ای بر عملکرد آن مؤثر بود. ضمن اینکه غنی‌سازی پوشش کامپوزیت مذکور با عصاره علف‌لیمو (*Cymbopogon*

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

citratus) موجب کاهش بارمیکروبی فیله مرغ طی دوره در شرایط سرد شد [۱۶]. تأثیر پوشش‌های خوراکی نانوکامپوزیت زیست تخریب‌پذیر کربوکسی‌متیل سلولز/ اسید اولئیک/ نانورس بر کیفیت داخلی و ریخت‌شناسی پوسته تخم‌مرغ مورد بررسی قرار گرفت [۱۷]. نتایج نشان داد در مقایسه با تخم‌مرغ‌های فاقد پوشش (شاهد)، یا دارای پوشش ساده، تخم‌مرغ‌های دارای پوشش نانومرکب در پایان دوره دارای کمترین درصد افت وزنی، کمترین مقدار اندیس اسید تیوباربیتوریک و بیشترین مقادیر عددی اندیس زرده و واحد هاو بودند. ضمن اینکه سطح پوسته حاوی پوشش از یکپارچگی و پیوستگی بیشتر و خلل و فرج و شکستگی کمتر بودند (شکل ۱).

Figure 1. Scanning Electron Microscope (SEM) images of eggshell after 5 wks of storage at ambient temperature; Uncoated (right) coated with carboxymethyl cellulose/oleic acid/nanoclay (left)

از پوشش زیست کامپوزیت کربوکسی‌متیل سلولز/ اسید اولئیک به‌عنوان حامل عصاره نعنا دشتی (*Mentha spicata* L) استفاده شد. نتایج نشان داد اسید اولئیک اثر حفاظتی کربوکسی‌متیل سلولز را بهبود بخشید. ضمن اینکه پوشش‌های کامپوزیت فعال به‌دلیل آثار ضد اکسیدانی و ضد میکروبی عصاره موجب افزایش ماندگاری فیله ماهی طی دوره نگهداری در شرایط سرد شد [۱۸]. بکارگیری عصاره سرخارگل (*Echinacea purpurea* L) در پوشش کربوکسی‌متیل سلولز/ اسید اولئیک و اسانس اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus* L) و آلفا توکوفرول در پوشش کیتوزان با نتایج مثبتی مبنی بر افزایش ماندگاری فیله ماهی همراه بود [۱۹ و ۲۰].

نانوکامپوزیت‌های زیستی، که از یک ماتریس پلیمری بر پایه زیستی و یک پرکننده آلی/ غیر آلی با حداقل یک ماده در مقیاس نانو تشکیل شده‌اند، به‌دلیل افزایش خواص مکانیکی، حرارتی، سدی، ضد میکروبی و ضد اکسیدانی به‌عنوان مواد بسته‌بندی فعال و/ یا هوشمند مناسب هستند. این مواد بر افزایش ماندگاری و کاهش رشد میکروبی در محصولات غذایی تمرکز دارند [۱۵]. نشان داده شد که تقویت ماتریس پوشش‌های پلیمری برپایه کیتوزان با نانو بلور سلولز به‌طور قابل‌توجهی کاهش وزن، واحد هاو و شاخص زرده را در تخم‌مرغ‌های پوشش‌داده شده بهبود بخشیده است [۲۱]. همچنین افزودن ۲ درصد نانو مونت‌موریلونیت به فرمولاسیون پوشش زیست‌پلیمری کیتوزان محلول در اسید استیک، به‌طور معنی‌داری موجب ارتقای کیفیت و عملکرد ماده بسته‌بندی و در نهایت بهبود فراسنجه‌های کیفیت داخلی و پوسته تخم‌مرغ پس از ۵ هفته نگهداری شد [۲۲]. ضمن اینکه گزارش شد نانو کیتوزان به‌عنوان یک منبع زیست تخریب‌پذیر نسبتاً ارزان در ترکیب با ترکیبات زیستی دیگر مانند پلی‌ساکاریدها یا پروتئین‌ها و ایجاد نانوکامپوزیت‌های پلیمری می‌تواند موجب بهبود خواص عملکردی فیلم‌های حاصل از این ترکیبات شود [۲۳].

ویژگی‌های شیمیایی (مانند وزن مولکولی، درجه دی‌استیله شدن) برخی زیست‌پلیمرها و نیز شیوه آماده‌سازی (به‌عنوان مثال نوع حلال و نرم‌کننده) بر عملکرد و کارایی آن‌ها مؤثر است. در این رابطه نشان داده شده که فیلم تهیه شده با کیتوزان وزن مولکولی بالا دارای خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بهتر بود در حالی‌که کیتوزان با وزن مولکولی پایین

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

موجب ایجاد فیلم‌های با خاصیت ضد میکروبی بیشتر شد. ضمن اینکه اسید استیک در مقایسه با اسید لاکتیک و اسید سیتریک حلال مناسب‌تری بود [۲۴] و سوربیتول بهتر از گلیسرول عمل کرد [۲۵].

یکی از چالش‌های عمده مرتبط با توسعه مواد بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر از پلیمرهای زیستی، ایجاد فیلم‌هایی است که دارای خواص مکانیکی، نوری و سدی باشد که با آنهایی که معمولاً توسط پلیمرهای مصنوعی ارائه می‌شود مطابقت داشته باشد. مواد بسته‌بندی مبتنی بر پلیمرهای زیستی با ویژگی‌های عملکردی خوب اغلب می‌توانند در آزمایشگاه تهیه شوند، اما معمولاً دستیابی به این امر از نظر اقتصادی در مقیاس بزرگ دشوار است که در حال حاضر کاربرد تجاری آنها را محدود می‌کند [۲۶]. پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر در سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۱). دسته اول شامل پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مصنوعی است که شامل پلیمرهای مشتق شده از مواد شیمیایی با استفاده از مونومرهای بر پایه زیستی تجدید پذیر است، دسته دوم شامل زیست‌پلیمرهای طبیعی استخراج شده از زیست‌توده است و دسته آخر شامل پلیمرهای تولید شده توسط میکروارگانیسم‌ها یا باکتری‌های اصلاح شده ژنتیکی می‌شود [۲۷].

Table 1. Classification of biodegradable polymers based on their source [27]

Bio-Based Polymers					
Synthetic Biodegradable Polymers			Natural Biopolymers Extracted from Biomass		Polymers Produced by Microorganisms
From Biomass	From Petrochemicals	Polysaccharides	Lipids	Proteins	Microbial
PLA	PCL PVA PGA	Starch, Cellulose, Aliginate, Carrageenan, Chitosan	Glycerides, Waxes	Gelatin, Casein, Whey protein, Soy protein, Zein, Wheat gluten	Bacterial cellulose PHAs PHB PHV PHBV

PLA: polylactic acid; PCL: polycaprolactone; PVA: polyvinyl alcohol; PGA: polyglycolic acid; PHAs: polyhydroxyalkonoates; PHB: polyhydroxybutyrate; PHV: polyhydroxyvalerate; PHBV: poly(3-Polyhydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate

۲-۳- بسته‌بندی زیست‌فعال

مواد بسته‌بندی فعال که معمولاً در بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، آنهایی هستند که قادرند ویژگی‌های حسی یک محصول را برای اطمینان از کیفیت آن حفظ کنند. بسته‌بندی‌های فعال حاوی ضد اکسیدان‌های طبیعی و ضد میکروبی‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند چراکه نه‌تنها ماندگاری محصولات بسته‌بندی شده را با جلوگیری از واکنش‌های نامطلوب افزایش می‌دهند، بلکه از رشد پاتوژن‌های منتقله از غذا نیز جلوگیری می‌کنند. کمیسیون اتحادیه اروپا ترکیبات فعال را به‌عنوان هر ماده یا ابزاری تعریف کرد که می‌تواند ماندگاری را افزایش دهد یا محیط بسته‌بندی را حفظ یا بهبود دهد. بر این اساس، عامل فعال می‌تواند یک ماده منفرد یا ترکیبی از مواد باشد. این ترکیبات در فرمولاسیون مواد بسته‌بندی گنجانده شده و عملکردهای خاصی مانند آزادسازی یا جذب دی‌اکسید

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

کربن، اکسیژن، اتیلن، بوها، طعم‌ها، ضد اکسیدان‌ها و ضد میکروب‌ها را اعمال می‌کنند [۲۸ و ۲۹].

مواد فعال را می‌توان بر اساس عامل فعال یا عملکرد طبقه‌بندی کرد. انواع مختلفی از مواد مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی وجود دارد که می‌توانند به‌عنوان عوامل فعال عمل کنند. بنابراین، طبقه‌بندی بر اساس هدف بسته‌بندی فعال از نظر کاربرد، واضح‌تر و مفیدتر است. با این حال، بسیاری از ترکیبات فعال می‌توانند بیش از یک عملکرد داشته باشند که طبقه‌بندی آنها را پیچیده می‌کند [۳۰].

مواد بسته‌بندی فعال حاوی ترکیبات فعال مصنوعی مورد تأیید مواد غذایی نیز توسعه یافتند. در میان ضد میکروبی‌های مصنوعی، فیلم‌های فعالی که شامل سوربات پتاسیم، بنزوات و پروپیونات در فرمولاسیون‌شان باشند، برجسته‌تر هستند. ضد اکسیدان‌های مصنوعی، به‌عنوان مثال، هیدروکسی تولوئن بوتیله (BHT) و هیدروکسی آنیزول بوتیله (BHA)، در هر دو فرمول فیلم پلیمری و زیست تخریب‌پذیر گنجانده شده‌اند و به‌عنوان بسته‌بندی فعال برای جلوگیری از اکسیداسیون لیپید در غذاها استفاده می‌شوند [۳۱].

محصولات جانبی و ضایعات حاصل از فرآوری میوه و سبزیجات منبع مهمی از ترکیبات زیست‌فعال با ارزش غذایی و عملکردی بالا، مانند ویتامین‌ها، مواد معدنی، ضد اکسیدان‌ها و ترکیبات ضد میکروبی هستند، گرچه آنها اغلب دور ریخته می‌شوند یا برای خوراک دام مورد استفاده قرار می‌گیرند. اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی را که می‌توان از این منابع به‌دست آورد، عمدتاً به‌دلیل ظرفیت ضد اکسیدانی و ضد میکروبی به‌عنوان افزودنی برای توسعه بسته‌بندی فعال مواد غذایی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. بنابراین، استفاده از ترکیبات فعال حاصل از محصولات جانبی کشاورزی نه‌تنها به بازیابی این ترکیبات با فعالیت‌های خاص کمک می‌کند، بلکه ارزش افزوده‌ای برای آنها ایجاد می‌کند. [۳۲ و ۳۳].

۲-٤- ترکیبات شیمیایی گیاهی در بسته‌بندی فعال مواد غذایی

محققان تلاش کردند تا ترکیبات شیمیایی گیاهی (فیتوکمیکال‌ها) را در زیست‌پلیمرهای طبیعی به‌عنوان جایگزینی برای بسته‌بندی‌های پلاستیکی بگنجانند تا آلاینده‌های شیمیایی موجود در مواد غذایی را از بین ببرند. بسته‌بندی مواد غذایی شامل استفاده از مواد شیمیایی گیاهی است که در بسیاری از گیاهان، سبزیجات، میوه‌ها و گیاهان وجود دارد. جدول (۲) مهم‌ترین مواد شیمیایی گیاهی مورد استفاده در سیستم‌های بسته‌بندی مواد غذایی را دسته‌بندی کرده است.

۲-٤-۱- پلی‌فنول‌ها

ترکیبات فنولی موجود در غذاهای گیاهی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. از نظر فیتوشیمیایی، ساختار پلی‌فنول‌ها با ترکیبات فنولی مرتبط هستند و از فراوان‌ترین مواد طبیعی گیاهی هستند. بر اساس ساختار شیمیایی، پلی‌فنول‌ها را می‌توان به دو دسته فلاونوئیدها و غیر فلاونوئیدها تقسیم کرد. فلاونوئیدها مهم‌ترین گروه را تشکیل می‌دهند که ساختار دی‌فنیل پروپان معمولی از نوع C6-C3-C6 را ارائه می‌دهند که از دو حلقه معطر تشکیل شده است که معمولاً توسط یک هتروسیکل اکسیژن‌دار از سه اتم کربن به هم متصل می‌شوند (شکل ۲). با توجه به تغییرات حلقه هتروسیکلیک، فلاونوئیدها را می‌توان به چندین زیر کلاس تقسیم کرد که مهم‌ترین آنها فلاونول‌ها، فلاون‌ها، فلاونون‌ها، ایزوفلاون‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها هستند. زیر کلاس‌ها اصلی غیر فلاونوئیدها شامل اسیدهای فنولیک، استیلبن‌ها و لیگنان‌ها می‌باشند. این تنوع گسترده از ترکیبات به‌طور قابل توجهی در زیست‌فراهمی، ساختار و خواص بیوشیمیایی آنها متفاوت است. با این حال، آنها به‌دلیل استفاده در صنایع غذایی محبوبیت قابل توجهی به‌دست آورده‌اند. آنها علاوه بر خواص ضد اکسیدانی خود، ممکن است دارای اثرات ضد باکتریایی اساسی نیز باشند که هنوز

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

به‌طور کامل شناخته نشده است [۳٤]. در جدول (۳) کلاس‌های اصلی پلی‌فنول‌ها دسته‌بندی شده است[۳۵].

Table 2. Phytochemical compounds involved in food packaging systems [7]

Phytochemicals				
Polyphenols	Glucosinolates	Carotenoids	Phytosterols	Bioactive compounds
Phenolic Acids gallic, vanillic, syringic, ferulic, caffeic, p-coumatic, chlorogenic and sinapic acids **Flavonoeids** anthocyanins, flavan-3-ols, flavones, and flavonols	glucobrassicanapin, progoitrin, gluconapin, glucoalyssin, glucobrassicin, gluconasturtiin	α and β carotenes, lycopene, lutein, zeaxanthin, astaxanthin, cryptoxanthin	β –sitosterol, campesterol, and stigmasterol	minerals, vitamins, peptides, enzymes, bacteriocins and unsaturated fatty acids

ساز و کارهای مختلفی، از جمله تغییر در سیالیت غشای سلولی، تغییر در فرآیندهای درون سلولی مرتبط با فنولیک‌ها که به آنزیم‌ها متصل می‌شوند و کاهش پایداری دیواره سلولی به‌دلیل فعل و انفعالات غشایی در این فرآیند دخیل هستند. بسیاری از گیاهان حاوی پلی‌فنول هستند، اما ظرفیت بالقوه آنها به‌عنوان جایگزین طبیعی برای نگهداری معمولی در غذا بسیار هیجان‌انگیز است. پلی‌فنول‌ها می‌توانند رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها را مهار کنند که نشان دهنده اهمیت آنها برای تولید مواد غذایی است. درک خواص ضد میکروبی پلی‌فنول‌ها مهم است زیرا اثربخشی آنها تحت تأثیر حساسیت پاتوژن و ترکیب شیمیایی است [۳٦].

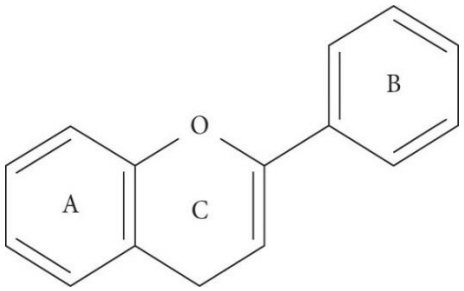

Figure 2. The main skeleton of flavonoids (C6-C3-C6)

عصاره گیاهان اغلب به محصولات بسته‌بندی اضافه می‌شود و در فیلم‌ها گنجانده می‌شود. ترکیبات فنولی موجود در گیاهان، به‌ویژه پلی‌فنول‌ها و فلاونوئیدها، به‌عنوان ضد میکروبی و ضد اکسیدان عمل می‌کنند. بسته‌بندی فعال حاوی مواد شیمیایی گیاهی، بدون تماس مستقیم با غذاها و تغییر ارزش غذایی آنها، از آلودگی و پوسیدگی مواد غذایی جلوگیری می‌کند. عصاره‌های گیاهی حاوی پلی‌فنول

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

(فلاونوئیدها و غیر فلاونوئیدها) و ترکیبات آلکالوئیدی با ظرفیت ضد اکسیدانی می‌توانند به‌طور مؤثر به‌عنوان افزودنی در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده شوند [۳۷].

Table 3. Polyphenolic classes, compounds and plant sources [7]

Group	Class	Compounds
Flavonoid-polyphenols	Flavonols	Quercetin, kaempferol, isorhamnetin
	Flavones	Apigenin, luteolin, diosmin
	Flavanols	Catechin, proanthocyanidins, epicatechin, epigallocatechin
	Flavanones	Naringenins, hesperetin, eriodictyol
	Anthocyanins	Cyanidin, perlargonidin, delphinidin
	Isoflavones	Genistein, daidzein, equol
Non-flavonoied-polyphenols	Phenoloc acids	Caffeic acid, chlorogenic acid, ferulic acid
	Lignans	Pinoresinol, podophyllotoxin, steganani c, matairesinol
	Stilbenes	Resveratrol, pterostilbene
Tannins		Tannic acid, Chinese tannin, Turkish tannin, acer tannin, ellagitannin, chebulagic acid

۲-٤-۲- ساز و کار تأثیر ترکیبات شیمیایی گیاهی در بسته‌بندی فعال جهت افزایش ماندگاری

بسته‌بندی مواد غذایی حاوی ترکیبات شیمیایی گیاهی و زیست‌فعال که به‌عنوان ضد اکسیدان در نظر گرفته می‌شوند، در از بین بردن رادیکال‌های اکسیژن بسیار مهم است. از طرفی، برخی از ترکیبات فعالی که در صنایع غذایی به‌عنوان نگهدارنده استفاده می‌شوند یا به پلیمر بسته‌بندی اضافه می‌شوند، احتمالاً ممکن است اثرات جانبی بر سلامت انسان داشته باشند. لذا، یافتن و جایگزینی ضد اکسیدان‌های مصنوعی با انواع طبیعی حاصل از منابع زیستی که به‌عنوان ایمن برای مصرف انسان طبقه‌بندی می‌شوند، جزء علاقمندی‌های محققان قرار گرفته است [۷]. رادیکال‌های آزاد در صورت وجود در بسته‌بندی مواد غذایی می‌توانند لیپیدها و سایر مواد غذایی را اکسید کنند که می‌تواند باعث بدتر شدن و از دست دادن کیفیت غذا شود. ساز و کارهای مهار گونه‌های رادیکال آزاد اکسیژن و نیتروژن فعال باعث کاهش غلظت اکسیژن موضعی، کاهش پتانسیل اکسیداسیون اکسیژن مولکولی، متابولیزه کردن پراکسیدهای لیپیدی به محصولات غیر رادیکال و شلاته کردن یون‌های فلزی برای جلوگیری از تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود. برخی از ترکیبات فیتوشیمیایی نیز دارای خواص شلاته کردن هستند و از عمل کردن فلزات واسطه به‌عنوان عوامل اکسید کننده جلوگیری می‌کنند [۷ و ۳۸].

ترکیبات شیمیایی گیاهی و ترکیبات زیست‌فعال را می‌توان به‌عنوان یک سیستم بسته‌بندی ضد میکروبی نیز به‌کار برد. ضد اکسیدان‌ها و ضد میکروبی‌ها اغلب طی ساخت در مواد بسته‌بندی گنجانده می‌شوند و از طریق روش انتشار کنترل‌شده در مواد غذایی بسته‌بندی شده آزاد و منتشر می‌شوند. انتشار فیتوکمیکال‌ها و ترکیبات زیست‌فعال روی سطوح غذا باید با ترکیب یا کپسوله‌کردن کنترل شود تا فعالیت ضد

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

اکسیدانی بهبود یابد. ضد اکسیدان‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی برای تضعیف اکسیداسیون لیپید و دناتوره شدن پروتئین استفاده می‌شوند [۳۹]. نتایج تحقیقی نشان داد نانوکپسوله کردن باعث افزایش خاصیت ضد اکسیدانی عصاره چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L) شد. طوری‌که پوشش کربوکسی‌متیل سلولز و عصاره نانو کپسوله چای ترش موجب کاهش فرآیند فساد اکسیداتیو در ناگت مرغ شد [۴۰].

۲-۵- بررسی روش‌های استخراج ترکیبات زیست‌فعال

انتخاب بهترین روش استخراج برای مطالعات کمی و کیفی مواد شیمیایی زیست‌فعال گیاهی بسیار مهم است. مرحله اولیه در هر مطالعه یک گیاه دارویی، استخراج است که تأثیر قابل توجهی بر نتیجه دارد. موفقیت تجزیه و تحلیل ترکیبات زیست‌فعال تا حد زیادی به روش‌های استخراج، عواملی که به‌عنوان ورودی استفاده می‌شوند و ویژگی‌های قسمت‌های مختلف گیاه بستگی دارد. با این حال، روش‌های طیف‌سنجی و کروماتوگرافی فعلی این فرآیند را آسان‌تر از قبل کرده‌اند. ویژگی‌های ماتریس اجزای گیاه، فشار، دما، حلال و زمان متداول‌ترین متغیرهای مؤثر بر عملیات استخراج هستند. برای استخراج اجزای گیاه می‌توان از روش‌های مختلف استخراج استفاده کرد. در طول پنجاه سال گذشته، روش‌های جدیدی توسعه یافته‌اند که سازگارتر با محیط زیست هستند، زیرا از مواد شیمیایی مصنوعی و آلی کمتری استفاده می‌کنند، سریع‌تر عمل می‌کنند و عصاره‌هایی با عملکرد و کیفیت بالاتر ارائه می‌کنند. روش‌های فراصوت، میدان الکتریکی پالسی، هضم آنزیمی، اکستروژن، گرمایش با مایکروویو، گرمایش اهمی، سیالات فوق بحرانی، و حلال‌های تسریع شده همگی به‌عنوان رهیافت‌های جدید برای بهبود تولید و گزینش‌پذیری اجزای زیست‌فعال در محصولات گیاهی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. روش‌های استخراج سنتی مانند سوکسله هنوز به‌عنوان معیاری برای ارزیابی اثربخشی روش‌های جدید توسعه یافته استفاده می‌شوند [۴۱].

۳-نتایج و بحث

۳-۱- پلیمرهای بر پایه پلی‌ساکاریدها

زیست‌پلیمرهای بر پایه پلی‌ساکارید، اجزای طبیعی غیرسمی و در دسترسی هستند که به‌عنوان مواد بسته‌بندی بسیار مناسب هستند. آنها دارای خواص مکانیکی و ساختاری عالی هستند در حالی‌که به‌طور انتخابی در برابر دی‌اکسید کربن و اکسیژن نفوذپذیر هستند. با این حال، آنها دارای خواص سدی در برابر بخار آب ضعیفی هستند. فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر با افزودن عوامل تقویت‌کننده مختلف اصلاح می‌شوند. افزودن ضد اکسیدان‌ها، ضد میکروبی‌ها، اسانس‌ها، ترکیبات فنولی و عصاره‌های گیاهی به پلیمرهای زیستی باعث جذابیت، بسته‌بندی فعال و هوشمندانه آنها شده و ماندگاری مواد غذایی را افزایش می‌دهد. افزودن نرم‌کننده ها (مانند گلیسرول، سوربیتول) به پلیمرهای زیستی می‌تواند شکنندگی آنها را اصلاح کند، توانایی فرآوری آنها را افزایش دهد، تحرک زنجیره‌های نشاسته را افزایش داده و جذب رطوبت را کاهش دهد. متأسفانه، ادغام نرم‌کننده ها در پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر، خواص مکانیکی آنها را کاهش می‌دهد [۴۲].

در مطالعه‌های قبلی، کاربرد لفاف‌های زیست تخریب‌پذیر بر پایه پلی‌ساکارید در بسته‌بندی تخم‌مرغ به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. بسته‌بندی‌های نوین بر پایه پکتین، نشاسته، کیتین و کیتوزان، سلولز و مشتقات آن، صمغ‌ها و موسیلاژها در قالب فیلم و پوشش خوراکی به‌شکل ساده، ترکیب با سایر پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، لیپید، فعال همراه با ترکیبات ضد باکتری، ضد اکسیدان‌ها، آنزیم‌ها جهت حفظ کیفیت داخلی و پوسته تخم‌مرغ و افزایش ماندگاری آن بکار گرفته شد و با نتایج امیدوارکننده‌ای همراه بود [۱۳]. همچنین، نتایج مثبت حاصل از بکارگیری فیلم و پوشش‌های بر پایه مشتقات سلولز در بسته‌بندی زیستی شامل کاهش بار میکروبی، کاهش عوامل مؤثر بر فساد شیمیایی، حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری و انبارمانی فرآورده‌های دامی نشان داد که می‌توان با در نظر گرفتن ملاحظات حقوقی، کاهش

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

هزینه‌ها و رفع سایر مشکلات تولید انبوه و تجاری‌سازی، تدوین استانداردها و مقررات تولید، افزایش آگاهی، فرهنگ‌سازی و بازاریابی، استفاده از بسته‌بندیهای زیست تخریب‌پذیر را توصیه و گسترش داد [٤٣].

ظرفیت بالقوه بالای ضد اکسیدانی مرزنجوش (*Origanum vulgare* L) به وجود مونوترپن‌های فنولی مانند تیمول، کارواکرول و برخی از ترکیبات فنولی مانند اریگانوزاید و رزمارینیک اسید نسبت داده شد. در بررسی تأثیر حداقل غلظت بازدارندگی اسانس مرزنجوش روی باکتری‌های هتروتروف هوازی با ملاحظه شرایط انبارداری و زمان‌های تولیدی مختلف، اثر بازدارندگی آن اثبات شد. تأثیر شستشو و پوشش نانومرکب فعال بر پایه کربوکسی‌متیل سلولز حاوی عصاره مرزنجوش بر کیفیت تخم‌مرغ طی دوره نگهداری در دمای محیط و دمای یخچال بررسی شد. نتایج نشان داد؛ بکارگیری پوشش نانومرکب فعال کربوکسی‌متیل سلولز- نانو مونت موریلونیت- عصاره مرزنجوش با دارا بودن خواص ممانعتی، ضد اکسیدانی و ضد میکروبی، موجب افزایش ماندگاری تخم‌مرغ به‌مدت ٤ هفته در دمای محیط [٤٤] و دمای یخچال [٤٥] شد.

سیر (*Allium sativum* L) دارای ترکیبات گوگردی آلی مانند تیوسولفات‌ها به‌خصوص آلیسین است که جزء ضد باکتریال موجود در سیر است. پایش تغییرات فیزیکوشیمیایی تخم‌مرغ با پوشش نانو چندسازه (پلی‌وینیل الکل/کیتوزان/نانورس) فعال حاوی عصاره سیر طی دوره انبارمانی نشان داد که اثر ضد میکروبی وابسته به غلظت عصاره سیر (٢و ٤ درصد) در برابر *استافیلوکوکوس اورئوس* بیشتر از *اشرشیا کلی* بود. وجود عصاره در غلظت بالاتر موجب بهبود ماندگاری تخم‌مرغ حداقل به‌مدت ٣-٢ هفته شد [٤٦].

اسانس زنجبیل (*Zingiber officinale*) حاوی ترکیب شیمیایی پیچیده‌ای شامل جینجرول، الکل معطر و ترپنوئیدها است. اسانس علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) حاوی سیترال، کتون‌ها، الکل‌ها و استرها است. ساختار شیمیایی اسانس لیمو تاهیتی (*Citrus aurantifolia*) شامل هیدروکربن‌های مونوترپن مانند لیمونن و میرسن است. در ارزیابی میکروبیوتای پوسته و کیفیت داخلی تخم‌مرغ پس از پوشش‌دهی با زیست‌پلیمر نشاسته کاساوا غنی‌شده با اسانس‌های مشخص شد تعداد کل باکتری‌های مزوفیل هوازی روی پوسته تخم‌مرغ حاوی پوشش‌های فعال در روزهای صفر و ٣٥ نگهداری مشابه یکدیگر بود. لذا، پوشش‌های نشاسته کاساوا غنی‌شده با اسانس‌ها توانست کیفیت داخلی تخم‌ها را در طول نگهداری حفظ کنند و میکروبیوتای پوسته تخم‌مرغ را کاهش دهد و به‌طور مؤثری آن را در سطوح پایین نگه‌داری کند [٤٧].

ترکیب اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L) در پوشش بر پایه نشاسته، آن را در به تأخیر انداختن کهنگی مواد غذایی و کاهش بار میکروبی آن کارآمدتر می‌سازد. در هنگام تماس با میکروارگانیسم‌ها، اسانس ریحان می‌تواند عملکرد غشای سلولی، سیتوپلاسم، آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، اسیدهای چرب، یون‌ها و متابولیت‌ها را تضعیف کند. بکارگیری پوشش بر پایه نشاسته ذرت غنی‌شده با اسانس ریحان برای غلبه بر زوال سریع تخم بلدرچین در شرایط غیر یخچالی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد پوشش فعال نشاسته ذرت/ اسانس ریحان توانست رشد کل باکتری‌های مزوفیل هوازی، *انتروباکتریاسه*، کپک‌ها و مخمرها را در سطح پوسته تخم بلدرچین به کمتر از log CFU/mL ٢ در مقایسه با تیمار شاهد در هفته چهارم ذخیره‌سازی کاهش دهد. ضمن اینکه میانگین واحد هاو تخم‌های دارای پوشش فعال در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود [٤٨].

اسانس آویشن (*Thymus vulgaris*) دارای فعالیت ضد میکروبی قوی علیه گونه‌های *سالمونلا* است. در مطالعه‌ای تخم‌مرغ‌ها با پوشش‌های خوراکی بر پایه نشاسته سیب‌زمینی شیرین و سطوح مختلف اسانس آویشن شامل صفر (شاهد)، ٢، ٤، و ٦ درصد پوشش داده شدند. نتایج نشان داد استفاده از اسانس آویشن در پوشش‌های بر پایه سیب‌زمینی کیفیت

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

و ایمنی تخم‌مرغ‌ها را برای دو هفته بیشتر از تخم‌های شاهد حفظ کرد. پوشش فعال به‌طور معنی‌داری رشد *سالمونلا* در طول انبارمانی را کاهش داد. فعالیت ضد میکروبی اسانس آویشن به ترکیبات آنها نسبت داده می‌شود که حاوی ترپن تیمول (۵-متیل-۲-[۱-متیل اتیل) فنل] است. باکتری‌های گرم منفی به تیمول حساس هستند زیرا تیمول غشای سلولی باکتری را می‌شکند و لیپوپلی‌ساکاریدها را آزاد می‌کند. ترکیبات فنولی (ترپنوئیدها) مانند تیمول و کارواکرول در اسانس آویشن فراوانند. ترپنوئیدها در برابر طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها فعال هستند. لذا، انتظار می‌رود که اثر ضد میکروبی ترکیبات فنولی مانند تیمول و کارواکرول باعث آسیب ساختاری و عملکردی به غشای سیتوپلاسمی شود [۴۹].

نعنا فلفلی (*Mentha piperita*) به‌طور معمول دارای ۰/۴ – ۰/۳ درصد اسانس حاوی منتول، منتون، منتیل استات، منتوفوران، و ۱.۸- سینئول و همچنین مقادیر کمی از ترکیبات دیگر از جمله لیمونن، پولگون، کاریوفیلن و پینن است. نعنا حاوی ترپنوئیدها و فلاونوئیدها مانند اریوسیترین، هسپریدین و کامفرول ۷-O-روتینوزید است. فعالیت ضد میکروبی این اسانس از دیرباز شناخته شده است. به‌دلیل ماهیت لیپیدی، ممکن است با افزودن این اسانس به پلیمر ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی آن بهبود یابد. در همین رابطه، گزارش شد که نانوکامپوزیت‌های کربوکسی‌متیل سلولز/ نانو رس حاوی اسانس نعنا، سبب بهبود فراسنجه‌های کیفی تخم‌مرغ و کنترل خروج رطوبت و دی‌اکسید کربن و در پی آن جلوگیری از کاهش وزن شد. همچنین شاخص هاو و شاخص زرده در تخم‌مرغ‌های دارای پوشش‌های فعال کاهش کمتری را نسبت به نمونه‌های فاقد اسانس نشان دادند [۵۰].

جزء اصلی در اسانس گیاه سنا (*Cassia angustifolia*)، سینامالدئید گزارش شد. تأثیر اسانس این گیاه بر خواص فیلم کامپوزیت بر پایه پکتین- سدیم آلژینات بررسی و با نتایج مثبتی در ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فیلم همراه بود [۵۱]. نتایج مثبت مشابهی در ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نیز خاصیت ضد اکسیدانی فیلم‌های هیدروژل آلژینات سدیم و صمغ اقاقیا حاوی اسانس دارچین (*Cinnamomum verum*) گزارش شد [۵۲]. هیدروسول محصول جانبی استخراج اسانس گیاهی است. این محصول دارای خواص منحصر به فردی از جمله اسانس کم (کمتر از ۱ گرم در لیتر) و حلالیت در آب است. هیدروسل‌ها پایداری خوبی برای بیش از یک‌سال دارند. مطالعات، خواص ضد میکروبی و ضد قارچی هیدروسول‌های گیاهی را گزارش کرده‌اند. نتایج نشان داد که پوشش تخم‌مرغ‌ها با پکتین و هیدروسول دارچین باعث افت وزنی کمتر در طول نگهداری شد. واحد هاو بالاتر و شاخص زرده در تخم‌مرغ‌های پوشش‌دار نسبت به تخم‌مرغ‌های شاهد مشاهده شد. در حالی‌که شمارش کلی باکتری‌ها در تخم‌های بدون پوشش در هفته ٦ ذخیره‌سازی به ۳ log CFU/mL رسید، این مقدار در تخم‌مرغ‌های پوشش‌دار در تمام مدت زمان نگهداری صفر بود [۵۳].

۳-۲- پلیمرهای بر پایه پروتئین

زیست‌پلیمرهای پروتئینی از کوپلیمرهای اسید آمینه ساخته شده‌اند و می‌توانند به پروتئین‌های منشأ گیاهی (مانند گلوتن و سویا) و پروتئین‌های حیوانی (مانند آب پنیر، کلاژن و کراتین) تقسیم شوند. زیست‌پلیمرهای پروتئینی دارای خواص مفید فراوانی مانند خواص مکانیکی خوب، خواص ممانعت کننده عالی گاز، توانایی خوب تشکیل فیلم، ارزش غذایی و خاصیت ارتجاعی هستند، بنابراین آنها را برای کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی مناسب می‌کند. با این حال، این پروتئین‌ها آب‌دوست هستند و باعث می‌شود که خاصیت سدی در برابر آب ضعیفی داشته باشند. پلیمرهای زیستی بر پایه پروتئین کاربردهای بالقوه‌ای در زیست‌پزشکی و بسته- بندی مواد غذایی دارند. پلیمرهای بر پایه پروتئین از جمله پروتئین آب‌پنیر، ژلاتین، گلوتن گندم، ذرت، زئین و پروتئین سویا برای تولید فیلم‌های خوراکی در بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و خواص مکانیکی و سدی آن‌ها را بهبود می‌بخشند. علاوه بر این، پلیمرهای زیستی مانند کراتین، کازئین، زئین، ژلاتین و پروتئین سویا نقش مهمی در

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

تهیه محصولات مختلف صنعتی مانند کیسه‌های خرید، فیلم محافظ و محصولات بهداشتی ایفا می‌کنند. خواص مکانیکی و سایر خواص زیست‌پلیمرهای پروتئینی را می‌توان با ترکیب آنها با پلیمرهای زیستی دیگر (پروتئینی/غیر پروتئینی) یا با سایر عوامل تقویت کننده افزایش داد. زیست-پلیمرهای پروتئینی به‌صورت لایه‌های پوششی به‌عنوان جایگزینی برای پلیمرهای مصنوعی در بسته‌بندی مواد غذایی عمل می‌کنند[٥٤].

خواص نگهدارندگی سطحی و ضدعفونی کننده اسانس‌ها به‌تنهایی یا به‌عنوان مواد فعال در پوشش‌های زیست‌پلیمری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مطالعات بیشتر ممکن است درک محققان را در مورد چگونگی افزودن مؤثر این اسانس‌ها به پوشش تخم‌مرغ و همچنین فواید و مضرات بالقوه آنها در حفظ و ایمنی میکروبیولوژیکی تخم‌مرغ افزایش دهد. پوشش‌های پروتئینی حاوی اسانس می‌توانند ابزار کارآمدی برای حفظ واحد هاو در محدوده ایده‌آل برای درجه‌بندی کیفیت تخم‌مرغ‌های (AA) ذخیره‌شده در دمای اتاق باشند. در مطالعه‌ای با هدف بررسی اثرات فرمولاسیون پوششی شامل ایزوله پروتئین آب‌پنیر (WPI) و اسانس سیر بر کیفیت داخلی و ویژگی‌های میکروبیولوژیکی و حسی تخم بلدرچین به‌مدت ۲۸ روز در دمای اتاق نگهداری نشان داده شد که تخم‌های دارای پوشش فعال، باکتری مزوفیل هوازی، *انتروباکتریاسه*، کپک‌ها و مخمرهای کمتری روی پوسته داشتند. واحد هاو در تخم‌های حاوی پوشش فعال طی دوره نگهداری نسبت به تخم‌های دارای پوشش WPI یا تخم‌های فاقد پوشش، بالاتر بود [٥٥].

اسانس چای (*Melaleuca alternifolia*) مخلوط پیچیده‌ای از ترپن‌ها و الکل‌های سوم است. اجزای اصلی آن ترپینن-٤-اول و ۱،۸-سینئول هستند. اسانس کوپایبا[1] (*Copaifera langsdorffii*) حاوی حدود ۸۰ درصد سسکوئی‌ترپن‌ها، و ۲۰ درصد دی‌ترپن‌ها هستند. آویشن (*Thymus vulgaris*) حاوی غلظت بالایی از ترکیبات فنولی از جمله کارواکرول، تیمول، پی-سیمن و ترپینن است. به‌دلیل وجود این مواد می‌توان از اسانس‌ها در کاربردهای مختلفی مانند ضد میکروبی و ضد اکسیدان استفاده کرد. لذا در بررسی اثربخشی پوشش‌های پروتئین برنج غنی‌شده با این اسانس‌ها بر حفظ کیفیت داخلی تخم‌مرغ‌های تازه در طول نگهداری در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٦ هفته نشان داده شد بکارگیری پوشش‌ها موجب حفظ و بهبود ویژگی-های کیفیت داخلی تخم‌مرغ و افزایش ماندگاری آن شد. پوشش پروتئین برنج دارای خاصیت آب‌گریزی و آب‌بندی کافی برای کاهش مؤثر اتلاف آب در طول نگهداری در دمای اتاق تا ٦ هفته بود. افزودن لیپیدهای مواد به پوشش ممکن است خواص مانع رطوبت را بهبود بخشد. اسانس‌ها به‌دلیل ویژگی‌های چربی دوست می‌توانند مانعی برای از دست دادن جرم و اکسیژن ایجاد کنند [٥٦].

اجزای اصلی فنولی شناسایی شده در اسانس دارچین (*Cinnamomum verum*) شامل اسیدهای فنولیک، روغن‌های فرار فنولی (۲-هیدروکسی سینامالدئید، سینامیل آلدئید، مشتقات) و فلاوان-۳-اول‌ها هستند. در بررسی اسپکتروفتومتری ظرفیت ضد اکسیدانی، به‌دلیل نسبت کم روغن‌های فرار فنولی در ترکیب اسانس زنجبیل (*Zingiber officinale*)، اسانس دارچین ظرفیت ضد اکسیدانی بسیار بیشتری نسبت به آن نشان می‌دهد. با این وجود، گزارش شد که هیچ‌یک از اسانس‌ها توانایی فیلم‌های کازئینات سدیم را برای محافظت در برابر اکسیداسیون لیپید بهبود نبخشد [٥٧].

در بررسی ساختار و عملکرد فیلم ژلاتینی، فیلم ژلاتین-سلولز باکتریایی و فیلم نانوکامپوزیت ژلاتین- سلولز باکتریایی- اکسید منیزیم نشان داده شد که با سلولز باکتریایی، ریزساختار مقطعی فیلم منافذ کمتر و کوچکتری را نشان داد، نفوذپذیری بخار آب کاهش و ازدیاد طول در نقطه شکست افزایش یافت. با افزودن نانو ذرات اکسید منیزیم سطح مقطع فیلم متراکم‌تر و یکنواخت‌تر شد و آب‌گریزی سطح فیلم

1 -Copaíba

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

افزایش یافت. پس از پوشش دادن تخم‌مرغ‌های نگهداری شده با این فیلم‌ها، میزان کاهش وزن، محتوای نیتروژن فرار کل و سختی کمتر از تخم‌مرغ‌های بدون پوشش بود [۵۸].

۳-۳- پلی‌استرهای آلیفاتیک

به کلیه ترکیبات هیدروکربنی غیر آروماتیک، ترکیبات آلیفاتیک[2] گفته می‌شود. پلی‌استرهای آلیفاتیک زیست‌پلیمرهایی هستند که از ساختارهای تکرار شونده‌ای تشکیل شده‌اند که پس از تجزیه، متابولیت‌هایی مانند پلی (بتا هیدروکسی آلکانوات) و پلی (آلفا هیدروکسی آلکانوات) تولید می‌کنند. به‌دلیل وجود پیوندهای استری در زنجیره‌های نرم که آنها را به هیدرولیز حساس می‌کند، به‌راحتی زیست تخریب‌پذیر هستند. برخی از پلی‌استرهای آلیفاتیک که در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند شامل پلی‌لاکتیک اسید، پلی (بوتیلن آدیپات ترفتالات)، پلی هیدروکسی آلکانوات، پلی بوتیلن سوکسینات، پلی هیدروکسی بوتیرات و پلی کاپرولاکتون هستند. پلی‌استرهای آلیفاتیک بیشتر زیست‌پلاستیک‌ها را تشکیل می‌دهند و تولید جهانی آن در سال ۲۰۲۰ به ۲/۱۱ میلیون تن رسید که از این میان بالاترین بخش بازار مربوط به بازار بسته‌بندی است که ۴۷ درصد (۰/۹۹ میلیون تن) را شامل می‌شود [۵۹ و ۳۰].

در میان پلیمرهای رایج مورد استفاده، پلی‌وینیل الکل یک ماده خام پرکاربرد با خاصیت تشکیل فیلم عالی، استحکام کششی بالا و پایداری شیمیایی خوب، اما توانایی سدی در برابر آب ضعیف است. نشان داده شد که کیتوزان، ویژگی‌های فیلم پلی‌وینیل الکل را بهبود می‌بخشد. طوری‌که فیلم‌های کامپوزیتی بر پایه پلی‌وینیل الکل و کیتوزان دارای خواص فیزیکی و فعالیت‌های ضد اکسیدانی بالا هستند. البته خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم کیتوزان تحت تأثیر سطح و وزن مولکولی کیتوزان و به‌خصوص نوع حلال اسیدی قرار می‌گیرد. پوشش‌های خوراکی کامپوزیت کیتوزان- پلی‌وینیل الکل، به‌خصوص زمانی‌که سهم پلی‌وینیل الکل در ترکیب پوشش بالاتر (۷۵ در برابر ۲۵ درصد)، نسبت به هر یک از اجزای خالص، خواص ممانعتی بهتری داشت و ماندگاری را حداقل به‌مدت ۲ هفته افزایش داد [۶۱ و ۶۰].

فیلم کامپوزیتی بر پایه پلی‌وینیل الکل، سدیم آلژینات و کیتوزان و اثرات پوشش مربوطه بر تغییرات کیفی داخلی تخم اردک در طول ذخیره‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. نشان داده شد با توجه به خواص مکانیکی، حلالیت، و توانایی مانع آب فیلم دولایه دارای پایداری ذخیره‌سازی بهتری در مقایسه با فیلم‌های تک‌لایه بود. پوشش دولایه در حفظ کیفیت داخلی تخم اردک زمانی که در دمای اتاق نگهداری شد کارآمد بود و توانست عمر مفید آن‌ها را افزایش دهد [۶۲].

فیلم‌های پلی‌لاکتیک اسید، به‌طور کامل زیست تخریب‌پذیر هستند. پلی‌لاکتیک اسید از تخمیر ضایعات آلی صنایع کشاورزی و غذایی (به‌عنوان مثال ذرت) برای استخراج قند به‌دست می‌آید. سپس قند به اسید لاکتیک تبدیل می‌شود که پس از خالص‌سازی به پلی‌لاکتیک اسید پلیمریزه می‌شود. مشکل فیلم‌های پلی‌لاکتیک اسید این است که هنوز نمی‌توان از این نوع فیلم برای محصولاتی که به عوامل خارجی مانند اکسیژن و به‌خصوص رطوبت حساسند، استفاده کرد، ضمن اینکه انعطاف‌پذیری کمی نیز دارند. استفاده از بسته‌بندی‌های بر پایه پلی‌لاکتیک اسید عمدتاً به‌دلیل ویژگی‌های ناکافی سدی در برابر گاز هنوز بسیار محدود است. برای بهینه‌سازی نفوذپذیری این فیلم، رهیافت پوشش فیلم با زیست‌پلیمرهایی مانند کیتوزان، ژلاتین و سایر هیدروکلوئیدها جهت حفظ تجزیه‌پذیری زیستی و همچنین بهبود خواص سدی مورد آزمایش قرار گرفته است [۶۳]. یک فیلم بر پایه پلی‌لاکتیک اسید فعال شده با اسانس دارچین (*Cinnamomum verum*) توسط خنجری و همکاران [۶۴] ساخته شد. آنها نشان دادند که این فیلم رشد بیشتر باکتری‌ها، مجموع ازت فرار و مواد واکنش‌دهنده با اسید تیوباربیتوریک را کاهش می‌دهد. پلی هیدروکسی بوتیرات، یک پلی- بتا- هیدروکسی آلکانوات زیست تخریب‌پذیر شناخته شده است که توسط باکتری‌های متعددی به‌عنوان

2 -Aliphatic compound

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

کربن داخلی یا ذخیره انرژی سنتز می‌شود. پلی هیدروکسی بوتیرات یکی از چندین پلیمر زیست تخریب‌پذیری است که به تولید تجاری رسیده است و با توجه به غیر سمی بودن و داشتن خواص مقاومت حرارتی و سدی خوب در برابر آب، کاربردهای گسترده‌ای در بسته‌بندی تا اقلام زیست‌پزشکی پیچیده دارد. در مطالعات متعددی ظرفیت بالقوه فیلم‌ها و پوشش‌های بر پایه پلی هیدروکسی بوتیرات برای کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفته است؛ فیلم نانوکامپوزیت فعال بر پایه پلی هیدروکسی بوتیرات با ترکیب نانو سیلیس و اسانس میخک فعالیت ضد باکتریایی بالایی در برابر *اشریشیا کلی*، *آسپرژیلوس نایجر* و *استافیلوکوکوس اورئوس* نشان داد. فیلم‌های فعال بر پایه پلی هیدروکسی بوتیرات غنی‌شده با اسانس‌های مختلف از جمله روغن هسته انگور، زنجبیل و ترنج تهیه و ویژگی‌های مکانیکی، حرارتی، مانع و ضد میکروبی مطلوب آنها مشخص شد. همچنین فیلم‌های کامپوزیت فعال پلی‌لاکتیک اسید- پلی هیدروکسی بوتیرات پوشش داده شده با متیل سلولز و کیتوزان همراه با عصاره برگ زیتون، فیلم کامپوزیت فعال پلی‌لاکتیک اسید- پلی هیدروکسی بوتیرات غنی‌شده با آلفا- توکوفرول و نیز حاوی اسانس رازیانه برای افزایش ماندگاری محصولات غذایی تولید و با نتایج مثبتی همراه بود [۶۳].

٤-نتیجه‌گیری

زیست‌پلیمرها جایگزین‌های زیست تخریب‌پذیر، غیر سمی، تجدیدپذیر و زیست‌سازگار برای مواد بسته‌بندی مصنوعی هستند و از آلودگی زیست‌محیطی ناشی از پلیمرهای مصنوعی جلوگیری می‌کنند. آنها توانایی تشکیل فیلم داشته و می‌توانند با غلبه بر برخی نقاط ضعف فیزیکی و مکانیکی- شان از طریق ترکیب با زیست‌پلیمرهای دیگر و نیز استفاده از عوامل تقویت‌کننده، منجر به ساخت مواد بسته‌بندی فعال، هوشمند و با کارایی بالاتر شوند. در این بین، پلی‌فنول‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ترکیبات شیمیایی گیاهی با دارا بودن خواص ضد اکسیدانی و ضد باکتریایی اهمیت بسزایی در ساخت مواد بسته‌بندی فعال دارند. بکارگیری پوشش زیست‌پلیمری بر پایه پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و نیز پلی- استرهای آلیفاتیک به تنهایی یا در ترکیب با یکدیگر به- صورت ساده یا فعال در بسته‌بندی تخم‌مرغ با نتایج مطلوب و امیدوارکننده‌ای همراه بوده است. لفاف‌های زیست‌پلیمری مورد استفاده در بسته‌بندی تخم‌مرغ با مسدود نمودن منافذ ریز پوسته، از تبادلات جرمی جلوگیری می‌کنند. در عین حال، ساخت مواد بسته‌بندی زیست‌پلیمری فعال با گنجاندن عصاره و اسانس گیاهی، موجب تقویت خواص ضد اکسیدانی، ضد میکروبی و سدی لفاف‌ها ناشی از ماهیت آب‌گریزی و خواص اختصاصی ترکیبات فنولی شده که به حفظ فراسنجه‌های کیفیت داخلی (افت وزنی، تغییرات pH، تغییرات واحد هاو و اندیس زده، شاخص‌های فساد اکسیداتیو و میکروبی) و پوسته و در نهایت افزایش ماندگاری تخم‌مرغ می‌انجامد.

٥- منابع

[1] Carvalho, C.L. Andretta, I., Galli, G.M., Camargo, N.d.O.T., Stefanello, T.B., Migliorini, M.J., Melchior, R. and Kipper, M. 2023. Effects of dietary β-mannanase supplementation on egg quality during storage. Poultry, 2: 111–122. DOI: 10.3390/poultry2010011

[2] Khademi Shurmasti, D. 2022. Functional eggs; enriched with minerals, vitamins and pigments. Quality and Durability of Agricultural and Food Products, 4(1): 12-28. DOI: 10.30495/qafj.2022.1956967.1028 [In Persian].

[3] Carvalho, C.L., Andretta, I., Galli, G.M., Stefanello, T.B., Camargo, N.d.O.T., Marchiori, M., Melchior, R. and Kipper, M. 2022. Effects of dietary probiotic supplementation on egg quality during storage. Poultry, 1: 180–192. DOI: 10.3390/poultry1030016

[4] Caner, C. and Yuceer, M. 2015. Efficacy of various protein-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs during storage. Poult. Sci. 94: 1665-1677.

[5] Gabriela da Silva, P. G., Daniela da Silva, P. D., Cardinal, K. M. and Bavaresco, C. 2020. The

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

use of coatings in eggs: A systematic review. Trends Food Sci Technol., 106: 312-321, DOI: 10.1016/j.tifs.2020.10.019.

[6] Allende, A., Tom´as-Barberan, F. A. and Gil, M. 2006. Minimal processing for healthy traditional foods. Trends Food Sci Technol. 17: 513–519.

[7] Siddiqui, S. A. Khan, S., Mehdizadeh, M., Bahmid, N.A., Adli, D.N., Walker, T.R., Perestrelo, R. and Camara, J.S. 2023. Phytochemicals and bioactive constituents in food packaging – A systematic review. Heliyon, 9: e21196. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e2119

[8] Matthews, C., Moran, F. and Jaiswal, A.K. 2021. A review on European Union's strategy for plastics in a circular economy and its impact on food safety. J. Clean. Prod., 283: 125263.

[9] Reichert, C.L., Bugnicourt, E., Coltelli, M.B., Cinelli, P., Lazzeri, A., Canesi, I., Braca, F., Martinez, B.M., Alonso, R., Agostinis, L. *et al*. 2020. Bio-based packaging: materials, modifications, industrial applications and sustainability. Polymers, 12: 1558.

[10] Groh, K.J., Backhaus, T., Carney-Almroth, B., Geueke, B., Inostroza, P.A., Lennquist, A., Leslie, H.A., Maffini, M., Slunge, D., Trasande, L. *et al*. 2019. Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards. Sci. Total Environ., 651: 3253–3268.

[11] Angellier-Coussy, H., Chalier, P., Gastaldi, E., Guillard, V., Guillaume, C., Gontard, N. and Peyron, S. 2013. Protein-based nanocomposites for food packaging. In: Dufresne, A., Thomas, S. and Pothan, L.A. (eds.), Biopolymer Nanocomposites: Processing, Properties, and Applications, pp: 613–654. Wiley, New York. DOI: 10.1002/9781118609958.ch25

[12] Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J.A. and Vázquez, M. 2017. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. Food Hydrocoll., 68: 136–148.

[13] Ebrahimpour Kasmani, J., Khademi Shurmasti, D. and Samarih, A. 2023. Application of biodegradable wrappers polysaccharide-based in egg packaging: A review. Scientific Journal of Packaging Science and Art, 14(3): 51-62 [In Persian].

[14] Salarbashi, D., Bazeli, J. and Tafaghodi, M. 2019. Environment-friendly green composites based on soluble soybean polysaccharide: A review. Int. J. Biol. Macromol., 122: 216–223.

[15] Jeya Jeevahan, J., Chandrasekaran, M., Venkatesan, S.P., Sriram, V., Britto Joseph, G., Mageshwaran, G. and Durairaj, R.B. 2020. Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. Trends Food Sci. Technol., 100, 210–222.

[16] Mardani Kiasari, M. and Khademi Shurmasti, D. 2020. Effect of lemon grass (Cymbopogon citratus) extract and nanoclay in nanocomposite coating on the physicochemical and microbial properties of chicken fillets during refrigerated storage. Journal of Food Science and Technology, 17(106): 13-21. DOI: 10.29252/fsct.17.09.02 [In Persian].

[17] Sharifi, A.A. and Khademi Shurmasti, D. 2022. Effect of carboxymethyl cellulose-based nanocomposite coating on internal quality and eggshell morphology during storage at ambient temperature. Quality and Durability of Agricultural and Food Products, 2(1): 1-13. DOI: 10.30495/qafj.2022.1952893.1025 [In Persian].

[18] Ahmadi, Z. and Khademi Shurmasti, D. 2020. Effects of *Mentha spicata* L. extract in carboxymethyl cellulose-oleic acid composite coating on the shelf life of fish fillets during cold storage. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 36(5): 724-733. DOI: 10.22092/ijmapr.2020.343042.2797 [In Persian].

[19] Ghorbani, M., Khademi Shurmasti, D. and Fahim Dezhban, F. 2023. Effect of active composite coating enriched with *Echinacea Purpurea* L. Moench extract on the shelf life of *Oncorhynchuus Mykiss* fillet during cold storage. Quality and Durability of Agricultural and Food Products, 3(1): 1-12. DOI: 10.30495/qafj.2023.1989150.1079 [In Persian].

[20] Valipor Kootenaei, F., Ariaii, P., Khademi Shurmasti, D. and Nemati, M. 2016. Effect of chitosan edible coating enriched with eucalyptus essential oil and α- tocopherol on silver carp fillets quality during refrigerated storage. J. Food Saf., DOI: 10.1111/jfs.12295.

[21] Hajighasem Sharbatdar, H. and Khademi Shurmasti, D. 2022. The effect of bio-filler-reinforced chitosan coating with types of solvent on internal changes and outer eggshell morphology. SVU- International Journal of Veterinary Sciences, 5(2): 45-54. DOI: 10.21608/svu.2022.129538.1184

[22] Sharbatdar, H.H. and Khademi Shurmasti, D. 2023. Effect of solvent types in chitosan-based nanocomposite coating on internal quality and eggshell morphology. Asia-Pacific Journal of Science and Technology, 28(4), APST–28. DOI: 10.14456/apst.2023.65

[23] Ghahramani, S., Hejazi, S. and Abdolkhani, A. 2024. Investigating the application of nano

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

chitosan in the paper and food packaging industry. Scientific Journal of Packaging Science and Art, 15(1): 61-68 [In Persian].

[24] Riazi Kermani, P., Khademi Shurmasti, D. and Alizadeh Karsalar, A. 2023. Investigation of physical, mechanical and morphological properties of chitosan film prepared with different levels, molecular weights and solvents. Scientific Journal of Packaging Science and Art, 14(2): 9-19 [In Persian].

[25] Sharifi, A. and Khademi Shurmasti, D. 2023. Effect of chitosan molecular weight and type of plasticizer in edible coating on internal quality and eggshell morphology, Iranian Journal of Food Science and Technology, 20(136):137-149. DOI: 10.22034/FSCT.20.136.137 [In Persian].

[26] Sani, M.A., Azizi-Lalabadi, M., Tavassoli, M., Mohammadi, K. and McClements, D.J. 2021. Recent advances in the development of smart and active biodegradable packaging materials. Nanomaterials, 1 (11): 1331. DOI: 10.3390/nano11051331

[27] Baghi, F., Gharsallaoui, A., Dumas, E. and Ghnimi, S. 2022. Advancements in biodegradable active films for food packaging: effects of nano/microcapsule incorporation. Foods, 11, 760.

[28] Jafarzadeh, S., Jafari, S.M., Salehabadi, A., Nafchi, A.M., Uthaya Kumar, U.S. and Khalil, H.P.S.A. 2020. Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their by-products. Trends Food Sci. Technol., 100: 262–277.

[29] Akbari, S. M. and Mehregan Nikoo, A. 2023. Active packaging containing scavenging compounds: a review. Scientific Journal of Packaging Science and Art, 14(2): 57-66 [In Persian].

[30] Perera, K.Y., Jaiswal, A.K. and Jaiswal, S. 2023. Biopolymer-based sustainable food packaging materials: challenges, solutions, and applications. Foods, 12: 2422. DOI: 10.3390/foods12122422

[31] Dey, A. and Neogi, S. 2019. Oxygen scavengers for food packaging applications: a review. Trends Food Sci. Technol., 90: 26–34.

[32] Varghese, S.A., Siengchin, S. and Parameswaranpillai, J. 2020. Essential oils as antimicrobial agents in biopolymer-based food packaging- a comprehensive review. Food Biosci., 38: 100785.

[33] Hoseinzade, D. and Mehregan Nikoo, A. 2024. Biodegradable films from bacterial cellulose: a Review. Scientific Journal of Packaging Science and Art, 15(1): 51-60 [In Persian].

[34] Arfaoui, L. 2021. Dietary plant polyphenols: effects of food processing on their content and bioavailability, Molecules, 26: 2959. DOI: 10.3390/molecules26102959

[35] Serra, V., Salvatori, G. and Pastorelli, G. 2021. Dietary polyphenol supplementation in food producing animals: effects on the quality of derived products. Animals, 11: 401. DOI: 10.3390/ani11020401

[36] Manso, T., Lores, M., de Miguel, T. 2022. Antimicrobial activity of polyphenols and natural polyphenolic extracts on clinical isolates. Antibiotics, 11: 46. DOI: 10.3390/antibiotics11010046

[37] Zhang, Y., Wang, B., Lu, F., Wang, L., Ding, Y. and Kang, X. 2021. Plant-derived antioxidants incorporated into active packaging intended for vegetables and fatty animal products: a review. Food Addit. Contam. 38: 1237. DOI: 10.1080/19440049.2021.188574

[38] Kumar, Y., Yadav, D.N., Ahmad, T. and Narsaiah, K. 2015. Recent trends in the use of natural antioxidants for meat and meat products. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 14: 796. DOI: 10.1111/1541-4337.12156

[39] Siddiqui, S.A., Redha, A.A., Esmaeili, Y. and Mehdizadeh, M. 2022. Novel insights on extraction and encapsulation techniques of elderberry bioactive compounds. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 63(22): 5937-5952. DOI: 10.1080/10408398.2022.2026290.

[40] Bahrami Feridoni, S. and Khademi Shurmasti, D. 2020. Effect of the nanoencapsulated sour tea (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract with carboxymethyl cellulose on quality and shelf life of chicken nugget. Food Sci. Nutr., 00: 1-12. DOI: 10.1002/fsn3.1656

[41] Ghenabzia, H. Hemmami, I.B. Amor, S. Zeghoud, B.B. Seghir, R. Hammoudi. 2023. Different methods of extraction of bioactive compounds and their effect on biological activity: a review. International Journal of Secondary Metabolite, 10 (4): 469-494 DOI: 10.21448/ijsm.1225936

[42] Huang, G., Chen, F., Yang, W. and Huang, H. 2021. Preparation, deproteinization and comparison of bioactive polysaccharides. Trends Food Sci. Technol., 109: 564–568.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

[43] Khademi Shurmasti, D. 2022. Cellulose derivatives as edible film and coating; Characteristics and effect on the quality and shelf life of animal, poultry and aquatic products. Iranian Journal of Food Science and Technology, 18(121): 349-364. DOI: 10.52547/fsct.18.121.28 [In Persian].

[44] Ehsan, M. and Khademi Shurmasti, D. 2021. Effect of washing and active nanocomposite coating of carboxymethyl cellulose-nanoclay containing marjoram extract (*Origanum vulgare* L) on egg quality during storage at ambient temperature. Iranian Journal of Food Science and Technology, 18(118): 107-118. DOI: 10.52547/fsct.18.09.09 [In Persian].

[45] Ehsan, M. and Khademi Shurmasti, D. 2022. Effects of washing and nanocomposite active coating of carboxymethyl cellulose containing nanoclay and marjoram extract (*Origanum vulgare* L) on the internal quality and eggshell during cold storage. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology, 16(4): 111-120. DOI: 20.1001.1.17357756.1400.16.4.7.6 [In Persian].

[46] Yousefi Zirabi, E. and Khademi Shurmasti, D. 2024. Monitoring the physicochemical changes of eggs coated with active nanocomposite incorporating garlic extract (*Allium sativum* L.) during storage. Journal of Food Science and Technology, 21(153): 1-11. DOI: 10.22034/FSCT.21.153.1 [In Persian].

[47] Oliveira, G.D.S., McManus, C., Pires, P.G.D.S. and dos Santos, V.M. 2022. Combination of cassava starch biopolymer and essential oils for coating table eggs. Front. Sustain. Food Syst., 6: 957229

[48] de Araújo, M.V., Oliveira, G.d.S., McManus, C., Vale, I.R.R., Salgado, C.B., Pires, P.G.d.S., de Campos, T.A., Gonçalves, L.F., Almeida, A.P.C., Martins, G.d.S. *et al*. 2023. Preserving the internal quality of quail eggs using a corn starch-based coating combined with basil essential oil. Processes, 11: 1612. DOI: 10.3390/pr11061612

[49] Eddin, S. and Tahergorabi, R. 2019. Efficacy of sweet potato starch-based coating to improve quality and safety of hen eggs during storage. Coatings, 9: 205. DOI: 10.3390/coatings9030205

[50] Nashi, H. Barzegar, M. Nouri, Sh. Jaldani. 2017. Investigating the effect of carboxymethyl cellulose coating containing nanoclay and peppermint essence on egg storage properties. Biosystem Engineering of Iran. 48(2): 229-239.

[51] Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Jawad, M., Shah, Y.A., Al-Azri, M.S., Ullah, S., Oz, E., Oz, F., Koca, E. and Aydemir, L.Y. 2023. Development, characterization, and assessment of antioxidant pectin–sodium alginate based edible films incorporated with cassia essential oil. International of Food Science and Technology, 58(9): 4652-4665. DOI: 10.1111/ijfs.16569

[52] Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Shah, Y.A., Altoubi, H.W.K., Kotta, S., Sharma, P., Anwer, M.K., Kaithavalappil, D.S., Koca, E. and Aydemir, L.Y. 2023. Fabrication, characterization, and antioxidant potential of sodium alginate/acacia gum hydrogel-based films loaded with cinnamon essential oil. Gels, 9: 337. DOI: 10.3390/gels9040337

[53] Didar, Z. 2019. Effects of coatings with pectin and *Cinnamomum verum* hydrosol included pectin on physical characteristics and shelf life of chicken eggs stored at 30°C. Nutrition and Food Sciences Research, 6(4): 39-45. DOI: 10.29252/nfsr.6.4.39

[54] Reichert, C.L., Bugnicourt, E., Coltelli, M.B., Cinelli, P., Lazzeri, A., Canesi, I., Braca, F., Martinez, B.M., Alonso, R., Agostinis, L. *et al*. 2020. Bio-based packaging: materials, modifications, industrial applications and sustainability. Polymers, 12: 1558.

[55] Vale, I.R.R., Oliveira, G.d.S., McManus, C., de Araújo, M.V., Salgado, C.B., Pires, P.G.d.S., de Campos, T.A., Gonçalves, L.F., Almeida, A.P.C., Martins, G.d.S. *et al*. 2023 Whey protein isolate and garlic essential oil as an antimicrobial coating to preserve the internal quality of quail eggs. Coatings, 13: 1369. DOI: 10.3390/coatings13081369

[56] Pires, P.G.S., Leuven, A.F.R., Franceschi, C.H., Machado, G.S., Pires, P.D.S., Moraes, P.O., Kindlein, L. and Andretta, I. 2020. Effects of rice protein coating enriched with essential oils on internal quality and shelf life of eggs during room temperature storage. Poult. Sci., 99: 604-611. DOI: 10.3382/ps/pez546

[57] Atarés, L., Bonilla, J. and Chiralt, A. 2010. Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. J. Food Eng., 100: 678-687. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.05.018

[58] Wang, Y., Luo, W., Tu, Y. and Zhao, Y. 2021. Gelatin-based nanocomposite film with bacterial cellulose–MgO nanoparticles and its application in packaging of preserved eggs. Coatings, 11: 39. DOI: 10.3390/coatings11010039

[59] Roy, S., Rhim, J.-W. and Jaiswal, L. 2019. Bioactive agar-based functional composite film

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

incorporated with copper sulfide nanoparticles. Food Hydrocoll., 93: 156–166.

[60] Riazi Kermani, P., Khademi Shurmasti, D. and Alizadeh Karsalari, A. 2023. Optimization of chitosan film and effect of mixing ratio in chitosan-polyvinyl alcohol coating on internal quality parameters of eggs. Quality and Durability of Agricultural and Food Products, 2(3): 76-90. DOI: 10.30495/qafj.2023.1980315.1057 [In Persian].

[61] Khademi Shurmasti, D., Riazi Kermani, P., Sarvarian, M. and Godswill Awuchi, C. 2023. Egg shelf life can be extended using varied proportions of polyvinyl alcohol/chitosan composite coatings. Food Sci. Nutr., 11(9): 5041-5049. DOI: 10.1002/fsn3.3394

[62] Jiang, Y., Zhuang, C., Zhong, Y., Zhao, Y., Deng, Y., Gao, H., Chen, H. and Mu, H. 2018. Effect of bilayer coating composed of polyvinyl alcohol, chitosan, and sodium alginate on salted duck eggs. Int. J. Food Prop., 21: 1: 868-878, DOI: 10.1080/10942912.2018.1466327

[63] Marasinghe, W.N., Jayathunge, K.G.L.R., Dassanayake, R.S., Liyanage, R., Bandara, P.C., Rajapaksha, S.M. and Gunathilake, C. 2024. Structure, properties, and recent developments in polysaccharide- and aliphatic polyester-based packaging, a review. J. Compos. Sci., 8: 114. DOI: 10.3390/jcs8030114

[64] Khanjari, A., Esmaeili, H. and Hamedi, M. 2023. Shelf-life extension of minced squab using polylactic acid films containing *Cinnamomum Verum* essential oil. Int. J. Food Microbiol., 385: 109982.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

The use of polyphenols in egg active packaging to extend its shelf life, a review

Dariush Khademi Shurmasti

Associate Professor, Department of Agriculture, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:
Received:2024/8/6
Accepted:2024/9/30

Keywords:

Packaging,
Egg,
Biopolymer,
Bioactive,
Phytochemical

DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239.

*Corresponding Author E-
Da.khademi@iau.ac.ir

ABSTRACT

Eggs are one of the superior value natural sources of protein and other nutrients, at the same time, they are vastly perishable. Consumers' concern about egg contamination and transmission of pathogens, especially salmonella, increased the desire to use safe and packaged eggs. The environmental hazards of synthetic polymers as packaging materials have become a global problem, for this reason, their replacement with biodegradable ones has been developed. To overcome some physical and mechanical weaknesses as well as increase bio-polymers performance, they are combined (composite) and/or reinforcing agents and natural agents are used in their fabrication. A variety of plant essential oils and extracts are widely used in active packaging materials. The results of the studies showed that the barrier and functional properties of active biopolymers are improved due to their hydrophobic nature, as well as the antioxidant and antimicrobial properties of polyphenols content of essential oils and extracts. Egg packaging with these active biopolymers preserves internal quality during storage and ultimately extends its shelf life. In this article, an attempt has been made to review the use of plant chemical compounds (phytochemical) in active biopolymers for egg packaging based on polysaccharide, protein and aliphatic polyester

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-09]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.239]