*Journal of Packaging Science and Technology*

Vol. 14, No. 3, Autumn, 2023 

# Application of Biodegradable Wrappers Polysaccharide-Based in Egg Packaging: A Review

**Jafar Ebrahimpour Kasmani, Dariush khademi Shurmasti*, Ahmad Samariha**

*Assistant Professor, Department of Agriculture, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran

(Received: 20/04/2023; Accepted: 31/07/2023)

## Abstract

*Eggs are an inexpensive food with various nutrients and high biological value. The decline in egg quality starts immediately after laying and progresses rapidly depending on the storage conditions. To aim of preventing the penetration of microorganisms and gas and mass exchanges, various approaches were studied based on inactivating microorganisms and coating the pores on the eggshell, in order to maintain the quality and extension of the egg shelf life. As an alternative to the traditional packaging of eggs and other food products, using biodegradable wrappers based on agricultural and food industries waste was associated with successful results. Polysaccharide packaging materials are low-cost and available, but they are not considered suitable wrappers against the penetration of water vapor, so this problem can be solved by applying physical and chemical modification methods and creating composite and active wrappers. Using food wrappers in the form of biodegradable packaging, in addition to preventing food wastage and longer protecting food, is an effective approach to overcoming the problems of waste disposal. At the same time, proper design and appearance, economic justification, using devices and practical methods in preparation, and appropriate, compatible, efficient and competitive formulation should also be considered.*

**Keywords:** Coating, Egg, Biodegradable, Film, Shelf Life

*Corresponding Author E-mail: dkhademi@gmail.com

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

نشریه علمی «علوم و فنون بسته‌بندی»
سال چهاردهم، شماره ۵۵، پاییز ۱۴۰۲؛ ص ۶۲-۵۱

**علمی – مروری**

# کاربرد لفاف‌های زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه پلی‌ساکارید در بسته‌بندی تخم‌مرغ

**جعفر ابراهیم‌پور کاسمانی [۱]، داریوش خادمی شورمستی*[۲]، احمد ثمریها[۳]**

۱- دانشیار، گروه منابع طبیعی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران، ۲- استادیار، گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران، ۳- استادیار، گروه صنایع چوب، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۳۱، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹ )

## چکیده

تخم‌مرغ یک ماده غذایی ارزان‌قیمت دارای مواد مغذی متنوع و با ارزش زیستی بالا است. کاهش کیفیت تخم‌مرغ بلافاصله پس از تخم‌گذاری آغاز و بسته به شرایط نگهداری به‌سرعت افزایش می‌یابد. رهیافت‌های مختلفی مبتنی بر غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها و پوشاندن منافذ روی پوسته با هدف جلوگیری از نفوذ میکروارگانیسم‌ها و تبادلات گازی و جرمی جهت حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری تخم‌مرغ مورد مطالعه قرار گرفت. استفاده از لفاف‌های زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه ضایعات کشاورزی و صنایع غذایی، به‌عنوان جایگزین بسته‌بندی‌های سنتی تخم‌مرغ و سایر محصولات غذایی با نتایج موفقیت‌آمیزی همراه بود. مواد بسته‌بندی پلی‌ساکاریدی ارزان‌قیمت و در دسترس هستند؛ اما در برابر نفوذ بخار آب لفاف مناسبی محسوب نمی‌شوند، لذا می‌توان با اعمال روش‌های اصلاحی فیزیکی و شیمیایی و ایجاد لفاف‌های مرکب و فعال بر این مشکل فائق آمد. به‌کارگیری لفاف‌های خوراکی در قالب بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر علاوه بر جلوگیری از هدر رفت مواد غذایی و محافظت طولانی‌تر از غذاها، راهکاری مؤثر در جهت رفع مشکلات دفع بعدی زباله‌ها محسوب می‌شود. در عین حال طراحی و ظاهر مناسب، توجیه اقتصادی، استفاده از دستگاه‌ها و شیوه‌های کاربردی در تهیه، فرمولاسیون مناسب، سازگار، کارآمد و رقابتی نیز باید مد نظر قرار گیرد.

**کلیدواژه‌ها: پوشش، تخم‌مرغ، زیست‌تخریب‌پذیر، فیلم، ماندگاری**

## ۱- مقدمه

تخم‌مرغ یکی از اصلی‌ترین منابع پروتئین حیوانی با قیمت مناسب و کیفیت عالی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه از جمله کشورمان ایران است. این ماده غذایی به‌عنوان منبع پروتئین کامل در نظر گرفته می‌شود. یک تخم‌مرغ حدود ۵۰ گرمی، حاوی ۶/۳ گرم پروتئین است که در قسمت‌های زرده و سفیده توزیع شده است و با توجه به دارا بودن تمام اسیدهای آمینه ضروری و نیز به‌دلیل ارزش زیستی بالا به‌عنوان استانداردی برای مقایسه سایر منابع پروتئینی شناخته می‌شود. پروتئین تخم‌مرغ فواید سلامت‌بخش مختلفی در حمایت از سنتز عضلات اسکلتی، کاهش اشتها، جلوگیری از کمبود پروتئین و کمک به رشد طبیعی کودکان دارد. همچنین با دارابودن ترکیباتی چون لوتئین، زاگزانتین، ویتامین‌ها (کولین، ویتامین D، ویتامین A)، مواد معدنی (سلنیوم، مس، آهن، فسفر، روی) ضمن تأمین بخشی از نیازمندی‌های روزانه موادمعدنی و ویتامین‌ها، از بیماری‌های مزمن محافظت می‌کند [۱].

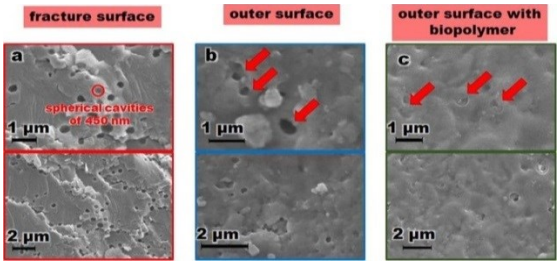
ارزش غذایی تخم‌مرغ به کیفیت آن بستگی دارد. فرآیند اجتناب‌ناپذیر و مداوم کاهش کیفیت داخلی و خارجی تخم‌مرغ در صورت نامناسب بودن شرایط انبارمانی مانند دما و طول دوره نگهداری، به‌شدت سرعت می‌یابد. گاهی اوقات کنترل شرایط محیطی که در آن تخم‌مرغ تازه نگهداری می‌شود، دشوار است. به محض این‌که تخم‌مرغ گذاشته شد، به‌دلیل تبادلات گازها (تبخیر بخار آب و خروج دی‌اکسید کربن) بین محتوای درونی تخم‌مرغ و محیط، روند کاهش کیفیت شروع می‌شود. این فراسنجه‌ها در کیفیت سفیده و زرده نقش داشته و می‌توانند به نفوذ میکروارگانیسم‌ها از طریق پوسته کمک کنند و باعث تخریب میکروبی تخم‌مرغ شوند [۲]. یک رهیافت مؤثر جهت جلوگیری از کاهش کیفیت داخلی و افزایش ماندگاری تخم‌مرغ‌های تازه، نگهداری آن‌ها در دمای یخچال است. در ایالات متحده لازم است که تخم‌مرغ‌ها پس از تخم‌گذاری سرد شوند و در سراسر زنجیره تأمین مواد غذایی در دمای کمتر از ۷/۲ درجه سلسیوس نگهداری شوند. با این حال، در بسیاری از کشورها، از جمله

* رایانامه نویسنده مسئول: dkhademi@gmail.com

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

اتحادیه اروپا، تخم‌ها نباید قبل از فروش به مصرف‌کننده نهایی در یخچال نگهداری شوند. در آمریکای لاتین، نگهداری تخم‌مرغ در مکان‌های فروش در یخچال الزامی نیست. سرد نگهداشتن، موجب افزایش هزینه‌های تولید و به نوبه خود منجر به افزایش قیمت محصول نهایی می‌شود [۳]. حفظ کیفیت تخم‌مرغ در طی دوره نگهداری چالشی است که به عوامل مختلفی بستگی دارد. در دماهای بالاتر، به‌دلیل رخ‌دادن تغییرات سریع فیزیکی و شیمیایی، تخم‌مرغ به‌سرعت کیفیت خود را از دست می‌دهد. لذا استفاده از روش‌ها و راهکارهایی که مانع ایجاد فعل و انفعالات شیمیایی شود یا سرعت آن‌را کاهش دهد، می‌تواند در حفظ کیفیت تخم‌مرغ مؤثر باشد [۴].

با توجه به منافع اقتصادی زیاد مترتب با صنعت طیور، رهیافت‌های زیادی جهت نگهداری تخم‌مرغ مورد مطالعه قرار گرفته است که به‌طور کلی می‌توان آنها را بر اساس سازوکار به دو نوع طبقه‌بندی کرد. اولین سازوکار؛ غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌های روی پوسته تخم‌مرغ با روش‌هایی مانند تیمارهای فراصوت (اولتراسونیک)، ازن، استفاده از سینی‌های کاغذی آغشته به نانو ذرات نقره و بسته‌بندی خلأ است [۵-۸]. سازوکار دیگر این است که منافذ روی پوسته تخم‌مرغ را مسدود کرد تا به‌عنوان سدی در برابر تبادلات بخار آب، گازها و میکروارگانیسم‌ها عمل کند (شکل ۱). در این رابطه مواد پوششی به‌عنوان نوعی بسته‌بندی تخم‌مرغ شامل روغن‌ها [۹ و ۱۰]، پروتئین‌ها [۱۱]، زیست‌پلیمرها [۱۲] و ... مدنظر هستند. در جدول ۱، تأثیر پوشش‌های زیست‌پلیمری طبیعی (بر پایه پلی‌ساکارید، پروتئین و لیپید) بر برخی فراسنجه‌های کیفیت داخلی تخم‌مرغ آمده است [۳].




**شکل (۱):** منافذ و ترک‌های سطحی (**a**)، سطح خارجی تخم‌مرغ شاهد (**b**) و سطح خارجی حاوی پوشش زیست‌پلیمری (**c**) [۱۳]

**جدول (۱):** میانگین شاخص‌های کیفیت داخلی تخم‌مرغ‌های پوشش‌داده شده طی دوره نگهداری در دمای محیط

| شاخص | بدون پوشش | پلی‌ساکارید | پروتئین | لیپید |
|---|---|---|---|---|
| افت وزنی (٪) | ۵/۰۶ | ۳/۸۰ | ۳/۳۲ | ۱/۳۳ |
| واحد هاو | ۵۵/۴۳ | ۶۳/۷۸ | ۶۷/۶۴ | ۶۶/۶۷ |
| pH سفیده | ۹/۰۸ | ۸/۶۶ | ۸/۵۰ | ۸/۶۶ |
| شاخص زرده | ۰/۳۲ | ۰/۳۶ | ۰/۳۸ | ۰/۳۷ |

نکته دیگری که باید مدنظر قرار گیرد، آلوده شدن تخم‌مرغ‌ها به باکتری‌ها (به‌خصوص سالمونلا) است که می‌تواند منجر به مسمومیت غذایی شود. رشد میکروب‌ها در تخم‌مرغ تحت تأثیر یکپارچگی و نفوذناپذیری پوسته تخم‌مرغ و محیط ذخیره‌سازی قرار می‌گیرد. امروزه به‌منظور جلوگیری از آلودگی میکروبی، تخم‌ها قبل از نگهداری و حمل به بازار در معرض شستشو، ضدعفونی و خنک‌سازی قرار می‌گیرند. با این‌حال، شستشو و دستکاری پوسته می‌تواند کوتیکول (سطح روی پوسته که دفاع طبیعی تخم‌ها در برابر آلودگی میکروبی را به‌عهده دارد) را از بین ببرد [۱۴]. شستن تخم‌مرغ همچنان یک موضوع بحث‌برانگیز است و توصیه‌های عملی در کشورهای مختلف متفاوت است. برای مثال، در ایالات متحده آمریکا، ژاپن و استرالیا روش‌های شستشوی تخم‌مرغ به طور معمول اعمال می‌شود، در حالی‌که بسیاری از کشورها از جمله بریتانیا و اتحادیه اروپا در برابر این عمل مقاومت کرده‌اند. بنابراین، اگرچه پوسته تخم‌مرغ به‌عنوان یک سد و محافظ طبیعی آن در نظر گرفته شده، اما منافذ متعدد ریز و درشت موجود بر روی پوسته منجر به تبادلات گازی و همچنین نفوذ میکروبی و در نتیجه باعث کاهش بیشتر کیفیت تخم‌مرغ می‌شود. حتی یک ترک کوچک در پوسته تخم‌مرغ، به خصوص هنگامی‌که تخم‌مرغ‌ها در خارج از یخچال نگهداری می‌شوند، تا حد زیادی خطر آلودگی میکروبی را افزایش می‌دهد [۱۵]. گرچه نشان داده شد که شستشوی تخم‌مرغ به‌تنهایی تأثیر معنی‌داری بر فراسنجه‌های کیفیت داخلی تخم‌مرغ نداشت [۱۶]. اما استفاده از پوشش‌ها پس از شستشوی تخم‌مرغ توانست به حفظ کیفیت داخلی تخم‌مرغ در طول ۹۰ روز نگهداری آن کمک کند [۱۷].

در این مقاله انواع ترکیبات زیست تخریب‌پذیر که در قالب لفاف‌های خوراکی (فیلم و پوشش) جهت بسته‌بندی تخم‌مرغ خوراکی با هدف حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری ایمن استفاده می‌شوند، مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- آلودگی‌های زیست‌محیطی و بسته‌بندی محصولات غذایی

بطور کلی بازار مواد غذایی بخش بزرگی از اقتصاد جهانی را شامل می‌شود و هر ساله با سرعت قابل توجهی در حال رشد است. با توجه به چرخه عمر تولید اغلب مواد غذایی می‌توان گفت که این صنعت یکی از آلاینده‌ترین صنایع در بین فعالیت‌های انسانی است. دلیل اصلی تولید ضایعات غذایی در کشورهای کمتر توسعه‌یافته، نبود زیرساخت‌ها و ابزارهای فن‌آورانه ضعیف برای نگهداری یا توزیع است [۱۸]. انباشت کربن بالا که تغییرات آب و هوایی جهانی را تسریع کرده و با انواع مشکلات و مسئولیت‌های زیست‌محیطی همراه است، یکی دیگر از جنبه‌های منفی تولید این زباله خاص است. علاوه بر این، سلامت انسان به‌دلیل فساد

مواد غذایی به‌شدت به خطر می‌افتد [۱۹]. یکی دیگر از جنبه‌های مهم مورد بررسی در این رابطه، موضوع مواد بسته‌بندی محصولات غذایی است که نقش بسزایی در آلودگی‌های زیست محیطی دارد. در بین مواد بسته‌بندی (پلاستیک، فلز، کاغذ، شیشه و ...)، پلاستیک‌ها از هر نوع و شکلی که باشند به‌دلیل انتشار در تمام بخش‌های محیطی و آلودگی زیست‌بوم‌ها در معرض توجه عموم قرار دارند. علاوه بر این، برخی از بسته‌بندی‌ها حاوی ترکیبات مضر (به عنوان مثال، بیس‌فنول **A**) هستند و بنابراین، جایگزینی آنها برای سلامت انسان مفید است [۲۰]. گرچه عادات مصرف‌کننده به‌سختی تغییر می‌کند، اما توسعه راهبردهایی برای کاهش این روند بدون شک ضروری است.

یکی از رویکردهای مهم برای پرداختن به موضوع بسته‌بندی و جلوگیری از هدر رفت مواد غذایی، با هدف محافظت طولانی‌تر از غذاها در برابر تقلب‌ها و مشکلات دفع بعدی زباله‌ها، بکارگیری لفاف‌های خوراکی است که می‌تواند جایگزین بسته‌بندی سنتی مرسوم شود. گرچه جایگزین کردن لفاف‌های خوراکی در صنایع غذایی موضوع خیلی جدیدی نیست، اما بیانگر یک فنآوری کامل، بالغ و تا حدی پیشرو با نتایج بسیار مطلوب از نظر کارایی و تطبیق‌پذیری هستند. علاوه بر این، برخی از ضایعات صنایع غذایی را می‌توان به‌طور موفقیت‌آمیزی در تهیه فیلم و پوشش-های خوراکی استفاده کرد و بدین ترتیب باعث کاهش زباله در محل‌های دفن زباله شده و به نوبه خود انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد [۲۱]. پیشرفت‌ها و نوآوری‌ها در دهه‌های اخیر هم تعداد کاربردها و هم کیفیت این لفاف‌ها را گسترش داده است.

## ۳- لفاف‌های خوراکی؛ تعریف و دسته‌بندی

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی اساساً به‌عنوان یک بسته‌بندی غذایی محسوب می‌شوند. این نوع بسته‌بندی بدون دانش و پشتوانه علمی در مورد نقش آنها در نگهداری مواد غذایی از دیرباز به‌طور تجربی، استفاده شد. طبق تعریف، فیلم‌ها یا پوشش‌های خوراکی موادی هستند که برای پوشاندن و محصور کردن غذاهای مختلف به‌منظور حفظ خواص آنها استفاده می‌شوند و می‌توانند همراه با غذا مصرف شوند. گرچه فیلم‌ها و پوشش‌ها مفاهیم متفاوتی دارند، گاهی بجای یکدیگر مورد استفاده قرار گرفته و نقش یکسانی را ایفا می‌کنند. در واقع فیلم‌ها با روش‌های مختلف پیش‌ساخته می‌شوند و برای جاسازی مواد غذایی استفاده می‌شوند، در حالی‌که پوشش‌ها با استفاده از محلول‌های عموماً چسبناک بر روی سطح غذا اعمال و مشروط می‌شوند. از ویژگی‌های لفاف‌های خوراکی، می‌توان به سازگاری با محیط زیست و زیست تخریب‌پذیری، کاهش مقدار زباله جامد، بهبود خواص ارگانولپتیک غذا، افزایش خواص تغذیه‌ای با افزودن مواد کمکی، خواص ضد میکروبی و امکان تهیه و ساخت با استفاده از برخی ضایعات کشاورزی اشاره کرد. باید توجه داشت که پوشش و فیلم‌های خوراکی مانند هر بسته‌بندی دیگری برای حفظ خواص مواد غذایی بکارگیری می‌شوند و لذا برای این منظور باید واجد ویژگی‌های خاصی از جمله شناخته شدن به‌عنوان ایمن (GRAS)[1]، استفاده از شیوه‌های تولید مطلوب (GMP)[2] در تهیه، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مطلوب (مقاومت در برابر آسیب‌های احتمالی حین انتقال تا رسیدن به دست مصرف‌کننده، قابلیت چسبندگی به سطح غذا، پایداری در طول مدت نگهداری، حفظ تبادلات گازی، حفظ طعم و عطر و ارزش غذایی، ارتقاء خواص ساختاری و...)، طراحی و ظاهر مناسب، توجیه اقتصادی، استفاده از دستگاه‌ها و شیوه‌های کاربردی در تهیه، فرمولاسیون مناسب، سازگار، کارآمد و رقابتی و ... باشد [۲۲ و ۲۳].

استفاده از لفاف‌های خوراکی روی مواد غذایی به نوعی کار ساده‌ای محسوب می‌شود، زیرا می‌توان از مواد زیستی متعددی با نتایج قابل قبول و مطلوب استفاده کرد. لفاف‌های خوراکی شامل چهار جزء مواد اولیه، نرم‌کننده‌ها (پلاستی‌سایزر)، افزودنی‌ها و حلال‌ها هستند. مواد اولیه مورد استفاده که در این مقاله بیشتر منظور نظر هستند، عموماً به سه دسته از محصولات طبیعی شامل پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و لیپیدها تعلق دارند. منشأ این مواد منابع گیاهی یا حیوانی است و می‌توانند در حالت بکر یا پس از اصلاح اولیه مورد استفاده قرار گیرند.

با وجود اینکه زیست‌پلیمرهای مختلفی به منظور تولید لفاف‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند، هیدروکلوئیدها، اعم از پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها، رایج‌ترین گروه زیست‌پلیمرهای مورد استفاده به‌شمار می‌روند. آنها را می‌توان از منابعی مانند گیاهان، حیوانات یا میکروارگانیسم‌ها به‌دست آورد. مشتقات سلولز، نشاسته‌ها، آلژینات‌ها، پکتین‌ها، کیتوزان‌ها، پولولان و کاراگینان‌ها محبوب‌ترین پلی‌ساکاریدهایی هستند که در تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی استفاده می‌شوند، در حالی‌که پروتئین‌های سویا، گلوتن گندم، زئین ذرت، پروتئین‌های آفتابگردان، ژلاتین آب‌پنیر، کازئین و کراتین از جمله پروتئین‌های مورد پسندتر محسوب می‌شوند [۲۳]. با این‌حال، این مواد طبیعت آبدوست دارند و بنابراین، انواع مختلفی از روغن‌ها و چربی‌ها (موم، تری‌گلیسیرید، مونوگلیسرید استیله، اسیدهای چرب آزاد و روغن‌های گیاهی) در زمینه هیدروکلوئیدی گنجانده می‌شوند تا خواص سدی در برابر بخار آب آن‌ها را افزایش دهند [۲۴].

برای مدت طولانی، زیست‌پلیمرها بیشتر به‌عنوان فرمول یک جزئی در لفاف‌ها استفاده می‌شد و این تمایل هنوز هم مشاهده می‌شود. با این‌حال، طی دهه‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای بر

[1] Generally Recognized as Safe (GRAS)
[2] Good Manufacturing Practice (GMP)

روی فرمولاسیون ترکیبات دو جزئی و چند جزئی انجام شده است که موجب بهبود خواص عملکردی شدند. در این زمینه، فیلم‌ها یا پوشش‌های مرکب (کامپوزیت) از ترکیب دو یا چند ماده تشکیل‌دهنده فیلم / پوشش تهیه می‌شوند تا ساختارهایی با خواص فیزیکی، مکانیکی و ممانعتی اصلاح‌شده به‌دست آید که بهتر از مواد یک جزئی هستند. بنابراین، در فرمول تشکیل فیلم از مواد مختلفی مانند نرم‌کننده‌ها، عوامل اتصال عرضی، امولسیفایرها و تقویت کننده‌ها برای بهبود یا اصلاح عملکرد مواد استفاده شد [۲۵]. علاوه بر این، ترکیبات مختلفی مانند ضدمیکروب‌ها، ضداکسیدان‌ها، عوامل رنگی، طعم دهنده‌ها و مواد مغذی به‌منظور بهبود کیفیت، پایداری و ایمنی غذاهای بسته‌بندی شده در محلول تشکیل فیلم / پوشش گنجانده شدند که در این حالت به آن‌ها بسته‌بندی فعال گفته می‌شود [۲۶].

بر اساس مواد اولیه و روش‌های تولید، زیست‌پلیمرهای تخریب‌پذیر به دسته‌های مجزا تقسیم می‌شوند. سه روش اصلی برای تولید آنها عبارتند از تخمیر میکروبی، استخراج مستقیم زیست توده و سنتز مصنوعی با استفاده از زیست‌توده یا مواد پتروشیمی. این مواد بسته‌بندی پس از رها شدن در محیط به‌سرعت طی فرآیندهای شیمیایی یا بیوشیمیایی آلی، تجزیه می‌شوند [۲۷].

## ۴- لفاف‌های بر پایه پلی‌ساکاریدها؛ خصوصیات کلی

پلی‌ساکاریدها در طبیعت به وفور یافت شده و البته به‌سرعت نیز در محیط تجزیه می‌شوند. پلی‌ساکاریدها از منابع گیاهی و حیوانی استحصال می‌شوند. پلی‌ساکاریدها می‌توانند عملکردهای مختلفی داشته باشند و ساختارهای مختلفی را بروز دهند. پلی‌ساکاریدها از نظر اندازه، محتوای قندی (مثلاً آمیلوز)، ساختار و ثبات مولکولی، پیوندهای گلیکوزیدی متفاوت هستند. ضمن اینکه تمایل زیادی به تشکیل فیلم دارند. فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر از نشاسته، سلولز، کیتین، کیتوزان و صمغ‌های هیدروکلوئیدی تهیه و به‌عنوان ماده بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفتند [۲۸ و ۲۹]. استفاده از این پوشش‌ها دارای مزایای متعددی از جمله قیمت ارزان و در دسترس بودن بیشتر آن‌هاست. اغلب لفاف‌های بر پایه پلی‌ساکاریدها خصوصیت سدی مطلوبی در برابر بخار آب ندارند [۳۰].

### ۴-۱- پکتین

پکتین پیچیده‌ترین دسته پلی‌ساکاریدها را تشکیل می‌دهد که عمدتاً توسط گروه‌های ناهمگن با وزن مولکولی بالا از گلیکانوگالاکتورونان‌ها و پلی‌ساکاریدهای اسیدی با ساختارهای متنوع تشکیل شده است. ستون فقرات پکتین از مولکول‌های (۱و۴)-آلفا-دی- گالاکتورونیک اسید تشکیل شده که با تعداد کمی از باقی‌مانده‌های رامنوز در زنجیره اصلی و آرابینوز، گالاکتوز و زایلوز در زنجیره‌های جانبی در ارتباط هستند [۳۱]. پکتین یک پلی‌ساکارید آنیونی محلول در آب است که در دیواره سلولی اولیه بسیاری از گونه‌های گیاهی موجود است و عمدتاً از پوست مرکبات و از تفاله سیب استخراج می‌شود. در واقع پکتین محصول فرعی مهم فرآوری صنعتی این میوه‌هاست که قابلیت بالقوه‌ای در تشکیل فیلم دارد [۳۲].

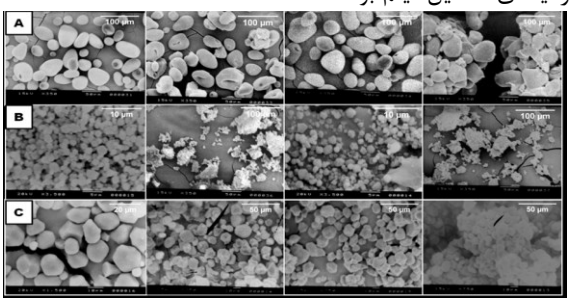
پوشش‌های خوراکی به‌دست‌آمده از پکتین و مشتقات آن به‌دلیل خاصیت سدی عالی در برابر اکسیژن، حفظ عطر و خواص مکانیکی خوب اخیراً در کاربردهای مرتبط با مواد غذایی پیشنهاد شده‌اند، اما به‌دلیل ماهیت آبدوست، فیلم‌های بر پایه پکتین در برابر انتقال رطوبت مؤثر نیستند [۳۱]. در خصوص استفاده از پکتین به‌عنوان پوشش و نقش آن در حفظ کیفیت داخلی تخم‌مرغ مطالعات علمی بسیار کمی صورت گرفته است. اولیویرا و همکاران [۲] نشان دادند لفاف بر پایه پکتین به‌طور مؤثری کیفیت تخم‌مرغ را در طول ۳۵ روز نگهداری حفظ کرد. بر اساس ارزیابی فراسنجه‌های کاهش وزن و مقادیر واحد هاء، این لفاف ماندگاری تخم‌مرغ‌ها را در دمای محیط در مقایسه با تخم‌مرغ‌های بدون پوشش افزایش داد. همچنین نشان داده شد که استفاده از اسانس دارچین در پوشش فعال برپایه پکتین، کارایی عملکردی آن را در حفظ کیفیت و ماندگاری تخم‌مرغ طی دوره نگهداری در دمای محیط بهبود بخشید. علاوه بر آن پوشش فعال برپایه پکتین، تأثیر مثبتی بر کاهش بار میکروبی کل و باکتری‌های سالمونلا، اشیریشیا کلی و استافیلوکوکوس اورئوس داشت [۳۳]. اصلاحات مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی زیست‌پلیمرهای مورد استفاده برای ساخت پوشش‌ها می‌تواند برای بهبود خواص ممانعتی و مکانیکی آنها مفید باشد [۳۴]. نتایج تحقیقی که در آن پوسته تخم‌مرغ با مخلوط آب پنیر- پکتین پیوند شده توسط آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، پوشانده شد، نشان داد که پوشش مورد مطالعه توانست برای حفظ کیفیت داخلی تخم‌مرغ و نیز کاهش شکستگی پوسته و آلودگی میکروبی تخم‌مرغ مفید باشد و می‌تواند یک رهیافت مؤثر جهت افزایش ماندگاری تخم‌مرغ‌های نگهداری شده در شرایط محیطی و کاهش زیان اقتصادی ناشی از شکستن آن‌ها طی بازاریابی باشد [۳۵].

### ۴-۲- نشاسته

نشاسته رایج‌ترین ماده خام برای فرمولاسیون لفاف‌های زیست تخریب‌پذیر خوراکی است. دسترسی آسان و ارزان قیمت بودن نشاسته، آن‌را متمایز کرده است. با این وجود، ساختار نشاسته موجب بروز چالش‌های متعددی جهت کاربردهای بالقوه آن در صنعت پلاستیک‌های زیستی شده است. در مقایسه با مواد سنتزی، نشاسته دارای دو عیب اصلی است. اول اینکه سه گروه هیدروکسیل موجود در واحد دی- گلیکوزیلیک به‌شدت موجب

آب‌دوستی نشاسته می‌شود. دوم، نشاسته معمولی ترموپلاستیک نیست؛ در نتیجه، نمی‌توان آن‌را بدون افزودن نرم‌کننده‌ها به‌صورت ذوبی فرآوری کرد [۳۶]. در عین حال پوشش‌های پلی‌ساکاریدی به‌دلیل انعطاف‌پذیری بالا، نازکی و شفافیت بالا معمولاً مورد توجه قرار گرفته است. نتایج تحقیق با هدف ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فیلم‌های کامپوزیتی بر پایه نشاسته ذرت (معمولی، اصلاح‌شده مومی یا مومی) و ژلاتین، همراه با نرم‌کننده‌های گلیسرول یا سوربیتول نشان داد افزودن ژلاتین به‌طور قابل توجهی استحکام مکانیکی، حلالیت در آب، نفوذپذیری به بخار آب و ضخامت بیوفیلم‌ها را افزایش داد و در عین حال کدورت را کاهش داد. فیلم‌های مرکب تهیه‌شده با سوربیتول نسبت به فیلم‌های حاوی گلیسرول، نفوذپذیری کمتری نسبت به بخار آب و استحکام کششی بالاتری داشتند [۳۷].

خواص فیزیکوشیمیایی و عملکردی فیلم‌ها به منابع گیاهی و روش‌های اصلاح نشاسته بستگی دارد (شکل ۲). تأثیر نشاسته استحصالی از منابع گیاهی مختلف (ذرت مومی، کاساوا، سیب زمینی شیرین، سیب زمینی، گندم و ذرت) و نشاسته‌های اصلاح شده تجاری مختلف کاساوا (نشاسته کاساوا استری شده، نشاسته کاساوا با پیوند متقاطع و نشاسته کاساوا اکسید شده) بر خواص فیزیکوشیمیایی فیلم‌های برپایه نشاسته مورد بررسی قرار گرفت. در نشاسته‌ها نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین نقش مهمی در خواص فیزیکوشیمیایی فیلم مربوطه داشت. هر چه میزان آمیلوز نشاسته کمتر بود نفوذپذیری در برابر بخار آب و خواص مکانیکی فیلم نشاسته مربوطه بیشتر بود. همه فراسنجه‌های مورد مطالعه در نشاسته اصلاح‌شده نسبت به نشاسته معمولی، بهبود یافت. با در نظر گرفتن خواص مکانیکی و خواص سدی در برابر بخار آب، در بین نشاسته‌های اصلاح شده، نشاسته با پیوند متقاطع در مقایسه با نشاسته استری شده و نشاسته اکسید شده، مناسب‌ترین ماده زمینه‌ای تشکیل فیلم بود [۳۸].




**شکل (۲):** تصاویر میکروسکوپی (SEM) نشاسته سیب‌زمینی (A)، نشاسته تارو (نوعی غده شبیه سیب‌زمینی) (B)، و نشاسته ذرت (C) به‌ترتیب از چپ به‌راست به‌شکل معمولی خود، تیمار فشار اسمزی، استیله‌شده و پیوند متقاطع [۳۹]

بین ساختارهای مولکولی و خواص تشکیل فیلم نشاسته از منابع مختلف نیز ارتباط وجود دارد؛ فیلم نشاسته نخود با محتوای بالاتر آمیلوز ساختار سفت‌تری را نشان داده و مقاومت بیشتری در برابر آب داشت. فیلم نشاسته کاساوا با آمیلوپکتین بالاتر ازدیاد طول در نقطه شکست و کدورت بیشتری را نشان داد. فیلم نشاسته ذرت ترموپلاستیک به‌دلیل ساختار بلورین منظم‌تر، شفاف‌ترین فیلم بود [۴۰].

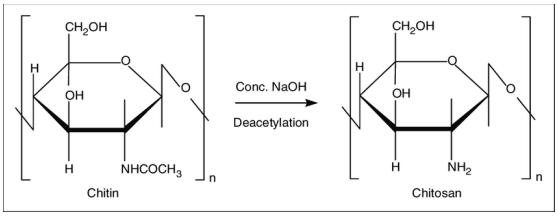
لیما و همکاران [۴۱] نشان دادند که نشاسته کاساوا پوششی است که می‌تواند اتلاف آب و انتقال گاز را کنترل کند و تخم‌مرغ‌ها را در طول نگهداری در دمای محیط برای مدت طولانی‌تری حفظ کند. همچنین پوشش‌های بر پایه نشاسته را می‌توان با مواد آبگریز ضد میکروبی طبیعی (مانند اسانس‌ها) ترکیب کرد تا ماندگاری غذا را طولانی‌تر کرده و از آسیب‌های میکروبی ناخواسته محافظت کند [۴۲]. در این رابطه نشان داده شد؛ پوشش‌های نشاسته کاساوا غنی‌شده با اسانس‌ها (زنجبیل و علف‌لیمو)، کیفیت داخلی تخم‌مرغ‌ها را به‌مدت ۵ هفته در دمای ۲۰ درجه سلسیوس حفظ کرد و جمعیت میکروبی پوسته تخم‌مرغ را کاهش داده و به‌طور مؤثر آن‌را در سطوح پایین نگه داشت [۴۳]. همچنین تخم‌مرغ‌های پوشش داده شده با پوشش فعال نشاسته سیب‌زمینی شیرین و اسانس ۴ درصد آویشن، کیفیت و ایمنی تخم‌مرغ‌ها را برای دو هفته بیشتر از تخم‌مرغ‌های بدون پوشش در دمای محیط حفظ کرد [۴۴].

اختلاط محلول پلیمری روش مؤثری برای تهیه مواد پوشش دهنده تخم‌مرغ است. مواد پوشش دهنده مرکب نشاسته کاساوا با عوامل ژل‌کننده و اسیدهای چرب با موفقیت توسعه یافتند. عامل ژل‌کننده کربوکسی‌متیل سلولز از طریق مقاومت در برابر رطوبت و سازگاری خوب با نشاسته بر مقادیر واحدها و تخم‌مرغ‌ها تأثیر گذاشت. کربوکسی‌متیل سلولز در امولسیون قطبی‌تر است و می‌تواند نشاسته کاساوا را به هم متصل کند. کربوکسی‌متیل سلولز هنگام استفاده با روغن پالم کارآمدتر بود. مقاومت بالای پوشش نشاسته کاساوا/ کربوکسی‌متیل سلولز/ روغن پالم در برابر آب، با حلالیت کم در آب و ساختار شبکه بالا، از کاهش مقادیر واحد هاو جلوگیری کرد. پوشش مذکور ماندگاری تخم‌مرغ را در دمای اتاق به‌مدت ۴ هفته افزایش داد [۴۵]. همچنین در تحقیق مشابهی، تخم‌مرغ‌های پوشانده شده با محلول نشاسته کاساوا / کربوکسی‌متیل سلولز / پارافین در پایان ۴ هفته نگهداری در دمای محیط، همچنان دارای ارزش واحد هاو ۷۲ (درجه AA) بودند و کاهش وزن ۲/۴ درصدی داشتند. کربوکسی‌متیل سلولز سازگاری نشاسته کاساوا و پارافین را بهبود بخشید و بدین ترتیب خواص مکانیکی و مقاومت در برابر آب مناسبی را برای مواد پوششی ایجاد کرد که به حفظ کیفیت تخم‌مرغ کمک کرد [۴۶]. اشعه ماوراء بنفش باعث تولید رادیکال‌های آزاد در محلول‌های آبی می‌شود. در محلول آبی نشاسته، رادیکال‌های آزاد به زنجیره‌های نشاسته حمله می‌کنند. در نتیجه، زنجیره‌های آسیب دیده دارای پتانسیل فوق‌العاده‌ای برای ایجاد پیوندهای عرضی هستند. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد قرار گرفتن محلول فیلم آبی در برابر

اشعه ماوراء بنفش می‌تواند به‌عنوان یک فرآیند سبز برای اصلاح خواص بسته‌بندی زیست‌پلیمرها مورد استفاده قرار گیرد. نتایج تحقیقی نشان داد؛ پوشش مرکب نشاسته / اسید اولئیک اصلاح شده با اشعه ماوراء بنفش به‌مدت ۹۰ دقیقه توانست موجب افزایش ماندگاری تخم‌مرغ در دمای محیط شود. به نظر می‌رسد این نوع پوشش مرکب می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد جدید برای دستیابی همزمان به بهداشت و افزایش ماندگاری تخم‌مرغ مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، تابش اشعه ماوراء بنفش به‌مدت ۹۰ دقیقه یک شرایط بهینه برای اصلاح پوشش پوسته تخم‌مرغ بود. اما روند طولانی این روش کاربرد صنعتی آن را محدود می‌کند. بنابراین، تسریع فرآیند اصلاح برای گسترش این فرآیند در بسته‌بندی تخم‌مرغ بسیار ضروری است [۴۷].

## ۴-۳- کیتوزان

کیتین یک زیست‌پلیمر طبیعی فراوان است که در اسکلت خارجی سخت‌پوستان، دیواره سلولی قارچ و سایر مواد بیولوژیکی یافت می‌شود. کیتین که از نظر ساختاری با سلولز یکسان است با این تفاوت که یک هیدروکسیل ثانویه روی اتم کربن دوم واحد تکرار هگزوز با یک گروه استامید جایگزین می‌شود. کیتوزان از طریق استیل‌زدایی از کیتین در محیط قلیایی به‌دست می‌آید. در واقع، کیتوزان یک کوپلیمر متشکل از واحدهای بتا- (۱و ۴)- ۲- استامیدو -دی‌گلوکز و بتا- (۱و ۴)- ۲- آمینو -دی‌گلوکز است که واحد دوم معمولاً بیش از ۶۰ درصد است (شکل ۳). کیتوزان با توجه به درجه استیل‌زدایی و وزن مولکولی دسته‌بندی می‌شود و خواص ضد میکروبی آن در ارتباط با خاصیت پلی‌کاتیونی آن است [۴۸].




**شکل (۳):** ساختار شیمیایی کیتین و کیتوزان [۴۹]

یکی از زیست‌پلیمرهای مورد توجه محققان کیتوزان است. چراکه عملکرد فوق‌العاده‌ای در تشکیل فیلم، ناتراوایی در برابر انتقال گازها، زیست‌سازگاری و فعالیت‌های ضد میکروبی قوی دارد. بنابراین، پوشش کیتوزان بر روی پوسته تخم‌مرغ می‌تواند از تخم‌مرغ در برابر تغییرات فیزیکوشیمیایی و آلودگی میکروبی محافظت کند و اثرات امیدوارکننده‌ای در حفظ کیفیت تخم‌مرغ طی دوره نگهداری و انبارمانی داشته باشد. همچنین همانند اغلب زیست‌پلیمرهای پلی‌ساکاریدی، با توجه به ارزان قیمت بودن، دسترسی آسان و گسترده کیتوزان و نیز امکان عملیاتی بودن فرآیند پوشش‌دهی، پوشش کیتوزان یک روش کارآمد و عملی برای نگهداری تخم‌مرغ در دمای محیط در نظر گرفته می‌شود [۵۰]. عوامل مؤثر بر کارایی پوشش کیتوزان مانند وزن مولکولی، انواع نرم‌کننده، منابع کیتوزان و عوامل پیوند عرضی به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است [۵۱-۵۳]. در جدول (۲) تأثیر وزن مولکولی و درجه استیل‌زدایی کیتوزان بر خواص مکانیکی آن آمده است [۵۴].

**جدول (۲):** استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست فیلم‌های تهیه شده از کیتوزان با خصویات مختلف

| نوع کیتوزان (درجه استیل-زدایی) | استحکام کششی (مگاپاسکال) | ازدیاد طول در نقطه شکست (درصد) |
|---|---|---|
| وزن مولکولی کم (٪۸۲) | ۴۵/۰۷ | ۹/۳۴ |
| وزن مولکولی کم (٪۱۰۰) | ۳۶/۷۷ | ۴/۷۹ |
| وزن مولکولی زیاد (٪۸۵-۸۰) | ۵۲/۹۳ | ۲۳/۸۲ |
| وزن مولکولی زیاد (٪۱۰۰) | ۶۱/۷۶ | ۱۸/۲۵ |

وزن مولکولی کم (۵۰-۶۰ کیلودالتون)، وزن مولکولی زیاد (۸۰۰-۱۰۰۰ کیلودالتون)

علاوه بر وزن مولکولی و درجه استیل‌زدایی کیتوزان، حلال اسیدی (افزایش pH اسید موجب کاهش استحکام کششی فیلم می‌شود) و نوع، ساختار و وزن مولکولی نرم‌کننده نیز از جمله عوامل مهمی هستند که بر خواص فیزیکوشیمیایی، مکانیکی، سدی در برابر آب و خواص ضد باکتریایی فیلم‌های کیتوزان تأثیر می‌گذارند. نرم‌کننده‌ها در زنجیره پلیمری کیتوزان نفوذ کرده و با افزایش روانی، اصطکاک بین زنجیره‌ها را کاهش می‌دهند [۵۵]. با افزایش وزن مولکولی کیتوزان، تشکیل شبکه درهم تنیده در طول فرآیند تشکیل فیلم ممکن است نقش عمده‌ای در افزایش ویسکوزیته محلول‌های تشکیل فیلم و ضخامت و استحکام مکانیکی فیلم‌ها داشته باشد. در بررسی اثرات وزن مولکولی (۱۸۱۵ و ۳۶۶ کیلودالتون)، حلال اسیدی (اسید استیک، پروپیونیک، فرمیک و لاکتیک) و نرم‌کننده (گلیسرول و سوربیتول) بر خصوصیات فیلم‌های تهیه شده با بتا کیتوزان نشان داده شد که به‌طور کلی، فیلم‌های استات بتا کیتوزان دارای استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست بالاتر، اما ناتراوایی در برابر بخار آب پایین‌تر پایین‌تر بودند. نوع نرم‌کننده در رابطه با فراسنجه‌های مکانیکی مورد ارزیابی تفاوت معنی‌داری نشان نداد، احتمالاً به این دلیل که سوربیتول ممکن است با سازوکار مشابه گلیسرول به‌دلیل ساختار کربن خطی‌اش با گروه‌های هیدروکسیل در امتداد زنجیره پلیمر، به‌عنوان یک

نرم‌کننده داخلی نیز عمل کند. فیلم‌های کیتوزان با وزن مولکولی کم به‌طور قابل توجهی از رشد اشیریشیا کلی و لیستریا اینوکوآ جلوگیری کردند [۵۶].

در بررسی اثر نوع کیتوزان با وزن مولکولی مختلف بر آلودگی باکتریایی و کیفیت داخلی تخم‌مرغ نشان داده شد که آلفا کیتوزان با وزن مولکولی کم (۲۸۲ کیلو دالتون) نسبت به سایر آلفا و بتا کیتوزان‌های مورد استفاده، اثر ضدباکتریایی بیشتری در برابر سالمونلا انتریکا انتریتیدیس داشت. در عین حال با در نظر گرفتن فراسنجه‌های کیفیت داخلی تخم‌مرغ (افت وزنی، واحد هاو و شاخص زرده)، پوشش آلفا کیتوزان ۲۸۲ کیلو دالتون، ماندگاری تخم‌مرغ‌ها را تقریباً ۳ هفته در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در مقایسه با تخم‌مرغ‌های بدون پوشش افزایش داد [۵۷].

اثرات حفاظتی پوشش‌های کیتوزان عمدتاً باید به ویژگی‌های بازدارنده و فعالیت‌های ضد میکروبی آن‌ها بستگی داشته باشد که به‌شدت با ضخامت و ساختار لایه‌های پوشش روی پوسته تخم‌مرغ مرتبط است. سورش و همکاران [۵۸] تخم‌مرغ‌ها را به‌ترتیب یک بار و سه بار با کیتوزان پوشش دادند؛ لایه پوششی روی پوسته تخم‌مرغ با پوشش سه بار ۲۰ میکرومتر ضخیم‌تر از پوشش یک بار بود، اما تفاوت معنی‌داری در کاهش وزن، واحد هاو و شاخص سفیده تخم‌مرغ بین این دو گروه در دمای محیط مشاهده نکردند، در حالی‌که ژو و همکاران [۵۰] گزارش کردند که دو و سه بار پوشش‌دهی تخم‌مرغ با کیتوزان موجب کمترین کاهش وزن، بالاترین واحد هاو و شاخص زرده شد که ماندگاری تخم‌مرغ را در مقایسه با تخم‌مرغ‌های گروه شاهد به‌مدت ۲۰ روز بیشتر افزایش داد.

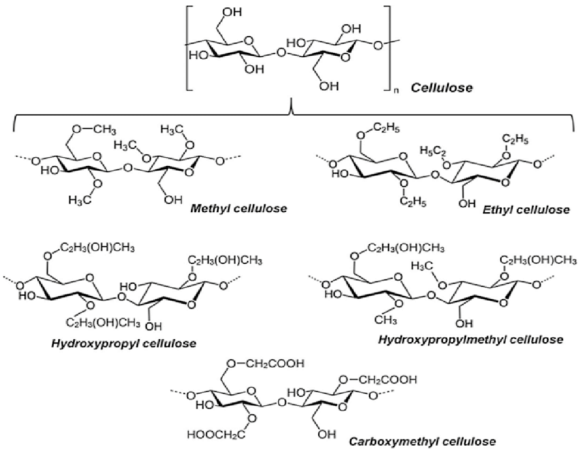
اختلاط مکانیکی ساده پلیمرهای مختلف (مصنوعی و طبیعی) رهیافتی جهت تولید دسته جدیدی از مواد با هدف ارتقاء خصوصیات فیزیکومکانیکی و عملکردی آن‌هاست. این یک روش مؤثر در فرمولاسیون‌های مختلف لفاف‌های مرکب است که طی آن خواص مطلوب پلیمرهای مختلف بر اساس کاربرد نهایی آنها ترکیب شده و از نظر اقتصادی نسبت به سنتز مواد جدید سودمندتر است.

برای بهبود خواص زیست‌پلیمرها، به‌ویژه از دسته کربوهیدرات‌ها یا پروتئین‌ها، می‌توان روش پیوند متقابل را از طریق تعامل فیزیکی یا شیمیایی در زنجیره‌های پلیمری به‌کار برد [۵۹]. این روش شامل تشکیل پیوندهای کووالانسی بین زنجیره‌های مختلف، اتصال یا جدا کردن گروه‌های شیمیایی است که تحرک آنها را کاهش می‌دهد تا حلالیت یا سایر خواص مولکول اصلی را تغییر دهد و در نتیجه، خواص مکانیکی و ممانعتی را بهبود بخشد و بر کمبودهای ذاتی غلبه کند [۶۰]. نتایج نشان داد که ترکیب کیتوزان با پلی‌وینیل الکل، همراه با عوامل شیمیایی مختلف (اسید سیتریک، اسید سوکسینیک و تترا اتوکسی سیلان)، خواص کلی فیلم‌های ترکیبی این دو پلیمر را بهبود بخشید [۶۱]. نشان داده شد که پوشش مرکب کیتوزان ۲۵ درصد – پلی‌وینیل الکل ۷۵ درصد ضمن حفظ شاخص‌های کیفیت داخلی موجب افزایش ماندگاری تخم‌مرغ حداقل به‌مدت ۲ هفته در دمای محیط شد [۶۲]. پوشش‌دهی تخم‌مرغ با کیتوزان و بره موم موجب بهبود در شاخص کیفیت شامل واحد هاو، افت وزنی، pH سفیده و زرده و نیز استحکام پوسته شد. همچنین نتایج نشان داد که فرمولاسیون پوشش خوراکی بهینه، دارای فعالیت باکتری‌کشی بالایی در برابر *سالمونلا انتریتیدیس* بوده و پس از ۲ هفته نگهداری، این باکتری روی پوسته تخم‌مرغ و محتوای نمونه‌های پوشش‌داده شده مشاهده نشد [۶۳].

همچنین شواهدی مبنی بر اینکه برهمکنش بین نانوپرکننده‌ها و ماده زمینه‌ای زیست‌پلیمری باعث افزایش خواص مکانیکی پوشش و کاهش نفوذپذیری آن در برابر رطوبت و گازها می‌شود [۶۴]. گزارش شده است که گنجاندن نانوسلولز در مواد پلیمری به‌طور قابل توجهی بر توانایی‌های ممانعتی فیلم و پوشش تأثیر می‌گذارد [۶۵]. تقویت پوشش مرکب کیتوزان با نانو بلور سلولز به‌طور معنی‌داری کاهش وزن، واحد هاو و شاخص زرده را در تخم‌مرغ‌های پوشش‌داده شده بهبود بخشید [۶۶].

## ۴-۴- سلولز و مشتقات آن

سلولز فراوان‌ترین زیست‌پلیمر جهان است. در دیواره‌های سلولی همه گیاهان، در برخی از قارچ‌ها و جلبک‌ها، بی‌مهره‌گان و برخی باکتری‌های گرم منفی یافت می‌شود. سلولز یک پلی‌ساکارید همگن خطی متشکل از واحدهای دی-گلیکوپیرانوزیل است که توسط پیوندهای بتا ۱و ۴ گلیکوزیدی متصل گردیده‌اند (شکل ۴).




**شکل (۴)**: ساختار شیمیایی سلولز و مشتقات آن [۶۷]

سلولز دارای عملکرد تشکیل فیلم خوب و ثبات شیمیایی بالا است و به‌راحتی می‌توان مشتقات سلولز را سنتز کرد. با این حال، استفاده از سلولز برای به‌دست آوردن فیلم‌های خوراکی به‌دلیل

عدم انحلال آن در آب و اکثریت قریب به اتفاق حلال‌های آلی محدود است. این اشکال را می‌توان با مشتق شدن برطرف کرد، که نه تنها حلالیت آب بلکه رفتار ترموپلاستیک سلولز را به میزان قابل توجهی بهبود می‌بخشد [۶۸].

مشتقات سلولز مورد استفاده جهت تهیه بسته‌بندی مواد غذایی خوراکی شامل اترها (متیل‌سلولز، کربوکسی‌متیل سلولز، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و هیدروکسی پروپیل سلولز) و استرها (سلولز استات) است [۶۹]. جهت رفع برخی ضعف‌های خواص مکانیکی و نیز بهبود عملکردی لفاف‌های برپایه مشتقات سلولز، استفاده از ترکیبات آب‌گریز (مانند اسیدهای چرب) و گنجاندن نانوپرکننده (مانند نانو رس، نانو لوله‌های کربنی، نانو ذرات آلی) در ماده زمینه‌ای لفاف‌ها و تولید لفاف‌های نانومرکب با نتایج مثبتی همراه بود. ضمن اینکه بکارگیری فیلم و پوشش‌های برپایه مشتقات سلولز به‌عنوان بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر فرآورده‌های دامی موجب کاهش بار میکروبی، کاهش عوامل مؤثر بر فساد شیمیایی و افزایش زمان انبارمانی شد [۷۰].

در بررسی تأثیر گنجاندن نانوبلورهای سلولز یا بتا سیکلودکسترین به فیلم‌های کیتوزان و توسعه فیلم‌های مرکب نشان داده شد که بیشتر خواص فیلم‌های خوراکی مرکب نانوبلور سلولز – کیتوزان و دکسترین – کیتوزان بهبود یافت. مشخصاً نفوذپذیری در برابر اکسیژن و بخار آب فیلم‌های خوراکی مرکب مذکور کاهش یافت. علاوه بر این، نانوبلور سلولز منجر به ساختارهای پایدارتر با خواص مکانیکی پیشرفته‌تر فیلم‌های مرکب شد [۷۱].

سلولز ساختار بسیار بلوری و نامحلول دارد، در حالی‌که کربوکسی‌متیل سلولز محلول در آب بوده و لفاف‌های منعطف و مستحکمی از آن تهیه و در بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده گسترده‌ای قرار گرفته است. فرمولاسیون پوشش‌های خوراکی بر پایه کربوکسی‌متیل سلولز بر اساس حداقل افت وزنی و حداکثر واحد هاو بهینه‌سازی گردید [۷۲]. افزودن اسید اولئیک و نیز ترکیبات ضدمیکروبی به محلول پوششی بر پایه کربوکسی‌متیل سلولز تأثیر مثبت معنی‌داری در افزایش ماندگاری تخم‌مرغ به مدت ۱-۳ هفته داشت [۷۳]. همچنین استفاده از پوشش‌های مرکب فعال بر پایه کربوکسی‌متیل سلولز - صمغ تراگاکانت (کتیرا) همراه با عصاره میخک [۷۴]، کربوکسی‌متیل سلولز-نانورس همراه با اسانس نعنا [۷۰] و عصاره مرزنجوش [۱۶] موجب حفظ کیفیت داخلی و افزایش زمان ماندگاری تخم‌مرغ شد.

پوشش‌های بر پایه متیل سلولز و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز جهت بررسی ناتراوایی در برابر بخار آب و استحکام کششی فرموله شد و اثر آن بر کیفیت تخم مرغ تازه در طول نگهداری ۲۸ روزه در دمای محیط از نظر کاهش وزن، pH و کیفیت سفیده مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های کیفی مورد بررسی در تخم‌مرغ‌های پوشش داده شده پس از ۴ هفته نگهداری افزایش یافت [۷۵]. این دسته از مطالعات بیانگر استفاده امیدوارکننده از پوشش‌های مبتنی بر مشتقات سلولز جهت افزایش ماندگاری تخم‌مرغ‌های تازه بود.

## ۴-۵- صمغ‌ها و موسیلاژها

صمغ‌ها و موسیلاژها از ترکیبات زیادی از جمله پلی‌ساکاریدها تشکیل شده‌اند. صمغ‌های گیاهی محلول در آب بوده و از قسمت‌های مختلف گیاهان شامل اپیدرم دانه، برگ و پوست استخراج می‌شوند. آنها در واقع ترکیباتی هستند که در اثر آسیب دیدگی گیاه یا برخی شرایط مانند شکستن دیواره سلولی تولید می‌شوند. موسیلاژها محصولات طبیعی متابولیسم هستند و در سلول تشکیل می‌شوند و به‌راحتی در آب حل نمی‌شوند. موسیلاژها در قسمت‌های مختلف گیاه یافت می‌شوند. موسیلاژ ماده‌ای غلیظ و چسبنده است که تقریباً توسط همه گیاهان و برخی میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شود. صمغ‌ها و موسیلاژها شباهت‌های خاصی دارند؛ هر دو هیدروکلوئید گیاهی هستند. صمغ‌ها و موسیلاژها حاوی مولکول‌های آبدوست هستند که می-توانند با آب ترکیب شوند و محلول‌های چسبناک یا ژل مانند تشکیل دهند [۷۶].

صمغ‌ها و موسیلاژها از منابع گیاهی (مانند صمغ کتیرا، صمغ عربی)، منابع حیوانی (مانند اسید هیالورونیک، کیتین)، منشأ دریایی؛ جلبک دریایی قرمز (مانند آگار و کاراگینان) و منابع جلبک قهوه‌ای (مانند آلژینات)، قارچ‌ها و سایر منابع میکروبی (مانند زانتان، دکستران، پولولان) استخراج و تولید می‌شوند [۷۷].

## ۴-۶- آلژینات

آلژینات، یک پلی‌ساکارید طبیعی استخراج شده از جلبک‌های قهوه‌ای دریایی، از دو اسید اورونیک (مانورونیک اسید و گولورونیک اسید) تشکیل شده است. آلژینات خواص و عملکرد تشکیل فیلم خوبی دارد. در دهه گذشته، استفاده از آلژینات جهت توسعه بسته‌بندی مواد غذایی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. فیلم‌های خوراکی آلژینات اساساً شفاف، یکنواخت و بسیار محلول در آب هستند، اما می‌توانند از طریق پیوند متقابل با کاتیون‌های دو ظرفیتی یا چند ظرفیتی مانند یون کلسیم و یون منیزیم نامحلول شوند. گزارش شده که افزودن عوامل اتصال عرضی کلراید کلسیم می‌تواند خواص مکانیکی و ممانعتی در برابر بخار آب و اکسیژن فیلم‌های آلژینات را بهبود بخشد. خواص ژل شدن به ساختار آلژینات، نوع نمک کلسیم/منیزیم و انتشار آنها و میزان تبدیل آلژینات سدیم به آلژینات کلسیم/منیزیم بستگی دارد [۷۸]. بنابراین برای کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی، پوشش‌ها و فیلم‌ها معمولاً از واکنش سریع کلسیم با محلول

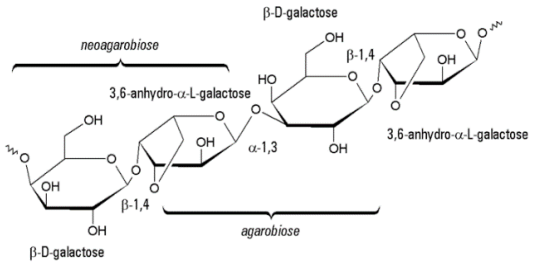
آلژینات سدیم تولید می‌شوند که امکان ایجاد ارتباط بین مولکولی را فراهم می‌کند.

افزودن مواد تقویت‌کننده نانو مانند نانو بلورسلولز می‌تواند خواص مکانیکی (استحکام کششی، مدول الاستیک و ...) و خواص سدی در برابر بخار آب فیلم‌های آلژینات را بهبود بخشد [۷۹]. همچنین افزودن عوامل زیست‌فعال مانند ضداکسیدان‌ها یا ضدمیکروبی‌ها به فیلم‌های خوراکی آلژینات در مقایسه با کاربرد مستقیم عوامل زیست‌فعال در مواد غذایی مفیدتر است [۸۰].

استفاده از پوشش آلژینات سدیم ۰/۵ درصد موجب حفظ شاخص‌های کیفیت داخلی تخم‌مرغ شامل واحد هاو، شاخص زرده و pH سفیده طی دوره نگهداری یکماهه شد. ضمن اینکه رشد *سالمونلا انتریتیدیس* بر روی پوسته تخم‌مرغ‌های پوشش‌دار در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش طی ۷ روز نگهداری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به‌طور معنی‌داری مهار شد [۸۱]. همچنین فیلم دولایه متشکل از آلژینات سدیم و مخلوطی از پلی‌ونیل الکل- کیتوزان با توجه به خاصیت مکانیکی، حلالیت و توانایی سدی در برابر آب در مقایسه با فیلم‌های تک‌لایه، پایداری ذخیره‌سازی بهتری داشت. پوشش دولایه در حفظ کیفیت داخلی تخم اردک زمانی‌که در دمای اتاق نگهداری شد کارآمد بود و در مهار تعداد کل باکتری‌ها نسبت به پوشش‌های تک‌لایه مؤثرتر بود [۸۲].

### ۷-۴- آگار و کاراگینان‌ها

آگار عمدتاً از دیواره سلولی جلبک‌های قرمز استخراج می‌شود. به‌طور کلی، آگارها از آگاروز و مخلوطی از گالاکتان‌های باردار ناهمگن به نام آگاروپکتین مشتق می‌شوند. آگاروز، بخش ژل‌کننده آگار از واحدهای تکرار شونده ۳، ۶ آنهیدرو- آلفا-ال- گالاکتوز و بتا- دی‌گالاکتوز تشکیل شده است (شکل ۵).




**شکل (۵):** ساختار شیمیایی آگار

خواص ژل‌سازی و تشکیل فیلم عالی آگار امکان استفاده گسترده آن در کاربردهای دارویی و غذایی را فراهم ساخته است [۶۹]. باسوماتاری و همکاران [۸۳] فیلم نانوکامپوزیت برپایه آگار و نانوذرات نقره به‌عنوان عامل ضد میکروبی را مورد مطالعه قرار دادند. فیلم کامپوزیت بر پایه آگار اثر ضدمیکروبی بسیار خوبی علیه *آئرومونا‌س هیدروفیلا* (بیماری‌زای گرم منفی منتقله از غذا) داشتند. خواص مکانیکی (ازدیاد طول در نقطه شکست) و ظاهری فیلم‌ها بهبود یافت، اما افزودن نانوذرات نقره به فیلم، استحکام کششی را کاهش داد.

به‌طور کلی، همانند کامپوزیت‌های آلژینات، نشان داده شد که فیلم‌های خوراکی مبتنی بر نشاسته – آگار دارای خواص مکانیکی بسیار خوبی جهت بسته‌بندی مواد غذایی هستند [۸۴]. کاراگینان‌ها گالاکتان‌های سولفاته هستند که عموماً از جلبک‌های دریایی قرمز متنوع استخراج می‌شوند. کاراگینان‌ها از نظر ساختاری شبیه آگار هستند، با این تفاوت که به جای ۳، ۶ آنهیدرو -ال-گالاکتوز در آگار، ۳، ۶ آنهیدرو -دی-گالاکتوز دارند. کاراگینان‌ها از گالاکتان‌های خطی تشکیل شده‌اند و در انواع و زیر خانواده‌های مختلف وجود دارند (۶۹). کاراگینان به‌طور کلی به‌عنوان مواد تثبیت کننده، ژل‌کننده و امولسیون کننده در صنایع غذایی و داروسازی استفاده می‌شود. علاوه بر این، این گالاکتان‌های سولفاته پلی‌ساکاریدهای طبیعی بسیار آبدوستی هستند که به‌دلیل توانایی ژل‌شوندگی عالی، قابلیت‌های بالایی در تشکیل فیلم دارند [۸۵]. فیزمان و وارلا [۸۶] اظهار داشتند که فیلم‌های کاراگینان که خاصیت ممانعتی در برابر اکسیژن خوبی را ارائه می‌کنند، محافظت بسیار خوبی در برابر اکسیداسیون لیپیدی ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، فیلم‌های ضد میکروبی و ضد اکسیدانی برپایه کاراگینان به‌عنوان بسته‌بندی فعال موادغذایی با استفاده از ترکیبات مختلف تهیه و مورد استفاده قرار گرفتند. برخی از تحقیقات نشان دادند که فیلم‌های چندلایه مبتنی بر نانوکامپوزیت کاراگینان/آگار/*رس* مخلوط شده با پلی‌لاکتید (PLA) زیست‌پلاستیک یا نانوبلور سلولز باعث بهبود خواص سدی، پایداری نوری، حرارتی و خواص مکانیکی شدند [۸۷]. کاراگینان می‌تواند محلول‌های تشکیل‌دهنده فیلم همگن را عمدتاً از طریق پوشش مستقیم، ریخته‌گری حلال و الکتروریسی بسازد. ضمن اینکه با توجه به محدودیت‌های ذاتی فیلم کاراگینان خالص، خواص فیزیکی و شیمیایی فیلم‌های کاراگینان با ترکیب با سایر ترکیبات افزایش یافت. بنابراین، فیلم-های مبتنی بر کاراگینان ظرفیت تبدیل شدن به یک زیست‌پلیمر جذاب را دارد و می‌توانند به‌طور گسترده‌ای جهت افزایش ماندگاری مواد غذایی و حفظ تازگی آنها با مهار رشد میکروبی، کاهش از دست‌دادن رطوبت و تنفس و غیره استفاده شوند [۸۸].

## ۵- نتیجه‌گیری

مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از بکارگیری مواد بسته‌بندی مبتنی بر پلاستیک، استفاده از مواد زیست تخریب‌پذیر برگرفته از محصولات طبیعی را در حالت بکر یا پس از اصلاح اولیه توسعه داده است. مواد بسته‌بندی بر پایه پلی‌ساکاریدهای گیاهی و حیوانی ارزان قیمت، در دسترس و با قابلیت تشکیل فیلم مطلوب هستند اما با توجه به ذات آبدوستی، سد مناسبی در برابر نفوذ

بخار آب نیستند. بسته‌بندی‌های نوین برپایه 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 ضدباکتری‌ها، ضداکسیدان‌ها، آنزیم‌ها جهت حفظ کیفیت داخلی و پوسته تخم‌مرغ و افزایش ماندگاری آن بکار گرفته شده و با نتایج امیدوارکننده‌ای همراه بوده است. لذا، گرچه عادات مصرف‌کنندگان به‌راحتی تغییر نمی‌کند، اما توسعه راهبردهایی کارآمد و آموزنده جهت بکارگیری لفاف‌های خوراکی زیست تخریب‌پذیر جایگزین بسته‌بندی سنتی با هدف محافظت طولانی‌تر از غذاها و مشکلات دفع بعدی زباله‌ها و به نوبه خود انتشار گازهای گلخانه‌ای بدون شک ضروری است.

## ۶- مراجع


[1] M. J. Puglisi and M. L. Fernandez, "The health benefits of egg protein," Nutrients. vol. 14, pp. 2904, 2022. doi.org/10.3390/nu14142904.

[2] G. S. Oliveira, V. M. Dos Santos, J. C. Rodrigues, and A. P. Santana, "Conservation of the internal quality of eggs using a biodegradable coating," Poult Sci. vol. 99(12), pp. 7207-7213, 2020. doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.057.

[3] P. G. Gabriela da Silva, P. D. Daniela da Silva, K. M. Cardinal, and C. Bavaresco, "The use of coatings in eggs: A systematic review," Trends Food Sci Technol. vol. 106, pp. 312-321, 2020. doi: 10.1016/j.tifs.2020.10.019.

[4] W. J. Stadelman, and O. J. Cotterill, "Quality identification of shell eggs. In: Egg Science and Technology," 4th ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 55-82, 2017.

[5] D. Sert, A. Aygun, and M. K. Demir, "Effects of ultrasonic treatment and storage temperature on egg quality," Poult Sci. vol. 90, pp. 869-875. 2011.

[6] M. Yuceer, M. S. Aday, and C. Caner, "Ozone treatment of shell eggs to preserve functional quality and enhance shelf life during storage," J Sci Food Agr. vol. 96, pp. 2755-2763, 2016.

[7] K. Viswanathan, M. L. M. Priyadharshini, K. Nirmala, M. Raman, and G. D. Raj, "Bactericidal paper trays doped with silver nanoparticles for egg storing applications," Bull. Mater Sci. vol. 39, pp. 819-826, 2016.

[8] A. Aygun, and D. Sert, "Effects of vacuum packing on eggshell microbial activity and egg quality in table eggs under different storage temperatures," J Sci Food Agr. vol. 93, pp. 1626-1632, 2013.

[9] K. N. Ryu, H. K. No, and W. Prinyawiwatkul, "Internal quality and shelf life of eggs coated with oils from different sources," J. Food Sci. vol. 76, pp. 325-329, 2011.

[10] T. C. Figueiredo, D. C. S. Assis, L. D. M. Menezes, D. D. Oliveira, A. L. Lima, M. R. Souza. L. G. D. Heneine, and S. V. Cançado. "Effects of packaging, mineral oil coating, and storage time on biogenic amine levels and internal quality of eggs," Poult Sci. vol. 93, pp. 3171-3178, 2014.

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

[12] M. K. Morsy, A. M. Sharoba, H. H. Khalaf, H. H. El-Tanahy, and C. N. Cutter, "Efficacy of antimicrobial pullulan-based coating to improve internal quality and shelf-life of chicken eggs during storage," J. Food Sci. vol. 80, pp. 1066-1074, 2015.

[13] T. A. Silva, L. F. Gorup, R. P. de Araujo, G. G. Fonseca, S. M. Martelli, and K. M. P. de Oliveira, "Synergy of biodegradable polymer coatings with quaternary ammonium salts mediating barrier function against bacterial contamination and dehydration of eggs," Food Bioprocess Technol. vol. 13, pp. 2065-2081, 2020. doi.org/10.1007/s11947-020-02545-3

[14] T. Z. Jin, J. B. Gurtler, and S. Q. Li, "Development of antimicrobial coatings for improving the microbiological safety and quality of shell eggs," J. Food Protect. vol. 76, pp. 779-785, 2013.

[15] D. Xu, J. Wang, D. Ren, and X. Wu, "Effects of chitosan coating structure and changes during storage on their egg preservation performance," Coatings. vol. 8, pp. 317, 2018. doi:10.3390/coatings8090317.

[16] M. Ehsan, and D. Khademi Shurmasti, "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," Iran J. Food Sci. Technol. vol. 118, pp 107-118, 2021. doi: 10.52547/fsct.18.09.09. (In Persian)

[17] D. S. D. Almeida, A. F. Schneider, F. M. Yuri, B. D. Machado, and C. E. Gewehr, "Egg shell treatment methods effect on commercial eggs quality," Rural Science. vol. 46, pp. 336-341, 2016.

[18] R. C. Fierascu, I. Fierascu, S. M .Avramescu, and E. Sieniawska, "Recovery of natural antioxidants from agro-industrial side streams through advanced extraction techniques," Molecules. vol. 24, pp. 4212, 2019.

[19] X. Zhai, Z. Li, J. Zhang, J. Shi, X. Zou, and X. Huang, "Natural biomaterial-based edible and pH-sensitive films combined with electrochemical writing for intelligent food packaging," J Agr Food Chem. vol 66, pp. 12836-12846, 2018.

[20] Y. C. Jang, G. Lee, Y. Kwon, J. H. Lim, J. and H. Jeong, "Recycling and management practices of plastic packaging waste towards a circular economy in South Korea," Resour Conserv Recycl. vol. 158, pp. 104798, 2020.

[21] S. M. Avramescu, C. Butean, C. V. Popa, A. Ortan, I. Moraru, and G. Temocico, "Edible and functionalized films/coatings Performances and Perspectives," Coatings. vol. 10, pp. 687, 2020. doi:10.3390/coatings10070687.

[22] S. Singh, G. Singh, and S. K. Arya, "Mannans An overview of properties and application in food products," Int J Biol Macromol. vol. 119, pp. 79-95, 2018.

[23] V. Falguera, J. P. Quintero, A. Jimenez, A. Munoz, and A. Ibarz, "Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use," Trends Food Sci Tech. vol. 22, pp. 291-303, 2011.

[24] S. Galus, and J. Kadzinska, "Food applications of emulsion-based edible films and coatings," Trends Food Sci Tech. vol. 45, pp. 273-283, 2015.

[25] S. Galus, E. A. A. Kibar, M. Gniewosz, and K. Krasniewska, "Novel materials in the preparation of edible films and coatings, a review," Coatings. vol. 10, pp. 674, 2020. doi:10.3390/coatings10070674.

[26] P. R. Salgado, C. M. Ortiz, Y. S. Musso, L. Di Giorgio, and A. N. Mauri. "Edible films and coatings containing bioactives," Curr. Opin. Food Sci. vol. 5, pp. 86-92, 2015.

[27] S. Mangaraj, A. Yadav, L. M. Bal, S. K. Dash, and N. K. Mahanti, "Application of biodegradable polymers in food packaging industry: A comprehensive review," J Package Technol Res. vol. 3, pp. 77-96, 2019.

[28] F. Zhu, "Polysaccharide based films and coatings for food packaging: Effect of added polyphenols," Food Chem. vol. 359, pp. 134-145, 2021.

[29] M. Alizadeh-Sani, A. Ehsani, E. Moghaddas Kia, and A. Khezerlou, "Microbial gums: Introducing a novel functional component of edible coatings and packaging," Appl Microbiol Biot. vol. 103, pp. 6853-6866, 2019.

[30] M. A. Khalid, B. Niaz, F. Saeed, M. Afzaal, F. Islam, M. Hussain, M. Hafiz, M.S. Khalid, A. Siddeeg, and A. Al-Farga, "Edible coatings for enhancing safety and quality attributes of fresh produce: A comprehensive review," Int J Food Prop. vol. 25, pp. 1817-1847, 2022. doi:10.1080/10942912.2022.2107005.

[31] A. Valdes, N. Burgos, A. Jimenez, and M. C. Garrigos, "Natural pectin polysaccharides as edible coatings," Coatings. vol. 5, pp. 865-886, 2015. doi:10.3390/coatings5040865.

[32] L. C. Espinoza, M. C. Millan, R. B. Quintana, Y. L. Franco, and A. R. Chu, "Pectin and pectin-based composite materials: beyond food texture," Molecules. vol. 23, pp. 942, 2018.

[33] Z. Didar, "Effects of coatings with pectin and cinnamomum verum hydrosol included pectin on physical characteristics and shelf life of chicken eggs stored at 30°C," Nutr. Food Sci. vol. 6, pp. 39-45, 2019.

[34] J. Zink, T. Wyrobnik, T. Prinz, and M. Schmid, "Physical, chemical and biochemical modifications of protein-based films and coatings: An extensive review," Int J Mol Sci. vol. 17, pp. 1376, 2016.

[35] C. A. Davalos-Saucedo, G. Rossi-Marquez, C. Regalado-Gonzalez, M. Alonzo-Macias, and P. Di Pierro. "Application of transglutaminase crosslinked whey protein–pectin coating improves egg quality and minimizes the breakage and porosity of eggshells," Coatings. vol. 8, pp. 438, 2018. doi:10.3390/coatings8120438.

[36] F. Versino, O. V. Lopez, M. A. Garcia, and N. E. Zaritzk, "Starch-based films and food coatings: An overview," Starch-Starke. vol. 68, pp. 1026-1037, 2016.

[37] F. M. Fakhouri, S. M. Martelli, C. T. Velasco, J. I. Mei, and L. H. I. Mei. "Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes," Postharvest Biol Tec. vol. 109, pp. 57-64, 2015.

[38] L. Dai, J. Zhang, and F. Cheng. "Sources and modification methods on physicochemical properties of starch-based edible films," Int J Biol Macromol. vol. 132, pp. 897-905, 2019.

[39] R Karmakar, D. K. Ban, and U. Ghosh. "Comparative study of native and modified starches isolated from conventional and nonconventional sources," Inte Food Res J. vol. 21, pp. 597-602, 2014.

[40] N. Yang, W. Gao, F. Zou, H. Tao, L. Guo, B. Cui, L. Lu, Y. Fang, P Liu, and Z. h. Wu. "The relationship between molecular structure and film-forming properties of thermoplastic starches from different botanical sources," Int J Biol Macromol. vol. 230, pp. 123114, 2023.

[41] V. V. C. Lima, B. O. Gomes, M. Pereira, E. K. C. Barros, A. L. F. Pereira, and D. S. Silva, "Coating of cassava and yam starches in egg conservation. Research, Society and Development," vol. 9, pp. 949, 2020, doi: 10.33448/rsd-v9i8.4949.

[42] R. Syafiq, S. M. Sapuan, M. Y. M. Zuhri, R. A. Ilyas, A. Nazrin, and S. F. K. Sherwani, "Antimicrobial activities of starch-based biopolymers and biocomposites incorporated with plant essential oils: a review," Polym. vol. 12, pp. 2403, 2020. doi: 10.3390/polym12102403.

[43] G. S. Oliveira, C. McManus, P. G. S. Pires, V. M. dos Santos, "Combination of cassava starch biopolymer and essential oils for coating table eggs," Frontiers in Sustainable Food Systems. Vol. 6, 957, 2022. doi: 10.3389/fsufs.2022.957229.

[44] A. Sharaf Eddin, and R. Tahergorabi, "Efficacy of sweet potato starch-based coating to improve quality and safety of hen eggs during storage," Coatings. vol. 9, pp. 205, 2019. doi: 10.3390/coatings9030205.

[45] N. Homsaard, A. Kodsangma, P. Jantrawut, P. Rachtanapun, N. Leksawasdi, and Y. Phimolsiripol, "Efficacy of cassava starch blending with gelling agents and palm oil coating in improving egg shelf life," Food Sci Technol. vol. 56, pp. 3655-3661, 2021.

[46] P. Rachtanapun, N. Homsaard, A. Kodsangma, N. Leksawasdi, Y. Phimolsiripol, and S. Phongthai, "Effect of egg-coating material properties by blending cassava starch with methyl celluloses and waxes on egg quality," Polym. vol. 13, pp. 3787, 2021.

[47] H. Jahangir Esfahani, I. Shahabi Ghahfarrokhi, and R. Pourata, "Investigation into extending shelf life of chicken eggs using UV-C irradiated starch-oleic acid coating solutions," Journal of Food Research. vol. 31, pp. 67-82, 2021. (In Persian).

[48] M. Z. Elsabee, E. S. Abdou, "Chitosan based edible films and coatings: A review," Mater Sci Eng. Vol. 33, pp. 1819-1841, 2013. doi.org/10.1016/j.msec.2013.01.010.

[49] J. Dutta, S. Tripathi, and P. K. Dutta, "Progress in antimicrobial activities of chitin, chitosan and its oligosaccharides: a systematic study needs for food applications," Food Sci Technol Int. vol. 18, pp. 3-34, 2011. doi: 10.1177/1082013211399195.

[50] D. Xu, J. Wang, D. Ren, and X. Wu, "Effects of chitosan coating structure and changes during storage on their egg preservation performance," Coatings. vol. 8, pp. 317, 2018. doi:10.3390/coatings8090317.

[51] B. Mohammadi, "Synthesis of chitosan-polyaniline nanocomposite and investigation of its structural, biological and antibacterial properties," Scientific Journal of Packaging Science and Art, vol. 11, pp. 80-92, 2021. (In Persian)

[52] S. H. Kim, H. K. No, and W. Prinyawiwatkul, "Plasticizer types and coating methods affect quality and shelf life of eggs coated with chitosan," J. Food Sci. vol. 73, pp. S111-S117, 2008.

[53] M. Fallah Delavar, and N. Sedaghat, "A review of functional and antimicrobial properties of chitosan in food preservation," Scientific Journal of Packaging Science and Art, vol. 11, pp. 16-25 2021, (In Persian)

[54] J. Nunthanid, S. Puttipipatkhachorn, K. Yamamoto, and G. E. Peck, "Physical properties and molecular behavior of chitosan films," Drug Dev Ind Pharm. vol. 27, pp. 143-157, 2001.

[55] H. Talebi, F. Ashenai Ghasemi, and A. Ashori, "The effect of solvent and plasticizer on mechanical properties of chitosan-based biocomposites," Polymerization. vol.9, pp. 62-71, 2019. (In Persian).

[56] J. L. Chen, and Y. Zhao, "Effect of molecular weight, acid, and plasticizer on the physicochemical and antibacterial properties of β-chitosan based films," J. Food Sci. vol. 77, pp. E127-E136, 2012.

[57] S. H. Kim, H. K. No, and W. Prinyawiwatkul, "Effect of molecular weight, type of chitosan, and chitosan solution pH on the shelf-life and quality of coated eggs," J. Food Sci. vol. 72, pp. 44-48, 2007. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00233.x.

[58] P. V. Suresh, K. R. Raj, T. Nidheesh, G. K. Pal, and P. Z. Sakhare, "Application of chitosan for improvement of quality and shelf life of table eggs under tropical room conditions," Journal of Food Sci and Technol. vol. 52, pp. 6345-6354, 2015.

[59] Z. Li, and Z. Lin, "Recent advances in polysaccharide-based hydrogels for synthesis and applications," Aggregate. vol. 2, pp. 21, 2021.

[60] F. Garavand, M. Rouhi, S. H. Razavi, I. Cacciotti, R. Mohammadi, "Improving the integrity of natural biopolymer films used in food packaging by crosslinking approach: A review," Int J Biol Macromol. vol. 104, pp. 687-707, 2017.

[61] E. Y. Wardhono, M. P. Pinem, S. Susilo, B. J. Siom, A. Sudrajad, and A. Pramono, "Modification of physio-mechanical properties of chitosan-based films via physical treatment approach," Polym. vol. 14, pp. 5216, 2022. doi.org/10.3390/polym14235216.

[62] P. Riazi Kermani, D. Khademi Shurmasti, and A. Alizadeh Karsalari, "Optimization of chitosan film and effect of mixing ratio in chitosan-polyvinyl alcohol Coating on internal quality parameters of eggs," Quality and Durability of Agriculture Products and Food Stuffs.

[75] P. Suppakul, K. Jutakorn, and Y. Bangchokedee, "Efficacy of cellulose-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs," Journal of Food Engineering. vol. 98, pp. 207-213, 2010.
[76] M. S. Amiri, V. Mohammadzadeh, M. E. T. Yazdi, M. Barani, A. Rahdar, and G. Z. Kyzas, "Plant-based gums and mucilages applications in pharmacology and nanomedicine: a review," Molecules. vol. 26, pp. 1770, 2021. doi.org/10.3390/molecules26061770.
[77] H. Mirhosseini, and B. T. Amid, "A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums," Food Res Int. vol. 46, pp. 387-398, 2012.
[78] G. Nesic, S. Cabrera-Barjas, S. Dimitrijevic-Brankovic, N. Davidovic, C. Radovanovic, Delattre, "Prospect of polysaccharide-based materials as advanced food packaging," Molecules. vol. 25, pp. 135, 2020. doi:10.3390/molecules25010135.
[79] H. M. Azeredo, K. W. Miranda, M. F. Rosa, D. M. D. Nascimento, and M. R. De Moura, "Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers," LWT. vol. 46, pp. 294-297, 2012.
[80] S. Quintavalla, L. Vicini, "Antimicrobial food packaging in meat industry," Meat Sci. vol. 62, pp. 373-380, 2002.
[81] W. Hong, Y. Jeong, Y. Ahn, "Effect of a sodium alginate coating on egg quality during storage," Journal of the East Asian Society of Dietary Life. vol. 17, pp. 822-826, 2007.
[82] Y. Jiang, Ch. Zhuang, Y. Zhong, Y. Zhao, Y. Deng, H. Gao, H. Chen, and H. Mu, "Effect of bilayer coating composed of polyvinyl alcohol, chitosan, and sodium alginate on salted duck eggs," INT J FOOD PROP. vol. 21, pp. 867-877, 2018. doi:10.1080/10942912.2018.1466327.
[83] K. Basumatary, P. Daimary, S. K. Das, M. Thapa, M. Singh, A. Mukherjee, and S. Kumar, "Lagerstroemia speciose fruit-mediated synthesis of silver nanoparticles and its application as filler in agar-based nanocomposite films for antimicrobial food packaging," Food Packaging and Shelf Life. vol. 17, pp. 99-106, 2018.
[84] T. D. Phan, F. Debeaufort, D. Luu, and A. Voilley, "Functional properties of edible agar-based and starch-based films for food quality preservation," J Agr Food Chem. vol. 53, pp. 973-981, 2005.
[85] T. Karbowiak, F. Debeaufort, D. Champion, and A. Voilley, "Wetting properties at the surface of iota-carrageenan-based edible films," J Colloid Interf Sci. vol. 294, pp. 400-410, 2006.
[86] P. Varela, S. Fiszman, "Hydrocolloids in fried foods. A review," Food Hydrocoll. vol. 25, pp. 1801-1812, 2011.
[87] J. W. Rhim, "Physical-Mechanical properties of agar/carrageenan blend film and derived clay nanocomposite film," J. Food Sci. vol. 77, pp. N66-N73, 2012.
[88] C. Cheng, S. Chen, J. Su, M. Zhu, M. Zhou, T. Chen, and Y. Han, "Recent advances in carrageenan-based films for food packaging applications," Frontiers in Nutrition. vol. 9, pp. 1004588, 2022. doi: 10.3389/fnut.2022.1004588.
vol. 2, pp. 76-90, 2023. Doi:10.30495/qafj.2023.1980315.1057. (In Persian)
[63] A. Ezazi, A. Javadi, H. Jafarzadeh-Malmiri, and H. Mirzaei, "Development of a chitosan-propolis extract edible coating formulation based on physico-chemical attributes of hens' eggs: Optimization and characteristics edible coating of egg using chitosan and propolis," Food Bioscience. vol. 40, pp. 100894, 2021.
[64] S. Jafarzadeh, A. Mohammadi Nafchi, A. Salehabadi, N. Oladzad-abbasabadi, S.M. Jafari, "Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables," Advances in Colloid Interface Science. vol. 291, pp. 102405, 2021.
[65] A. Pirozzi, G. Ferrari, and F. Donsi, "The use of nanocellulose in edible coatings for the preservation of perishable fruits and vegetables," Coatings. vol. 11, pp. 990 2021, doi.org/10.3390/coatings11080990.
[66] H. Hajighasem Sharbatdar, and D. Khademi Shurmasti, "The effect of bio-filler-reinforced chitosan coating with types of solvent on internal changes and outer eggshell morphology, Int. J. Vet. Sci. vol. 5, pp. 45-54, 2022.
[67] T. Janjarasskul, J. M. Krochta, "Edible packaging materials," Annual Review of Food Sci Technol. vol. 1, pp. 415-448, 2010.
[68] A. R. V. Ferreira, V. D. Alves, and I. M. Coelhoso, "Polysaccharide-based membranes in food packaging applications," Membranes (Basel). vol. 6, pp. 22, 2016.
[69] G. Nesic, S. Cabrera-Barjas, S. Dimitrijevic-Brankovic, N. Davidovic, M. Radovanovic, "Delattre C. Prospect of polysaccharide-based materials as advanced food packaging," Molecules. vol. 25, pp. 135, 2020. doi:10.3390/molecules25010135.
[70] D. Khademi Shurmasti, "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 Technolog. vol. 121, pp. 349-364, 2022. (In Persian)
[71] A. P. Bizymis, V. Giannou, and C. Tzia, "Improved properties of composite edible films based on chitosan by using cellulose nanocrystals and beta-cyclodextrin," Applied Sciences. vol. 12, pp. 8729, 2022. doi.org/10.3390/app12178729.
[72] Sh. Mohammadi, B Ghanbarzadeh, M. Soti, and Sh .Ghiasifar, "Optimization of CMC based coating formulation on the base of minimum weight loss and maximum Haugh unit of eggs by response surface methodology (RSM)," Food Processing and Preservation Journal. vol. 5, pp. 43-58, 2013. (In Persian)
[73] Sh. Mohammadi, B. Ghanbarzadeh, M. Soti, Sh. Ghiasifar, and H. Jalali, "The use of edible active coatings based on carboxymethyl cellulose containing oleic acid and antimicrobial compounds to improve the quality and increase the shelf life of eggs," Iranian Food Sci and Technol Res J. vol. 8, pp. 235-244, 2012. (In Persian)
[74] R. Roudashtian, Sh. Shabani, and G. H. Asadi. "Effect of active coating with carboxymethyl cellulose and tragacanth containing cloves extract on some quality and shelf life of eggs during storage," Food Technology & Nutrition. vol. 18, pp. 121-131, 2021. (in Persian)