

Polymerization  
Quarterly, 2023  
Volume 12, Number 4  
Pages 34-42  
ISSN: 2252-0449

# Preparation of Protective Film for Fruits from Lignocellulosic Materials and Application of Short Ozone Pretreatment on Their Dissolution

Seyedeh Sedigheh Ebrahimi\*, Yahya Hamzeh, and Soheila Izadiar

Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources,  
University of Tehran, Postal Code 31587-77871, Karaj, Iran

Received: 4 September 2021, Accepted: 21 February 2022

## Abstract

The perishable nature of fruits and vegetables makes their shelf-life limited. Environmental factors, transportation and preservation conditions through postharvest can decrease the storage time and quality. Therefore, prolonging supply period of fruits and vegetables by using safer postharvest treatments lead preservation methods to edible coatings. Active edible coatings include different types of functional substances can be considered as a preservation method to improve strategies for improving the quality, safety and shelf-life of fruits and vegetables after storage. In this article, an overview of the basics and methods of using lignocellulosic materials to create edible coating films and the recent challenges and developments of this type of lignocellulosic material application are presented. A review of the scientific sources shows that cellulose, lignin and chitosan are polysaccharides that have high potential in the production of edible coatings. These types of coatings are commonly odorless, tasteless, non-toxic, non-allergenic, water soluble, transparent, and resistant to oil and fats. In addition, these coatings can be good carriers for active additives, antimicrobial compounds, antioxidants, anti-browning agents, texture enhancers, and nutraceuticals to prevent unwanted reactions and enzymatic or biochemical damage to inhibit microbial decay and enzymatic or biochemical damage and prevent physical textural deterioration in fruits and vegetables during storage.

## Key Words

active coating,  
carbohydrate coating,  
chitosan,  
safety and quality,  
fruit

(\*) To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: s72.ebrahimi@ut.ac.ir

# تهیه فیلم محافظ میوه از مواد لیگنوسلولوزی و کاربرد پیش عمل آوری ازونی کوتاه بر حل شدن آنها

بسپارش  
فصلنامه علمی  
سال دوازدهم، شماره ۴،  
صفحه ۴۲-۳۴، ۱۴۰۱  
ISSN: 2252-0449

سیده صدیقه ابراهیمی\*، یحیی همزه، سهیلا ایزدیار

کرج، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه آموزشی مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ،

کد پستی ۳۱۵۸۷-۷۷۸۷۱

دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۳، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲

ماهیت فسادپذیری میوه‌ها و سبزیجات سبب ماندگاری محدود آنها می‌شود. عوامل محیطی، شرایط حمل‌ونقل و نگهداری پس از برداشت می‌تواند زمان و کیفیت ذخیره‌سازی را کاهش دهد. بنابراین، طولانی شدن مدت زمان عرضه میوه‌ها و سبزیجات با استفاده از عمل‌آوری‌های پس از برداشت ایمن‌تر، روش‌های حفظ و نگهداری را به سمت پوشش‌های خوراکی هدایت می‌کند. پوشش‌های فعال خوراکی شامل انواع مختلفی از مواد عملکردی هستند که استفاده از آنها می‌تواند نوعی روش حفاظت برای بهبود راهبردهای بهبود کیفیت، ایمنی و عمر نگهداری میوه‌ها و سبزیجات پس از ذخیره‌سازی به‌شمار رود. در این مقاله نمای کلی، مبانی و روش‌های استفاده از مواد لیگنوسلولوزی برای ایجاد فیلم‌های پوششی خوراکی ارائه و چالش‌ها و تحولات اخیر این نوع کاربرد مواد لیگنوسلولوزی بررسی شده است. مروری بر منابع علمی نشان می‌دهد، سلولوز، لیگنین و کیتوسان، پلی‌ساکاریدهایی هستند که قابلیت بالقوه زیادی در تولید پوشش‌های خوراکی دارند. این نوع پوشش‌ها عمدتاً بی‌بو، بی‌مزه، غیرسمی، غیرآلرژیک، محلول در آب، شفاف و مقاوم به روغن و چربی هستند. افزودن بر این، پوشش‌های مزبور می‌توانند حامل‌های خوبی برای افزودنی‌های فعال، ترکیبات ضد میکروب، ضد اکسندها، عوامل ضد قهوه‌ای شدن، بافت‌افزاها و مواد مغذی برای جلوگیری از واکنش‌های ناخواسته و آسیب‌های آنزیمی یا زیست‌شیمیایی باشند که از پوسیدگی‌های میکروبی و آسیب‌های آنزیمی یا زیست‌شیمیایی و جلوگیری از فساد فیزیکی بافتی میوه‌ها و سبزیجات در طول ذخیره‌سازی جلوگیری شود.

## چکیده



سیده صدیقه ابراهیمی



یحیی همزه



سهیلا ایزدیار

## واژگان کلیدی

پوشش فعال،  
پوشش کربوهیدراتی،  
کیتوسان،  
ایمنی و کیفیت،  
میوه

## مقدمه

میوه‌ها و سبزیجات عمر نسبتاً کوتاهی پس از برداشت دارند و مستعد پوسیدگی‌های فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی هستند. امروزه مصرف‌کنندگان متقاضی نوعی بسته‌بندی هستند که ضمن بهبود سلامت، باعث تازگی و مانع کاهش کیفیت میوه‌ها و سبزیجات پس از برداشت می‌شود [۱]. زوال کیفیت میوه‌ها و سبزیجات به علت محتوای زیاد مواد مغذی و آب آن‌هاست که ناشی از رخدادهای زیستی مانند تنفس، ترشح و تحول زیست‌شیمیایی حاصل است. این واکنش‌ها در میوه‌ها و سبزیجات به آسیب‌های تغذیه‌ای، عملکردی و حسی (تغییر عطر و طعم) منجر می‌شود. گسترده‌تر کردن مدت زمان عرضه میوه‌ها و سبزیجات افزون بر حفظ کیفیت آن‌ها، سود اقتصادی خوبی به دنبال دارد [۱]. روش‌های متعددی برای حفظ کیفیت میوه‌ها و سبزیجات با هدف حفاظت از آن‌ها به عنوان مثال، افزایش عمر نگهداری، جلوگیری از واکنش‌های قهوه‌ای شدن، فساد، رشد میکروبی، اکسایش و ازدست‌دادن مواد مغذی استفاده می‌شوند [۱]. از میان فنون مختلف برای حفظ کیفیت، روش‌های فیزیکی و شیمیایی معمولاً بیشتر رایج هستند.

روش‌های فیزیکی شامل تابش نور فرابنفش (UV)، نور پالسی (PL)، پلاسمای سرد (CP)، فراوری پر فشار (HPP)، فراصوت‌دهی (US)، مدیریت دما (نظیر انجماد و غیره)، جو کنترل شده (CA) و فنون بسته‌بندی با جو اصلاح شده (MAP) هستند. همچنین، عمل‌آوری‌های شیمیایی شامل استفاده از مواد مختلف مانند کلر (هیپوکلریت)، برم، ید، تری‌سدیم فسفات، اسیدهای آلی (پراکسی استیک اسید)، پراکسید هیدروژن و ازون است [۲]. تمام این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند. به عنوان مثال، انجماد باعث تغییرات برگشت‌ناپذیر در محصول شده یا عملیات گرمایی باعث اتلاف مواد مغذی، کاهش وزن، تغییر طعم و از بین رفتن ویتامین‌ها می‌شود. اگرچه می‌توان فناوری‌های MAP و CA را به عنوان مؤثرترین روش‌های گسترده و موفق در نظر گرفت، اما آن‌ها گران هستند و نمی‌توانند برای برخی میوه‌ها و سبزیجات استفاده شوند [۳]. استفاده بی‌رویه از عمل‌آوری‌های شیمیایی و عدم وجود مقررات مدون در این باره می‌تواند باعث مشکلات بهداشتی و سلامتی برای مصرف‌کنندگان شود. بنابراین، جایگزینی عمل‌آوری‌های شیمیایی با استفاده از روش‌های ایمن‌تر به منظور تولید محصولات غذایی طبیعی و سالم اهمیت زیادی دارد [۴].

استفاده از پوشش‌ها می‌تواند کمبودهای سایر روش‌ها را برطرف کند [۵]. در ساده‌ترین حالت، پوشش‌ها به عنوان مواد کنش‌ناپذیر و غیرفعال برای حفظ کیفیت میوه‌ها و سبزیجات استفاده می‌شوند

که می‌توانند آثار مضر تنش‌های شیمیایی و مکانیکی را کاهش دهند. افزون بر این، پوشش می‌تواند رطوبت، اکسیژن، کربن دی‌اکسید و انتقال اتیلن را تنظیم و ترکیبات معطر و طعم میوه‌ها و سبزیجات را حفظ کند و باعث بهبود ظاهر فیزیکی و یک‌پارچگی ساختاری آن‌ها شود [۶]. از سوی دیگر، پوشش‌های متداول براساس موم‌های سنتزی یا قارچ‌کش‌های شیمیایی است که می‌توانند به سلامت مصرف‌کنندگان آسیب برسانند و باعث آلودگی محیط زیست شوند. آگاهی و تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات سالم‌تر و ایمن‌تر، جست‌وجو برای مواد و فنون پوشش‌دهی جدید را تشدید کرده است [۷].

پوشش‌های فعال خوراکی شامل طیف گسترده‌ای از مواد کاربردی مانند گیاهان، ضد میکروب‌ها، ضد اکسندها، ترکیبات طعم‌دهنده، رنگ‌دهنده و مواد مغذی به عنوان جایگزینی مؤثر و سازگار با محیط زیست برای پوشش‌های غیرخوراکی معمولی توسعه یافته‌اند. این مواد دارای قابلیت حفظ کیفیت میوه‌ها و سبزیجات، پایداری و ایمنی و کاهش اثرگذاری نامطلوب مواد شیمیایی بر مصرف‌کنندگان و محیط زیست هستند [۸]. کارایی پوشش‌های خوراکی به نوع پلیمرهای موجود در ترکیب سازنده آن‌ها بستگی دارد. در میان پلیمرهای مختلف، پلی‌ساکاریدها مانند نشاسته [۷]، صمغ (صمغ عربی، آگار، گوار و زانتان)، آلزینات [۹]، کیتوسان [۱۰] و کاراگینان [۱۱] بدین منظور بررسی و استفاده شده‌اند. گزارش‌ها بر جنبه‌های مثبت و منفی پوشش‌های مختلف طبیعی متمرکز شده‌اند [۱]. با توجه به کاربرد نهایی پوشش خوراکی، طیف گسترده‌ای از ترکیبات را می‌توان در فرمول‌بندی پوشش استفاده کرد. به عنوان یک ویژگی کلی، مواد پوششی باید پراکنش‌پذیر یا محلول در حلال‌های متداول باشند. در عین حال، سایر اجزا مانند امولسیون‌ها و مواد افزودنی برای مقاصد مختلف می‌توانند در طول آماده‌سازی برای بهبود یک‌پارچگی، ثبات و عملکرد پوشش به آن اضافه شوند [۱۲]. پوشش‌های خوراکی را می‌توان به طور کلی به سه گروه اصلی طبقه‌بندی کرد [۱۳]:

۱- برپایه پلی‌ساکاریدها (به عنوان مثال هیدروکلوئیدها، کیتوسان و صمغ‌ها)،

۲- برپایه پروتئین‌ها (نظیر ژلاتین، زئین، پروتئین سویا، پروتئین آب پنیر و کازئین)،

۳- برپایه لیپیدها (مانند موم، چربی، روغن و رزین) به تنهایی یا به طور ترکیبی.

توصیف کلی از چنین طبقه‌بندی در شکل ۱ نشان داده شده است [۱]. همچنین، ترکیبی از این مواد به عنوان پوشش‌های کامپوزیتی

## پوشش‌های خوراکی

بر پایه پلی ساکاریدها		بر پایه پروتئین‌ها		بر پایه لیپیدها		کامپوزیت‌ها			
سولوز	نشاسته	پکتین	صمغ	پروتئین گیاهی	پروتئین حیوانی	مواد سطح فعال	موم‌ها	ترکیب لایه‌ها	ترکیبی از چند ماده در یک لایه
نانوسولوز			صمغ عربی	سوس برنج	لاتین	چربی‌ها (الکل‌ها-اسیدها)	موم زنبور عسل	پروتئین- پلی ساکارید	
هیدروکسی پروپیل سولوز			زانتان	پروتئین سویا	کلاژن	گلیسریدهای استیل‌دار شده	کارنوبا	پروتئین-لیپید	
کربوکسی متیل سولوز			آگار-کاراگینان- آلژینات	کنجد	آلبومین		پارافین	پروتئین-پروتئین	
متیل اتیل سولوز			گوار	زئین	کشک			مخلوط صمغ‌ها	
				دانه پنبه					
				پروتئین نخود					
				بادام زمینی					

شکل ۱- طبقه‌بندی پوشش‌های خوراکی بر اساس نوع ماده اولیه و ترکیب آن‌ها [۱].

آن می‌شود. سلولوز پلیمری خطی است که از واحدهای گلوکوز تشکیل شده و می‌تواند به دلیل تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین پلیمر، ساختارهای منظم (بلوری) و نامنظم (بی‌شکل) ایجاد کند. همی سلولوزها پلیمرهای بی‌شکل و شاخه‌ای از واحدهای تصادفی پنتوز و هگزوز هستند که مقاومت زنجیر آن‌ها در مقایسه با سلولوز کمتر است [۱۵].

## نحوه اعمال پوشش‌های حاصل از مواد لیگنوسولوزی

فرایند پوشش دهی به منظور اطمینان از انسجام مواد پوششی و ایجاد ضخامت خاص انجام می‌شود. انسجام ذرات در ساختار پوشش و چسبندگی میان پوشش و سطح میوه‌ها و سبزیجات به طور مستقیم بر خواص سدی و مکانیکی لایه پوشش اثر می‌گذارد که به روش‌های شکل‌گیری بستگی دارد [۱۶].

فیلم‌ها و پوشش‌های محافظ مواد غذایی را می‌توان با روش‌های مختلف از جمله قلم‌موزنی (brushing)، لفاف‌کشی، افشانش، پوشانش غوطه‌ای، ریخته‌گری، روکش دهی چرخشی (panning) و یا غلتک‌کاری به کار برد. نوع محصول غذایی تعیین‌کننده بهترین روش پوشش دهی است. کاربرد روش افشانش برای پوشش میوه‌ها و سبزیجات متداول‌تر است [۱۷]. ریخته‌گری روش دیگری است که در آن محلول پوششی روی سطح ریخته شده و اجازه داده می‌شود تا خشک شود. با این روش فیلم‌هایی با ضخامت مشخص، صاف و مسطح تولید می‌شود. سپس بسته به ثبات و استحکام و

(دولایه یا کنگلومراتور) با عملکرد بهبودیافته مطرح است [۵].

## پوشش‌های پلی ساکاریدی

فناوری سبز به عنوان یک ابتکار در چند دهه گذشته به ویژه در بخش مواد پوششی و بسته‌بندی مورد توجه قرار گرفته است. تولید مواد پوششی با استفاده از منابع تجدیدپذیر و بر پایه منابع زیستی، نه تنها برای مقابله با مشکلات دفع پسماند، بلکه برای جلوگیری از سوزاندن ضایعات لیگنوسولوزی و آسان‌سازی حفاظت از منابع چوبی، کاملاً ضروری است. ایجاد ارزش افزوده و تبدیل پسماندهای تجدیدپذیر به مواد پوششی و بسته‌بندی پیشرفت چشمگیری داشته است. با این حال، هنوز شکافی میان دانش و کاربرد وجود دارد [۱۴]. در این بررسی، امکان تولید و اعمال پوشش‌های زیست تخریب پذیر از مواد لیگنوسولوزی و پسماندهای لیگنوسولوزی کشاورزی (شامل باگاس نیشکر، کاه و کلش گندم و برنج) به عنوان راه‌حل مناسبی برای توسعه مواد بسته‌بندی پایدار و سازگار با محیط زیست ارزیابی می‌شود.

زیست توده لیگنوسولوزی مانند باگاس به علت فراوانی و ارزانی، ماده اولیه بالقوه‌ای برای تولید محصولات با ارزش زیستی است. این مواد عمدتاً شامل سلولوز (۴۰-۵۰٪)، همی سلولوزها (۲۵-۳۵٪)، لیگنین (۱۵-۳۵٪) و سایر اجزا مانند مواد استخراجی و معدنی است. لیگنین نوعی پلیمر آروماتیک ناهمگن با ساختار سه‌بعدی است که سلولوز را محافظت می‌کند، می‌پوشاند و مانع تجزیه زیستی

غوطه‌ای ممکن است نازک‌تر و نایک‌نواخت‌تر از پوشش اعمالی با سایر روش‌ها باشد و برای اطمینان از پوشش‌دهی کامل چندبار غوطه‌وری لازم است. یکنواختی و پیوستگی پوشش، عامل بسیار مهمی است که به کشش سطحی، چسبندگی به بستر مواد غذایی و انعطاف‌پذیری پوشش بستگی دارد. یکنواختی بهتر با افزودن سطح‌فعال به محلول برای کاهش کشش سطحی می‌تواند حاصل شود [۱۷].

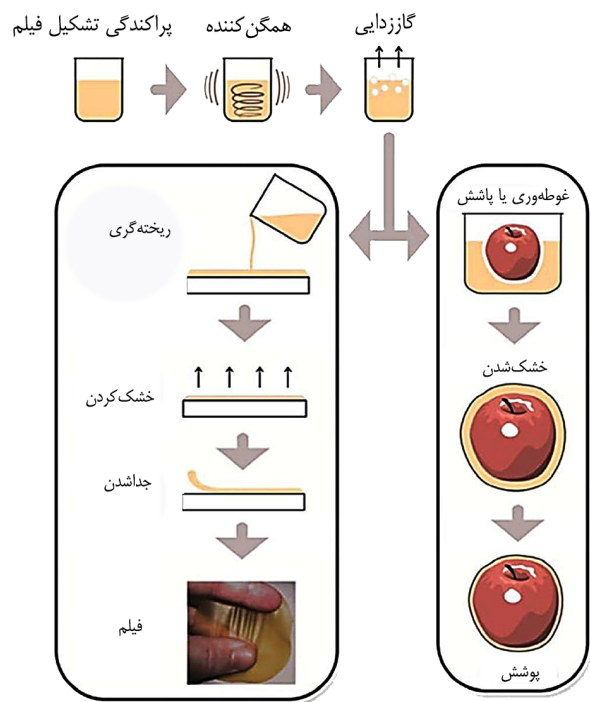
در شکل ۳، مقایسه ماندگاری میان دو سیب پوشش‌یافته با پلی‌ساکاریدها و پوشش‌دهی‌نشده را نشان می‌دهد. ظاهر سیب‌ها پس از ۳۰ روز نشان می‌دهد، پایداری بافتی سیب بدون پوشش‌دهی کاهش یافته و بافت آن چروکیده شده است که ناشی از کاهش رطوبت بافت سیب در اثر تبادل رطوبتی با محیط است. کاملاً مشخص است، در انتهای ۳۰ روز سیب پوشش‌یافته دارای پایداری بافتی مناسب، کاهش وزن کمتر و ظاهر بهتری دارد [۲۴].

### آماده‌سازی مواد لیگنوسلولوزی برای تهیه پوشش‌های خوراکی

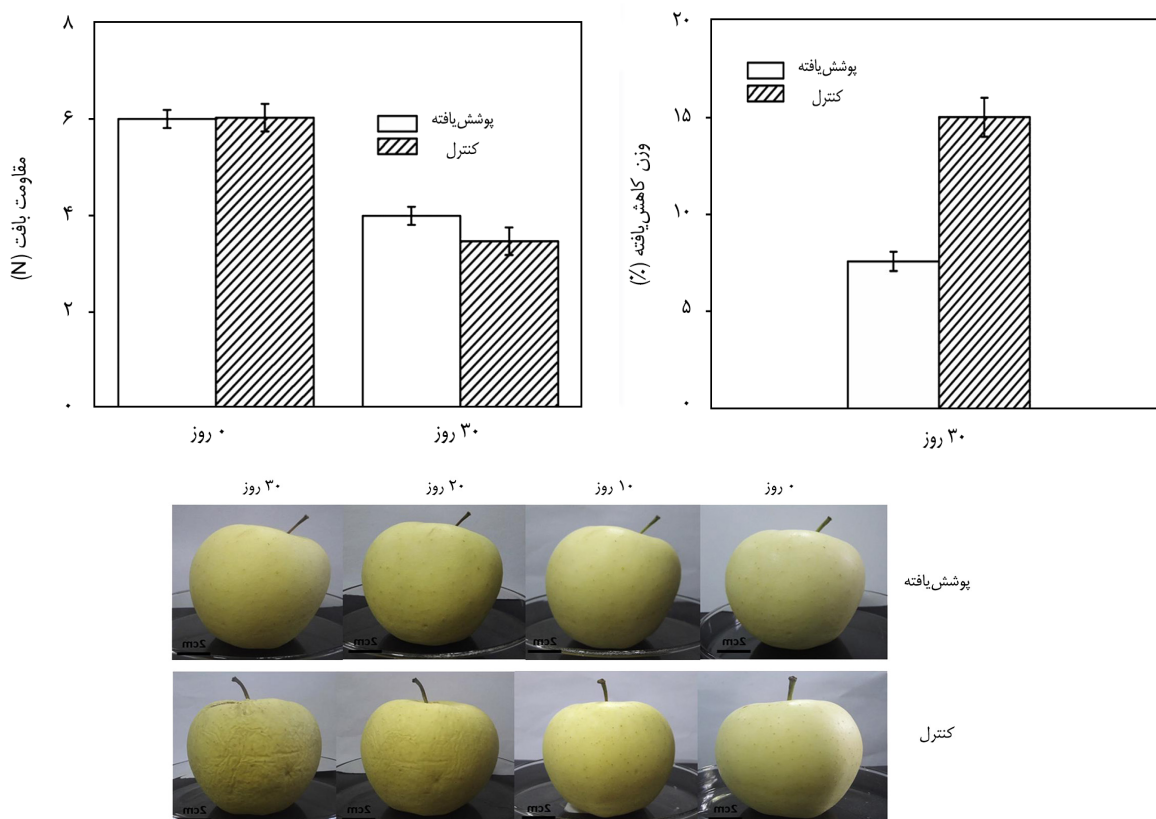
پژوهش‌های اخیر راهبردهای امیدوارکننده مختلف درباره تهیه مواد پوشش‌دهی و بسته‌بندی سازگار با محیط زیست با استفاده از پلیمرهای لیگنوسلولوزی برای رقابت در عرصه‌ای را نوید می‌دهند که مدت‌هاست تحت سلطه پلاستیک‌های سنتزی قرار دارد. برخی از رویکردهای امیدوارکننده، مستلزم استفاده از چند لایه از مواد مختلف یا مواد افزودنی مانند موم و ترکیبات سطح‌فعال، افزون بر مواد سلولوزی و نانوسلولوز است [۲۵]. یک فیلم پوشش یا لایه میانی برپایه نانوسلولوز، افزون بر سبک‌وزنی می‌تواند مزایای تجدیدپذیری، قابلیت بازیافت، فرایندپذیری و سازگاری با سلامتی و محیط را فراهم کند. برای برخی از فیلم‌های نانوسلولوزی به‌طور ویژه، کارایی زیاد مقاومت در برابر نفوذ اکسیژن نسبت به مواد برپایه پلاستیک گزارش شده است [۲۶]. اعمال فیلم‌ها و پوشش‌های محافظ حاصل از مواد لیگنوسلولوزی نیازمند حل شدن آن‌ها در حلال یا پراکندگی ریزذرات (میکرو و نانو) آن‌ها در محیط آبی است. در حین حل شدن نیز ممکن است اصلاحاتی روی سلولوز نیز انجام شود [۲۷]. برای رسیدن به میکرو و نانوذرات از مواد لیگنوسلولوزی روش‌های مختلف وجود دارد [۲۷]. این ذرات می‌توانند به‌تنهایی یا با استفاده از پیوندها فیلم پوششی تولید کنند. در این راستا، می‌توان به مطالعات اخیر در زمینه استفاده از حلال‌های مختلف مانند حلال‌های یونی [۲۸]، یوتکتیک قوی [۲۹،۳۰]، سود، سود-اوره و حلال‌های آلی [۳۱-۳۳] و غیره اشاره کرد.

انعطاف‌پذیری، فیلم‌ها را می‌توان در بسته‌بندی مواد و پوشش‌دهی به‌کار برد. این فن اجازه می‌دهد تا فیلم‌ها به هر اندازه برش داده شده و پس از آن برای پوشش‌دهی مواد غذایی استفاده شوند [۱۸]. در این روش، خواص محلول پوششی (غلظت، گران‌روی، تنش سطحی، سرعت غوطه‌وری مواد غذایی در آن) مهم هستند [۱۹]. همچنین، فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی می‌توانند با اکستروودکردن اعمال شوند [۲۰].

اکستروودکردن اغلب به‌عنوان روش ساخت فیلم ترجیح داده می‌شود، زیرا این فرایند سریع‌تر و انرژی کمتری برای حذف آب مورد نیاز است [۲۱]. کاربرد موفقیت‌آمیز اکستروودکردن بستگی به متغیرهایی دارد که باید در طول فرایند کنترل شود. این متغیرها شامل انتخاب مناسب مواد تشکیل‌دهنده فیلم، مقدار خوراک مایع، سرعت گردش ماردان، رخ‌نمای دمایی اکستروودکردن، میزان فشار ورودی-خروجی محصول و اختلاف آن‌هاست [۲۲]. ساده‌ترین روش استفاده از یک پوشش، غوطه‌وری مستقیم محصول در یک محلول است (شکل ۲). غوطه‌وری زمانی سودمند است که محصول نیاز به چند بار استفاده از یک پوشش برای به‌دست‌آوردن یکنواختی در سطح نامنظم مانند میوه‌ها و سبزیجات تازه دارد. بسته به غلظت محلول پوششی، محصول باید مقدار مناسبی از مواد پوششی را به‌شکل لایه مدنظر جذب کند. پوشش حاصل از روش



شکل ۲- نمایی از تولید فیلم‌ها و پوشش‌ها به روش: (الف) پوشانش غوطه‌ای و (ب) ریخته‌گری [۲۳].



شکل ۳- اثر پوشش دهی سیب با پلی ساکاریدها بر ظاهر و کاهش وزن آن [۲۴].

ناشی از ساختارها و پیوندهای مستحکم و مشابه میان اجزاست [۳۶]. به نظر می‌رسد، برای تغییر ساختار زیست توده‌های لیگنوسلولوزی و بهبود بازده تفکیک الیاف، حل شدن آسان تر آن‌ها و افزایش کیفیت نهایی فیلم پوششی یک یا چند مرحله پیش عمل آوری لازم است [۳۷]. در این راستا، می‌توان به عمل آوری‌های با ازون [۱۵، ۳۸، ۳۹]، ریزموج [۳۰] و پرتو دهی گاما [۴] و غیره اشاره کرد. هر یک از این روش‌ها دارای معایب و مزایایی هستند. برای مثال، پرتو دهی گاما فناوری پیش عمل آوری موفقی برای سلولوز و سایر مواد لیگنوسلولوزی به شمار می‌رود، اما هزینه بر است [۴]. بدین دلیل، پژوهشگران به دنبال یافتن پیش عمل آوری‌های دوست دار محیط زیست، ارزان، مناسب برای انواع مختلف مواد لیگنوسلولوزی، همراه با کاهش تولید مواد جانبی سمی، با حداقل مصرف انرژی، اجتناب از تخریب کربوهیدرات‌ها، کاهش نیاز به آماده سازی و حداقل مصرف کاتالیزگر و تعداد دفعات پیش عمل آوری هستند [۴، ۳۹]. در میان این گزینه‌ها، ازون کافت یکی از امیدبخش ترین پیش عمل آوری‌های مواد لیگنوسلولوزی برای تخریب لیگنین با حداقل اثرگذاری بر محتوای همی سلولوزها و سلولوز محسوب می‌شود [۱۵].

فتحی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی تهیه فیلم لیگنوسلولوزی بر پایه حل شدن کلش برنج را بررسی کردند. در ابتدا برای حل شدن کلش برنج از سدیم هیدروکسید با غلظت‌های متفاوت استفاده شد. با اعمال متوالی پیش عمل آوری‌های شیمیایی اسیدی، استفاده از محلول سود-اوره و توالی انجماد-ذوب، بازده حل شدن بهبود یافت و فیلم‌هایی با استفاده از روش ریخته‌گری تولید شد. نتایج نشان داد، فیلم حاصل از حل شدن کلش برنج پیش استخراج شده در محیط اسیدی و سپس حل شده با محلول سود-اوره دارای خواص نوری، یکنواختی و توپوگرافی سطح مناسبی است که می‌تواند برای پوشش دهی در صنعت بسته بندی استفاده شود [۳۴]. با اینکه تحولات شگرفی در کاربرد حلال‌های جدید مشاهده می‌شود و مواد پوششی و الیاف حاصل از آن‌ها ویژگی‌های مناسبی دارند، اما به نظر می‌رسد، پژوهش‌های پیرامون دستیابی به فرایندی ساده، اقتصادی و بدون مسائل زیست محیطی همچنان ضروری است، چرا که حلال یا فرایند مناسب هنوز به دست نیامده و به مطالعات بیشتری در این باره نیاز است [۳۵].

چالش اصلی در استفاده از مواد لیگنوسلولوزی برای تولید فیلم پوششی، دشواری جداسازی این مواد به اجزای سازنده بوده که



## عمل آوری مواد لیگنوسلولوزی با ازون

ازون یک اکسنده قوی برای اکسایش لیگنین است، زیرا با ترکیبات آروماتیک و غیراشباع واکنش می دهد. در میان اکسنده های شیمیایی، ازون نسبت به ترکیبات دارای گروه های عاملی با تراکم الکترونی زیاد (لیگنین) بسیار واکنش پذیرتر است. بدین دلیل مهم ترین اثر عمل آوری مواد لیگنوسلولوزی با ازون تجزیه لیگنین است. همان طور که ازون لیگنین را تجزیه می کند، قدرت چسبندگی میان میکروالیاف سلولوزی را کاهش می دهد که می تواند دسترسی به سلولوز و همی سلولوزها را بهبود بخشد. در ابتدای واکنش، سرعت تجزیه لیگنین زیاد است و به تدریج کاهش می یابد که در اثر کاهش دسترس پذیری ازون به لیگنین است. افزون بر این، واکنش های تراکمی ترکیبات فنولی آزاد شده سبب مقاومت بیشتر نسبت به حمله ازون می شود. همی سلولوزها نیز می توانند به مقدار خیلی کم از طریق واکنش های غیرگزینشی ازون تجزیه شوند. با کاهش مقدار لیگنین، حل شدن همی سلولوزها نیز می تواند افزایش یابد، زیرا در مواد لیگنوسلولوزی، هر دو ماده با هم یک ساختار مشخص به نام پیوندهای لیگنین-همی سلولوزها را تشکیل می دهند. اگرچه اتصالات گلیکوزیدی در سلولوز نیز می تواند با ازون شکسته شود، اما در مجاورت لیگنین، سلولوز به مقدار خیلی کمی تحت تأثیر قرار می گیرد [۳۷]. همچنین، پیش عمل آوری با ازون می تواند حجم کلی منافذ و نیز سطح ویژه مواد لیگنوسلولوزی را افزایش دهد. این مسئله می تواند دسترسی حلال ها و آنزیم ها را به دیواره های لیفی بهبود بخشد. از سوی مقابل، ممکن است مقادیر زیادی از ازون برای فرایند ضروری باشد، بنابراین شرایط عملیاتی باید بهینه سازی و از نظر مصرف انرژی اقتصادی شود.

ازون کافت به عنوان روش پیش عمل آوری زیست توده هنوز در کاربردهای صنعتی به خوبی مستقر و پایدار نشده است. با وجود این یافته های پژوهشی نشان می دهند، این فناوری از قابلیت بالقوه زیادی برای استفاده در صنعت برخوردار است. اثربخشی ازون کافت به عوامل مختلفی از جمله طراحی و آرایش واکنشگاه، شرایط فرایند از جمله سرعت و مصرف جریان ازون، رطوبت زیست توده، زمان واکنش و اندازه ذرات زیست توده بستگی دارد. این عوامل می توانند واکنش ازون با کربوهیدرات و لیگنین را تقویت کرده و آن ها را به شکل ایاف و مواد مفید برای کاربردهای پایین دستی، تفکیک کنند. این امکان وجود دارد که با کاهش هزینه تولید ازون و مصرف آن از طریق استفاده مؤثرتر، پیش عمل آوری با ازون اقتصادی تر شود و بهبود یابد [۳۷]. نتایج پژوهش های Rosen و همکاران (۲۰۱۹) و Travaini و همکاران (۲۰۱۶) نشان داده است، برای لیگنین زدایی،

عمل آوری با ازون دهی طولانی لازم نیست و با عمل آوری های کوتاه می توان به نتایج لیگنین زدایی مناسب دست یافت [۱۵، ۳۹]. ازون دهی کوتاه می تواند سبب صرفه جویی در میزان انرژی و هزینه پیش عمل آوری شود و میزان تخریب سلولوز و همی سلولوزها را که ترکیبات ارزشمندی هستند، به طور درخور توجهی کاهش دهد.

## ملاحظات مربوط به پیش عمل آوری مواد لیگنوسلولوزی با ازون

اثرگذاری ازون به عنوان نوعی ماده لیگنین زدا نسبت به سایر پیش عمل آوری ها دارای ویژگی های زیر است [۳۷]:

۱- تخریب اساسا به لیگنین محدود می شود، اگرچه سلولوز و همی سلولوزها می توانند اندکی مورد حمله قرار گیرند. زیرا، واکنش پذیری ازون نسبت به لیگنین در مقایسه با سایر فرایندهای لیگنین زدایی مزیت بارزی است و باعث کاهش وزن کمتری در طول پیش عمل آوری می شود،

۲- ازون در محل مصرف تولید می شود و از این طریق از مشکلات مربوط به تأمین مواد شیمیایی در مناطق دورافتاده، ذخیره سازی، هزینه های حمل و نقل و مشکلات ایمنی مرتبط با حمل و نقل جلوگیری می شود،

۳- تولید ازون نیازی به تجهیزات بزرگ مقیاس و از لحاظ اقتصادی به صرفه، ندارد. استفاده از آن برای مصارف کوچک با انواع مختلف زیست توده نیز بسیار جذاب است،

۴- واکنش ها در دما و فشار محیط انجام شده که باعث کاهش هزینه های سرمایه و انرژی می شود،

۵- اثر آلودگی جوی فرایند حداقل است، زیرا ازون باقی مانده با استفاده از بستر کاتالیزگر به راحتی به اکسیژن تجزیه می شود. در هر حال، فرایند باید برای بهینه سازی مصرف ازون طراحی شود، تا باقی مانده آن حداقل باشد و

۶- ازون مواد اسیدی، بازی یا سمی در مواد عمل آوری شده باقی نمی گذارد. بنابراین، می توان از مواد لیگنوسلولوزی ازون دهی شده به عنوان خوراک دام استفاده کرد.

در این راستا، پژوهش های بسیاری با هدف بهینه سازی عوامل مؤثر بر ازون دهی مواد لیگنوسلولوزی از جمله رطوبت، اندازه ذرات، غلظت ازون در فاز گاز، pH واکنش و مقدار ازون (ازون اعمالی به ازای ماده خشک) انجام شده است. مقدار رطوبت و غلظت ازون همراه با نوع ماده اولیه، مهم ترین عوامل مؤثر بر کارایی ازون دهی مواد لیگنوسلولوزی هستند [۳۷]. اما برای روشن شدن تأثیر پارامترهای فرایند و بهینه سازی آن در دستیابی به بازده زیاد با امکان پذیری اقتصادی، مطالعات بیشتری ضروری است [۳۷].

## نتیجه گیری

ضایعات لیگنوسلولوزی و آسان‌سازی حفاظت از منابع چوبی، کاملاً ضروری است. از این رو، استفاده از مواد لیگنوسلولوزی در پوشش‌های میوه‌ها نویدبخش خوبی برای بهبود کیفیت و قابلیت نگهداری میوه‌های تازه پس از برداشت در شرایط مختلف نگهداری است. همچنین طی این مطالعه در یک رویداد یکپارچه و با در نظر گرفتن تأثیر شرایط عمل‌آوری با ازون بر بازده حل شدن مواد لیگنوسلولوزی برای تولید پوشش‌ها و فیلم‌های زیستی بسیار مهم است. اقتصادی شدن عمل‌آوری با ازون ممکن است با کاهش هزینه تولید و مصرف ازون از طریق استفاده کاراتر آن، بهبود یابد.

میوه‌های تازه سرشار از ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات فعال زیستی بوده و در عین حال بسیار فسادپذیر هستند. برای تأمین نیازهای خاص فیزیولوژیکی پس از برداشت و شرایط نگهداری میوه معینی لازم است تا فناوری پوشش‌دهی مقرون به صرفه اقتصادی، دارای خواص سدی در برابر گازها و رطوبت، خواص مکانیکی و سایر خواص مطلوب توسعه یابد. تولید پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی از منابع تجدیدپذیر و برپایه منابع زیستی، نه تنها برای مقابله با مشکلات دفع زباله، بلکه برای جلوگیری از سوزاندن

## مراجع

- Panahirad S., Dadpour M., Peighambar Doust S.H., Soltanzadeh M., Gullón B., Alirezalu K., and Lorenzo J.M., Applications of Carboxymethyl Cellulose -and Pectin-Based Active Edible Coatings in Preservation of Fruits and Vegetables: A Review, *Trends Food Sci. Technol.*, **110**, 663-673, 2021.
- Flores-López M.L., Cerqueira M.A., de Rodríguez D.J., and Vicente A.A., Perspectives on Utilization of Edible Coatings and Nano-laminate Coatings for Extension of Postharvest Storage of Fruits and Vegetables, *Food Eng. Rev.*, **8**, 292-305, 2016.
- Ma L., Zhang M., Bhandari B., and Gao Z., Recent Developments in Novel Shelf Life Extension Technologies of Fresh-Cut Fruits and Vegetables, *Trends Food Sci. Technol.*, **64**, 23-38, 2017.
- Ocwelwang A.R., *Laser and Ultrasound Radiation Pretreatment of Cellulose in Dissolving Wood Pulp*, Ph.D Dissertation, College of Agriculture, South Africa, December 2017.
- Kumar P. and Sethi S., Edible Coating for Fresh Fruit: A Review, *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, **7**, 2619-2626, 2018.
- Ghidelli C. and Pérez-Gago M.B., Recent Advances in Modified Atmosphere Packaging and Edible Coatings to Maintain Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **58**, 662-679, 2018.
- Sapper M. and Chiralt A., Starch-Based Coatings for Preservation of Fruits and Vegetables, *Coatings*, **8**, 152, 2018.
- Hasan S.K., Ferrentino G., and Scampicchio M., Nano-emulsion as Advanced Edible Coatings to Preserve the Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: A Review, *Int. J. Food Sci. Technol.*, **55**, 1-10, 2020.
- Müller K. and Schmid M., Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications, *Foods*, **7**, 2018.
- Jianglian D. and Shaoying Z., Application of Chitosan Based Coating in Fruit and Vegetable Preservation: A Review, *J. Food Proc. Technol.*, **4**, 227, 2013.
- Karbowiak T., Hervet H., Léger L., Champion D., Debeaufort F., and Voilley A., Effect of Plasticizers (Water and Glycerol) on the Diffusion of a Small Molecule in Iota-Carrageenan Biopolymer Films for Edible Coating Application, *Biomacromolecules*, **7**, 2011-2019, 2006.
- Vildan E., Ismail T., and Selman T., The Effect of Edible Coatings on Physical and Chemical Characteristics of Fruit Bars, *J. Food. Lipids*, **14**, 1775-1783, 2020.
- Nor S.M. and Ding P., Trends and Advances in Edible Biopolymer Coating for Tropical Fruit: A Review, *Food Res. Int.*, **134**, 109208, 2020.
- Bhardwaj A., Alam T., Sharma V., Alam M.S., Hamid H., and Deshwal G.K., Lignocellulosic Agricultural Biomass as a Biodegradable and Eco-Friendly Alternative for Polymer-Based Food Packaging, *J. Packag. Technol. Res.*, **4**, 205-216, 2020.
- Travaini R., Martín-Juárez J., Lorenzo-Hernando A., and Bolado-Rodríguez S., Ozonolysis: An Advantageous Pretreatment for Lignocellulosic Biomass Revisited, *Bioresour. Technol.*, **199**, 2-12, 2016.
- Falguera V., Quintero J.P., Jiménez A., Muñoz J.A. and Ibarz A., Edible Films and Coatings: Structures, Active Functions and Trends in their Use, *Trends Food Sci. Technol.*, **22**, 292-303, 2011.
- Embuscado M.E. and Huber K.C., *Edible Films and Coatings for Food Applications*, Springer, New York, USA, 9, 2009.
- McHugh T.H. and Senesi E., Apple Wraps: A Novel Method to Improve the Quality and Extend the Shelf Life of Fresh-Cut Apples, *J. Food Sci.*, **65**, 480-485, 2000.



19. Cisneros-Zevallos L. and Krochta J.M., Dependence of Coating thickness on Viscosity of Coating Solution Applied to Fruits and Vegetables by Dipping Method, *J. Food Sci.*, **68**, 503-510, 2003.
20. Ghanbarzadeh B., Almasi H., and Entezami A.A., Physical Properties of Edible Modified Starch/Carboxymethyl Cellulose Films, *Innovative Food Sci. Emerging Technol.*, **11**, 697-702, 2010.
21. Fishman M.L., Coffin D.R., Onwulata C.I., and Konstánc R.P., Extrusion of Pectin and Glycerol with Various Combinations of Orange Albedo and Starch, *Carbohydr. Polym.*, **57**, 401-413, 2004.
22. Kocira A., Kozłowicz K., Panasiewicz K., Staniak M., Szpunar-Krok E., and Hortyńska P., Polysaccharides as Edible Films and Coatings: Characteristics and Influence on Fruit and Vegetable Quality-A Review, *Agronomy*, **11**, 813, 2021.
23. Otoni C.G., Avena-Buštillos R.J., Azeredo H.M., Lorevice M.V., Moura M.R., Mattoso L.H., and McHugh T.H., Recent Advances on Edible Films Based on and Vegetables-A Review, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, **16**, 1151-1169, 2017.
24. Yang Y., Ren J., Luo C., Yuan R., and Ge L., Fabrication of l-Menthol Contained Edible Self-healing Coating Based on Guest-Host Interaction, *Colloids Surf. A.*, **597**, 124743, 2020.
25. Hubbe M.A., Ferrer A., Tyagi P., Yin Y., Salas C., Pal L., and Rojas O.J., Nanocellulose in Thin Films, Coatings, and Plies for Packaging Applications: A Review, *BioResources*, **12**, 2143-2233, 2017.
26. Shimizu M., Saito T., and Isogai A., Water-Resistant and High Oxygen-Barrier Nanocellulose Films with Interfibrillar Cross-linkages Formed through Multivalent Metal Ions, *J. Membr. Sci.*, **500**, 1-7, 2016.
27. Fu F., Zhang W., Zhang R., Liu L., Chen S., Zhang Y. and Yau J., NaOH/Urea Solution Spinning of Cellulose Hybrid Fibers Embedded with Ag Nanoparticles: Influence of Stretching on structure and Properties, *Cellulose*, **25**, 7211-7224, 2018.
28. Chen K., Xu W., Ding Y., Xue P., Sheng P., Qiao H., and He J., Hemp-Based All-Cellulose Composites through Ionic Liquid Promoted Controllable Dissolution and Structural Control, *Carbohydr. Polym.*, **235**, 116027, 2020.
29. Häkkinen R., *Carbohydrates in Deep Eutectic Solvents*, Ph.D Dissertation, Institute of chemistry of Renewable Resources, Austria, 2020.
30. Isci A., Erdem G.M., Elmaci S.B., Sakiyan O., Lamp A., and Kaltschmitt M., Effect of Microwave-Assisted Deep Eutectic Solvent Pretreatment on Lignocellulosic Structure and Bioconversion of Wheat Straw, *Cellulose*, **27**, 8949-8962, 2020.
31. Shi Z., Liu Y., Xu H., Yang Q., Xiong C., Kuga S., and Matsumoto Y., Facile Dissolution of Wood Pulp in Aqueous NaOH/Urea Solution by Ball Milling Pretreatment, *Ind. Crops Prod.*, **118**, 48-52, 2018.
32. Li X., Ye J., Chen J., Yu J., Ding M., and Hong J., Dissolution of Wheat Straw with Aqueous NaOH/Urea Solution, *Fibers Polym.*, **16**, 2368-2374, 2015.
33. Wei Q.Y., Lin H., Yang B., Li L., Zhang L.Q., Huang H.D., et al., Structure and Properties of All-Cellulose Composites Prepared by Controlling the Dissolution Temperature of a NaOH/Urea Solvent, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **59**, 10428-10435, 2020.
34. Fathi Z., Hamzeh Y., and Abdolkhani A., Preparation of Lignocellulosic Film by Dissolving of Rice Straw in Alkaline Solution, *Packaging(Persian)*, **43**, 18-29, 2020.
35. Sirviö J.A. and Heiskanen J., Room-Temperature Dissolution and Chemical Modification of Cellulose in Aqueous Tetraethylammonium Hydroxide-Carbamide Solutions, *Cellulose*, **27**, 1933-1950, 2020.
36. Su Y., Yang B., Liu J., Sun B., Cao C., Zou X. et al., Prospects for Replacement of Some Plastics in Packaging with Lignocellulose Materials: A Brief Review, *BioResources*, **13**, 4550-4576, 2018.
37. Ghorbani M., Kianmehr M.H., Arabhosseini A., Sarlaki E., Asadi Alamouti A., and Sadeghi, R., Ozonolysis: A Novel and Effective Oxidation Technique for Lignocellulosic Biomass Pretreatment, In *Proceedings of 12th National Congress on Biosystems Engineering and Agricultural Mechanization*, 5-7 February, Iran, 2020.
38. Benko E.M. and Lunin V.V., Ozone Pretreatment and Bioconversion of Pine Wood to Monosaccharides, *Russ. J. Phys. Chem. A*, **94**, 226-230, 2020.
39. Rosen Y., Mamane H., and Gerchman Y., Short Ozonation of Lignocellulosic Waste as Energetically Favorable Pretreatment, *Bioenergy Res.*, **12**, 292-301, 2019.