

پوشش‌های خوراکی در بسته‌بندی

- حبیب‌الله میرزایی

استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
پست الکترونیکی: habibmirzaei@yahoo.ca

- زهره کرمی

تحصیلات: دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

پست الکترونیکی: Z-karami-gua@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: آبان ماه ۱۳۸۹

تاریخ پذیرش مقاله: آذرماه ۱۳۸۹

۱- مقدمه:

سالانه در جهان بیش از ۵ میلیارد تن زباله‌ی حاصل از مواد بسته‌بندی تولید می‌شود که ۳۰٪ از این زباله‌ها، مربوط به مواد پلاستیکی می‌باشد. تجزیه مواد پلاستیکی سنتزی حاصل از مشتقات نفتی فرایندی بسیار کند بوده و تجزیه‌ی کامل آن‌ها چندین سال به طول می‌انجامد و این امر باعث افزایش آلودگی‌های زیست محیطی می‌گردد؛ لذا طی سال‌های اخیر، یافتن جایگزینی مناسب برای پلاستیک‌های سنتزی به طوری که زیست تخریب‌پذیری بالایی داشته و آلودگی زیست محیطی کمتری بر جای بگذارد، توجه محققین را به خود جلب کرده است. بیوپلیمرهای خوراکی با زیست تخریب‌پذیری بالا که از منابع قابل تجدید کشاورزی حاصل می‌شوند، گزینه‌ای مناسب در این زمینه به شمار می‌روند. به طور کلی پلیمرهایی که پس از فرایند تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها کاملاً به محصولات طبیعی مانند آب، CO₂ و توده زیستی (باکتری‌ها یا قارچ‌ها) و یا آنزیم‌ها تبدیل می‌شوند، زیست تخریب‌پذیر نامیده می‌شوند.

چکیده:

امروزه به دلیل مخاطرات زیست محیطی ناشی از کاربرد پوشش‌های مصنوعی تجزیه ناپذیر و همچنین افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای غذاهایی که حداقل فرایند روی آنها انجام گرفته است، پژوهش‌های متنوعی در رابطه با کاربرد لفاف‌های خوراکی در پوشش دادن انواع مواد غذایی در حال انجام می‌باشد. در این مقاله جنبه‌های بنیادین و کاربردی لفاف‌های خوراکی در صنعت غذا به ترتیب تعاریف، کلیات، طبقه‌بندی‌ها، کاربردها و انواع ترکیبات مورد استفاده، مورد بررسی قرار می‌گیرد. [۱]

واژه‌های کلیدی:

لفاف خوراکی، پوشش، زیست تخریب‌پذیر.



فیلم‌ها و پوشش‌های بیوپلیمری ممکن است خوراکی بوده و یا تنها زیست تخریب پذیر باشند که این به فرمولاسیون، روش تولید و تیمارهای اصلاح‌کننده بستگی دارد. اگر بیوپلیمر از نوع خوراکی باشد و افزودنی‌های خوراکی (پلاستی سایزر، اسید، نمک‌ها، آنزیم‌ها و مواد ضد میکروبی) در ساختار فیلم و پوشش استفاده شود و تغییرات اعمال شده روی بیوپلیمر از طریق حرارت دادن، تغییر pH، افزودن نمک، اصلاح آنزیمی و حذف آب باشد، فیلم یا پوشش حاصله خوراکی خواهد بود.

سالهاسست که از پوشش‌های خوراکی برای نگهداری بهتر محصولات غذایی و افزایش جلداییّت ظاهری استفاده می‌شود. از قدیمی‌ترین مواد مورد استفاده می‌توان به موم زنبور عسل اشاره کرد. تحقیقات علمی در مورد فیلم‌های ژلاتینی از سال ۱۸۹۵ توسط ماریس و پارکر آغاز شد. از سال ۱۹۳۰، استفاده از موم‌های پارافینه مذاب برای پوشش دادن مرکبات، متداول شد. در اواخر دهه ۱۹۵۰، امولسیون‌های روغن در آب موم کارنوبا، جهت پوشش دادن میوه‌ها و سبزیجات مورد استفاده قرار گرفتند. چینی‌ها در قرن دوازدهم و سیزدهم میلادی مرکبات را با موم (واکس) پوشش می‌دادند تا از افت وزن و کاهش رطوبت آن‌ها جلوگیری شود. در قرن شانزدهم میلادی گوشت را با چربی پوشش می‌دادند تا از چروکیدگی آن جلوگیری شود. در همان زمان برای نگهداری گوشت و سایر مواد غذایی، آن‌ها را با فیلم‌های ژلاتینی پوشش می‌دادند. یوبا (۱) نوعی فیلم ترکیبی چربی و پروتئین خوراکی است که از قرن پانزدهم در شرق آسیا به طور سنتی از شیر سویا تهیه می‌شده است. [۴]

در قرن نوزدهم فندق و بادام را با ساکارز پوشش می‌دادند تا از اکسید شدن و تندی آنها جلوگیری شود. از دهه ۱۹۳۰ تاکنون، سطح میوه‌ها را با موم‌ها و امولسیون‌های روغن در آب پوشش می‌دهند. این پوشش‌ها ویژگی‌های ظاهری و رنگ میوه را بهبود می‌بخشند و باعث کنترل رسیدگی میوه، انتقال قارچ‌کش‌ها و کاهش افت آب میوه می‌شوند.

ویژگی فیلم‌های خوراکی شامل ممانعت نسبی از عبور رطوبت، گازها و مواد محلول و همچنین توانایی آن‌ها به عنوان حامل مواد عطر و طعم، مواد ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدان‌ها و رنگ‌ها سبب توجه محققین به آن‌ها به عنوان مواد بسته‌بندی جدید و جایگزین مناسب بسیاری از بسته‌بندی‌های پلاستیکی شده است.

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از منابع گوناگون طبیعی همچون پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و یا ترکیبی از این مواد قابل تهیه می‌باشند. با توجه به مزایای لفاف‌های خوراکی و نیز تلاش برای رفع نقایص موجود و بهینه‌سازی کارایی لفاف‌های خوراکی، تحقیقات متعددی در زمینه تهیه، کاربرد، ویژگی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی در حال انجام می‌باشد.

۲- مزایا و معایب لفاف‌های خوراکی:

لفاف‌های خوراکی به این دلیل که از کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و لیپیدها تشکیل می‌شوند، از ارزش تغذیه‌ای برخوردارند و برخلاف لفاف‌های سنتزی به دلیل زیست تخریب پذیر بودن باعث آلودگی محیط زیست نمی‌شوند. این پوشش‌ها با ممانعت از ورود رطوبت، گازها، بو و همچنین حفظ کیفیت غذا بعد از باز شدن اولین لایه بسته‌بندی آن، باعث بهبود ویژگی‌های کیفی ماده غذایی، بهبود ویژگی‌های ظاهری، حفظ رنگ، طعم آن‌ها و به تأخیر افتادن فساد میکروبی در سطح مواد غذایی می‌شوند.

پوشش‌های خوراکی میزان جذب آب نمک، محلول اسمزی و روغن سرخ کردنی را به درون ماده غذایی کاهش می‌دهند، ویژگی‌های مکانیکی را بهبود می‌بخشند و منجر به تسهیل در جابه‌جایی و نگهداری، استحکام ساختمان مواد غذایی، کاهش فساد و افزایش ماندگاری آن می‌شوند. این پوشش‌ها از به هم چسبیدن محصولات نظیر میوه‌های خشک، آب نبات و محصولات نانوائی جلوگیری می‌کنند. [۳]

همچنین برای ریزپوشانی (۲) ترکیبات فرار استفاده می‌شوند. پوشش‌های خوراکی، لایه محافظی برای میوه‌ها

و محصولات تازه فراهم می‌کنند. این پوشش‌ها همانند بسته‌بندی‌های با اتمسفر اصلاح شده عمل می‌کنند، ترکیب گازهای داخلی را تغییر می‌دهند و با کاهش شدت تنفس، باعث افزایش ماندگاری میوه‌ها می‌شوند. لفاف‌های خوراکی از طریق جلوگیری از رسیدن اکسیژن به بافت و نیز کاهش صدمات بافتی، مانع قهوه‌ای شدن بافت مواد غذایی، اکسایش لیپیدها و تندتر شدن آن‌ها می‌شود.

در کنار همه این مزایا، لفاف‌های خوراکی از نقطه ضعف‌هایی نیز برخوردارند. مهم‌ترین آن‌ها استحکام کمتر و خواص مکانیکی ضعیف‌تر در مقایسه با لفاف‌های پلاستیکی سنتزی است. همچنین همه‌ی فیلم‌های بیوپلیمری کربوهیدراتی و پروتئینی یک مشکل مشترک دارند و آن بازدارندگی نسبتاً ضعیف آن‌ها در مقابل بخار آب است.

قابلیت بازدارندگی فیلم در برابر بخار آب، عبارت است از توانایی فیلم در کاهش تبادل رطوبت محصول بسته‌بندی شده یا پوشش داده شده با اتمسفر خارجی. بیشتر فیلم‌های بیوپلیمری به علت ماهیت قطبی اکثر واحدهای تشکیل دهنده‌ی آن‌ها، ماهیت آبدوستی داشته و نفوذپذیری بالایی نسبت به بخار آب دارند و همین امر کاربرد آن‌ها را به عنوان ماده‌ی بسته‌بندی محدود می‌سازد. همچنین لفاف‌های طبیعی به ویژه در مقدار رطوبت کم، شکننده‌اند. از همین رو افزودن ریخت‌سازها (۳) پیش از خشک کردن محلول‌های لفاف‌ساز (۴)، ضروری است.

به علاوه در بسیاری موارد لازم است علاوه بر خواص مکانیکی، خواص ممانعتی (۵) آن‌ها نیز اصلاح شود. افزون بر ضعف در خواص مکانیکی و ممانعتی، هزینه تولید آنها نیز به طور نسبی بالاست. البته باید توجه داشت که نقایص یاد شده قابل اصلاح هستند و به همین دلیل پژوهش‌های بسیار متنوعی در این ارتباط به انجام رسیده یا در دست انجام است. [۲]

۳- طبقه‌بندی لفاف‌های خوراکی:

لفاف‌های خوراکی را می‌توان از سه دیدگاه طبقه‌بندی نمود:

۳-۱- تعداد اجزاء سازنده لفاف:

از این دیدگاه، لفاف‌ها را می‌توان به انواع تک ترکیب یا تک لایه (۶) و چند ترکیب (۷) یا مرکب (۸) طبقه‌بندی کرد. لفاف‌های تک ترکیب فقط از یک ترکیب پلیمری و لفاف‌های چند ترکیب دست کم از دو ترکیب پلیمری ساخته شده‌اند. لفاف‌های چند ترکیب بسته به نحوه توزیع و آرایش اجزا نسبت به یکدیگر به دو دسته لفاف‌های مرکب لایه‌ای (۹) و مخلوط (۱۰) قابل تقسیم هستند.

انواع نخست، دو یا چند لایه مجزا را که بر روی یکدیگر متصل شده‌اند، در بر می‌گیرد که معمولاً لایه لیپیدی به عنوان لایه فرعی بر روی لایه پایه پروتئینی یا پلی‌ساکاریدی قرار می‌گیرد. حال آنکه انواع دوم شامل لایه‌ای است که مخلوط همگنی از ترکیبات سازنده است که معمولاً در این حالت مواد لیپیدی در ماتریکس پروتئینی یا پلی‌ساکاریدی پخش می‌شوند که به این فیلم‌ها، فیلم‌های امولسیون گفته می‌شود.

۳-۲- دیدگاه روش تولید:

از این دیدگاه، لفاف‌ها را می‌توان به سه دسته لفاف‌های لایه‌ای (۱۱) لفاف‌های امولسیون و لفاف‌های قالب‌ریزی شده (۱۲) تقسیم کرد. لفاف‌های لایه‌ای گرچه خواص ممانعتی بهتر و عمل‌گزینشی تری نسبت به لفاف‌های امولسیون به دست می‌دهند؛ اما به سبب روش دشوارتر تولید کمتر در صنایع غذایی عمومیت یافته‌اند.

۳-۳- ترکیب یا ترکیبات اصلی سازنده‌ی لفاف:

لفاف‌ها ممکن است پلیمرهای با پایه پلی‌ساکاریدی، پروتئینی، لیپیدی یا مخلوطی از آن‌ها باشند. بر این اساس می‌توان آن‌ها را به لفاف‌های با پایه‌ی

پلی ساکارید، پروتئین و لیپید یا ترکیبی از آن‌ها طبقه‌بندی کرد.

۴- آماده‌سازی فیلم‌های خوراکی:

برای تولید فیلم‌های خوراکی، معمولاً بیوپلیمر را در یک حلال با یک ماده نرم‌کننده (پلاستی‌سایزر) مخلوط می‌کنند. نرم‌کننده‌ها معمولاً ترکیبات آلی با وزن مولکولی پایین و غیر فرار هستند. گاهی از آب نیز به عنوان یک نرم‌کننده استفاده می‌کنند. سیستم حلالی که برای تشکیل فیلم استفاده می‌شود در تعیین خصوصیات فیلم نهایی تأثیرگذار می‌باشد و برای پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی معمولاً از حلال‌های آب، اتانول یا ترکیب این دو استفاده می‌شود.

همچنین شرایط محیطی در طول تشکیل فیلم می‌تواند به طور برجسته‌ای بر روی خصوصیات فیلم نهایی تأثیرگذار باشد. به طور معمول، دو فیلم از فیلم‌های مرکب بر طبق روش آماده‌سازی آن‌ها به دو نوع لایه‌ای یا امولسیون معروف هستند. اولی، فیلم لایه‌ای نام دارد به طوری که لایه لیپید هیدروفوبیک روی فیلم هیدروفیلک قرار می‌گیرد. دیگری، فیلم امولسیونی است به طوری که مواد لیپیدی به طور یکنواخت در سراسر فیلم هیدروفیلک پخش می‌شوند. [۷]

در فیلم‌های لایه‌ای به علت مجزا بودن ماتریکس محافظ و لیپید، هنگام قرارگیری لیپید بر روی لایه با پایه پروتئین یا پلی‌ساکارید، دمای فیلم و لیپید به آسانی و به طور جداگانه قابل کنترل می‌باشد. در هنگام تولید فیلم‌های امولسیون، دمای امولسیون بایستی بالاتر از دمای ذوب لیپید باشد در غیر این صورت سبب ژلاتینی شدن و تبخیر حلال می‌شود. در آماده‌سازی فیلم‌های امولسیون تنها به یک مرحله قالب‌ریزی و یک مرحله خشک کردن نیاز دارند؛ اما فیلم‌های نهایی هنوز نسبتاً خصوصیات ممانعتی ضعیفی را در برابر بخار آب دارا هستند به طوری که مولکول‌های آب از طریق فاز غیر لیپیدی به نفوذ ادامه می‌دهند اما خصوصیات مکانیکی بالاتری را دارا هستند. به طور کلی به دلیل آماده‌سازی آسان‌تر فیلم‌های

امولسیون، این نوع فیلم‌ها، محبوبیت بیشتری در صنعت غذا دارند. [۵]

جهت استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی باید آگاهی کاملی نسبت به خصوصیات مکانیکی و خصوصیات ممانعتی لفاف وجود داشته باشد. این خصوصیات به شدت وابسته به ترکیب فیلم، نحوه تشکیل آن و روش کاربرد آن در محصولات غذایی می‌باشد.

۵- مهم‌ترین ترکیبات مورد استفاده در لفاف‌های خوراکی:

در این بخش به مهم‌ترین لفاف‌های پژوهش شده در صنعت غذا از دیدگاه ترکیبات سازنده اشاره شده است. ترکیبات سازنده لفاف‌ها را می‌توان به سه دسته هیدروکلوئیدها (شامل پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها)، لیپیدها (شامل اسیدهای چرب، گلیسیریدها و موم‌ها) و سایر ترکیبات افزوده شده تقسیم کرد.

۵-۱- لفاف‌ها با پایه پلی‌ساکارید:

این نوع فیلم‌ها هم در نحوه تولید و هم در خواص کاربردی با فیلم‌ها و پوشش‌های پروتئینی تفاوت دارند. اما مانند فیلم‌های پروتئینی، ساختار و ماهیت شیمیایی بیوپلیمر، نقشی اساسی در انتخاب نوع حلال و شرایط تهیه فیلم دارد. همچنین این مواد می‌توانند به عنوان نرم‌کننده نیز مورد استفاده قرار گرفته و باعث افزایش انعطاف‌پذیری فیلم شوند (از طریق قرار گرفتن در بین زنجیرهای بیوپلیمر). افزودن لیپیدها به لفاف‌های با پایه پلی‌ساکاریدی به منظور کاهش (۱۳) نفوذ پذیری به بخار آب) آن‌ها ضروری است. این موضوع هر چند از نقطه نظر یاد شده، بهبود دهنده است؛ اما سبب کاهش خواص مکانیکی لفاف می‌شود. به طور کلی، لفاف‌های پلی‌ساکاریدی به دلیل خاصیت آبدوستی، از ممانعت مطلوبی نسبت به رطوبت و بخار آب برخوردار نیستند. در زیر، به مهم‌ترین انواع این لفاف‌ها اشاره شده است:

۲-۵- سلولز و مشتقات آن:

از مهم‌ترین پلی‌ساکاریدهایی که در تولید فیلم‌های خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مشتقات سلولز می‌باشد. سلولز فراوان‌ترین پلیمر طبیعی موجود در طبیعت است که یک پلیمر خطی آن هیدرو گلوکز با اتصالات (۴-۱) β می‌باشد. لفاف‌های با پایه سلولزی در پوشش دادن دانه‌های تازه و توت‌فرنگی با موفقیت به کار رفته‌اند. لفاف متیل سلولز / اسید پالمیتیک در پوشش‌دهی نان بستنی‌های قیفی (۱۴) به کار رفته است. یکی از مشتقات مهم سلولز، کربوکسی متیل سلولز (CMC) (۱۵) است که از طریق واکنش سلولز با هیدروکسید سدیم و اسید کلرواستیک تولید می‌شود. سلولز به علت ساختار شیمیایی خاص خود، بسیار کریستالی و نامحلول است؛ اما کربوکسی متیل سلولز، محلول در آب بوده و به تنهایی فیلم‌های انعطاف‌پذیر و مستحکمی را تشکیل می‌دهد. همچنین کربوکسی متیل سلولز یکی از ارزان‌ترین زیست‌پلیمرهایی است که به صورت صنعتی تولید می‌شود. همان‌طور که گفته شد همه‌ی فیلم‌های زیست‌پلیمری یک مشکل مشترک دارند و آن بازدارندگی نسبتاً ضعیف آن‌ها در مقابل بخار آب است. ۱۹۸۴ فیلم CMC نیز از این اصل مستثنی نمی‌باشد و بدلیل خاصیت آبدوستی شدید، مقاومت کمی در مقابل نفوذ بخار آب دارد. انتقال بخار آب از فیلم‌های خوراکی مورد مطالعه‌ی گسترده‌ای قرار گرفته است. یکی از موثرترین روش‌ها، ترکیب کردن مواد لیپیدی با زیست‌پلیمرهاست. چربی‌ها به دلیل داشتن ماهیت آبگریز می‌توانند بازدارندگی فیلم در مقابل بخار آب را افزایش دهند. با افزایش اسید چرب اولئیک در فیلم CMC انتقال بخار آب کاهش می‌یابد؛ اما توانایی محدود کردن نفوذپذیری به بخار آب توسط اسید اولئیک کاملاً اندک است زیرا با افزایش اسید اولئیک، اثر نرم‌کنندگی آن نمود بیشتری پیدا می‌کند و باعث افزایش تحرک زنجیرهای ماکرومولکول می‌شود و در نتیجه هر چند که خاصیت آب‌گریزی فیلم بیشتر می‌شود؛ اما به دلیل افزایش فضای

آزاد زیاد بین زنجیرها، کارایی آن در کاهش نفوذپذیری به بخار آب کمتر خواهد شد. همچنین این نتیجه در مورد فیلم‌های مرکب حاصل از سایر زیست‌پلیمرها نظیر متیل سلولز- پالمیتیک اسید، کیتوزان - اسید اولئیک و پروتئین کازئینات سدیم- اسید اولئیک گزارش شده است. با افزودن مواد لیپیدی به فیلم‌های خوراکی، بازدارندگی آن‌ها در مقابل بخار آب تا حد زیادی بهبود می‌یابد؛ اما باید به این نکته توجه داشت که افزودن ترکیبات لیپیدی می‌تواند خواص ظاهری فیلم را نیز تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین در تولید فیلم مرکب، علاوه بر تأثیر چربی در بهبود خواص بازدارندگی فیلم، بایستی تأثیر آن بر روی خواص سطحی و ظاهری فیلم نیز مورد بررسی قرار گیرد. [۴]

۳-۵- نشاسته و مشتقات آن:

نشاسته از جمله پلی‌ساکاریدهایی است که به فراوانی و با هزینه‌ی کم، قابل تولید است. نشاسته به علت داشتن ماهیت پلیمری، قابلیت فیلم‌سازی خوبی دارد ولی به دلیل دارا بودن برخی معایب نمی‌تواند به تنهایی فیلم مطلوبی تولید کند. خاصیت آبدوستی شدید نشاسته و مقاومت ضعیف فیلم در برابر رطوبت و همچنین خواص مکانیکی ضعیف آن در مقایسه با پلیمرهای سنتزی، مهمترین معایب فیلم نشاسته می‌باشند که باعث محدود شدن استفاده از این بیوپلیمر در زمینه‌های مختلف می‌شود. راهکارهای مختلفی برای غلبه بر این محدودیت‌ها پیشنهاد گردیده‌اند. یکی از این روش‌ها، اصلاح شیمیایی پلیمر نشاسته است. اصلاح شیمیایی نشاسته نظیر ایجاد اتصالات عرضی، یکی از روش‌هایی است که برای بهبود خواص کاربردی فیلم نشاسته، بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است. از جمله ترکیباتی که به عنوان اتصال‌دهنده‌ی عرضی در نشاسته مورد استفاده قرار گرفته‌اند می‌توان به گلو تارآلدئید، اسید بوریک و اپی کلریدین اشاره کرد؛ اما با این حال، استفاده از چنین اتصال‌دهنده‌های عرضی به دلیل سمی بودن یا پرهزینه بودن آن‌ها با محدودیت مواجه است. بنابراین استفاده از ترکیباتی که سمی نبوده و

در عین حال روش استفاده از آن‌ها ساده باشد و همچنین قادر به بهبود خواص کاربردی فیلم نشاسته باشند، توجه محققین را به خود جلب کرده است. در این میان اسید سیتریک گزینه مناسبی برای این منظور به حساب می‌آید. اسید سیتریک، اسید آلی عمده در مرکبات و آناناس بوده و دارای یک گروه هیدروکسیل و سه گروه کربوکسیل می‌باشد. اسید سیتریک به دلایل مختلفی جهت استفاده به عنوان یک افزودنی در تولید فیلم نشاسته، مناسب به شمار می‌رود. به دلیل وجود ساختار چند کربوکسیلی در اسید سیتریک، احتمال استریفیکاسیون بین گروه‌های کربوکسیل اسید سیتریک و گروه‌های هیدروکسیل نشاسته بالا خواهد بود در نتیجه تعداد گروه‌های OH در دسترس نشاسته، برای تشکیل پیوند با آب کاهش می‌یابد. بنابراین چنین استریفیکاسیونی در سطح گسترده، می‌تواند مقاومت فیلم نشاسته در برابر آب را افزایش دهد. همچنین اسید سیتریک قادر است به عنوان یک اتصال دهنده‌ی عرضی عمل کند. در اثر حرارت دادن، گروه‌های کربوکسیل اسید سیتریک می‌توانند با گروه‌های هیدروکسیل در دو مولکول نشاسته‌ی مجاور، اتصالات عرضی برقرار کنند. بنابراین برقراری پیوندهای کووالانسی (علاوه بر پیوندهای هیدروژنی) در بین زنجیرهای ماکرومولکول نشاسته می‌تواند به بهبود خواص مکانیکی و همچنین کاهش حساسیت نسبت به آب در فیلم نشاسته‌ای کمک کند. اسید سیتریک در فیلم نشاسته هم نقش اتصال‌دهنده عرضی و هم اثر پلاستی‌سایزری دارد و نوع نقش اسید سیتریک به میزان استفاده از آن بستگی دارد. اسید سیتریک در غلظت کمتر از ۱۰ درصد نقش اتصال‌دهنده عرضی دارد؛ اما زمانی که اسید سیتریک از این میزان بیشتر می‌شود اسید سیتریک مازاد نقش پلاستی‌سایزری از خود نشان می‌دهد، نتیجه این پدیده کاهش استحکام کشش نهایی (UTS) (۱۶) و افزایش کرنش تا نقطه شکست (SB) (۱۷) است. از طرف دیگر اسید سیتریک محصول متابولیک طبیعی (در طی چرخه‌ی کربس) و غیر سمی در بدن بوده و مصرف آن توسط FDA (۱۸) برای

انسان کاملاً بی‌ضرر شناخته شده است. ویژگی غیر سمی بودن می‌تواند باعث افزایش توجه به استفاده از این نوع فیلم‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی و دارویی شود. یک روش دیگر برای بهبود خواص فیلم نشاسته، اختلاط آن با سایر پلیمرهاست. با این وجود بسیاری از پلیمرهای سنتزی ماهیت آبگریز داشته و در نتیجه از نظر ترمودینامیکی غیر قابل اختلاط با نشاسته‌ی آبدوست می‌باشند. در نتیجه، فیلم‌های حاصل، به دلیل عدم اختلاط مناسب بین دو فاز، خواص مکانیکی ضعیفی خواهند داشت. به همان دلیل، در سال‌های اخیر استفاده از سایر بیوپلیمرها یا فیلم‌های زیست تخریب پذیر در ترکیب با نشاسته، مورد توجه قرار گرفته است و به فیلم‌های حاصل، فیلم‌های بیوکامپوزیت اطلاق می‌شود. بیوکامپوزیت‌ها (فیلم‌های مرکب زیست تخریب پذیر) دسته‌ای از فیلم‌های بیوپلیمری هستند که شامل دو جزء عمده می‌باشند: - پلیمر زیست تخریب پذیر که به عنوان ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی شبکه، ایفای نقش می‌کند. - پرکننده‌های یک شبکه‌ی پلیمر، که این ترکیبات نیز بایستی خاصیت زیست تخریب پذیری داشته باشند. از ترکیبات پلیمری مختلفی می‌توان به عنوان پرکننده زیست تخریب پذیر در تولید فیلم نشاسته استفاده کرد.

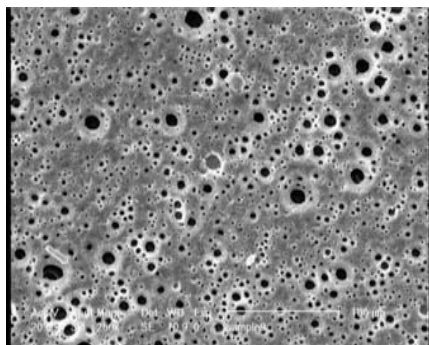
مشتقات سلولزی از جمله موادی هستند که به طور گسترده به عنوان فیلر زیست تخریب پذیر مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مشتقات مهم سلولز، کربوکسی متیل سلولز (CMC) است که محلول در آب بوده و به تنهایی قادر است فیلم‌های انعطاف پذیر و مستحکمی را تشکیل دهد. طبق یافته‌های پژوهشگران افزودن مقادیر کمی CMC (حداکثر ۱۰٪) به ترکیب فیلم نشاسته می‌تواند بهبود قابل توجهی در ویژگی‌های بازدارندگی و مکانیکی فیلم نشاسته ایجاد کند. افزایش CMC در فیلم نشاسته اصلاح شده با ۱۰ درصد اسید سیتریک مقاومت فیلم را در برابر رطوبت افزایش می‌دهد، البته افزودن CMC تا یک حد معین قادر است ویژگی بازدارندگی در برابر رطوبت را بهبود بخشد و غلظت‌های بالاتر از آن اثر

معکوس خواهد داشت زیرا CMC خود ماده‌ای آبدوست به حساب می‌آید، هر چند که آبدوستی آن کمتر از نشاسته است. همچنین با افزایش CMC استحکام کشش نهایی فیلم نشاسته افزایش می‌یابد، بدون این که کاهش در کرنش تا نقطه شکست فیلم به وجود آید و در واقع این امر می‌تواند یک روش خوب برای بهبود انعطاف‌پذیری فیلم نشاسته به حساب آید، بدون این که تأثیر منفی بر روی استحکام کشش نهایی آن داشته باشد. [۶]

۵-۴- کیتوزان:

رشد میکروبی روی سطح مواد غذایی عامل اصلی ایجاد فساد در آن‌ها بوده که می‌توان با استفاده از فیلم‌های خوراکی حاوی مواد ضد میکروبی آن را کنترل نمود. کیتوزان یک نوع چندقندی است که از واحدهای گلوکز آمین و ان- استیل گلوکز آمین تشکیل شده است. کیتوزان از استیل زدایی کیتین- یکی از فراوان‌ترین پلیمرهای طبیعی به دست می‌آید. ثابت شده است که کیتوزان یک ماده غیر سمی، تجزیه‌پذیر (۱۹) و زیست سازگار و نیز دارای خواص ضد میکروبی می‌باشد. اثر ضد میکروبی کیتوزان ناشی از گروه‌های آمینی با بار مثبت است. این گروه‌ها با غشاء سلولی میکروارگانیسم‌ها که دارای بار منفی است واکنش می‌دهند. این واکنش منجر به نشت اجزاء پروتئینی و سایر اجزاء درون سلولی میکروارگانیسم‌ها می‌شود. لفاف‌های کیتوزان در صنایع غذایی و داروسازی، کاربرد دارند. ایراد آن‌ها این است وقتی به تنهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، خواص مکانیکی آن‌ها ضعیف است؛ از این رو معمولاً با سایر زیست- پلیمرهای آبدوست به کار برده می‌شوند. از مزایای کیتوزان ممانعت خوب آن نسبت به اکسیژن است و از این رو، کاربرد آن در صنایع غذایی رو به رشد است با این وجود، این لفاف‌ها به بخار آب به طور نسبی نفوذ پذیر هستند. کیتوزان به دلیل دارا بودن خواص نیمه تراوایی (۲۰)، در لفاف‌های بسته‌بندی مواد غذایی که در آن‌ها به اصلاح اتمسفر درونی (۲۱) نیاز است، کاربرد یافته است. افزودن مستقیم مواد ضد میکروبی به درون ماده

غذایی ممکن است بر روی خواص حسی آن تأثیر نامطلوبی داشته باشد بنابراین افزودن ماده ضد میکروبی به درون مواد بسته‌بندی چنین اثراتی را کاهش می‌دهد. ماده بسته‌بندی آزادسازی این ترکیبات را روی سطح ماده غذایی کنترل می‌کند و سبب می‌شود که غلظت این ترکیبات همواره بالاتر از حد بحرانی مورد نیاز برای جلوگیری از رشد باکتری‌های مضر باشند. به این منظور فیلم‌های خوراکی تهیه شده از کیتوزان محتوی اسانس‌های آویشن و میخک را مورد بررسی قرار دادند و معلوم شد این نوع فیلم‌ها می‌توانند از رشد باکتری بیماری‌زا جلوگیری کنند و می‌توان از چنین بسته‌بندی‌هایی برای افزایش عمر نگهداری مواد غذایی سود برد. با افزودن ترکیبات ضد میکروبی (اسانس آویشن و میخک) به فیلم‌های خوراکی بر پایه کیتوزان میزان رطوبت موجود در آن‌ها کاهش پیدا می‌کند که علت کاهش رطوبت را می‌توان به اثر دفع‌کننده ترکیبات غیر قطبی موجود در اسانس‌ها بر مولکول‌های آب دانست. همچنین ترکیبات موجود در اسانس‌ها سبب ایجاد تغییراتی در سطح ساختار مولکولی شده و فشردگی ساختار سطحی کاهش پیدا می‌کند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح فیلم‌ها در شکل تأییدکننده این گونه تغییرات سطحی می‌باشند به طوری که میزان نفوذپذیری فیلم‌های حاوی اسانس میخک در برابر بخار آب بیش از فیلم‌های حاوی اسانس آویشن می‌باشد. [۸]



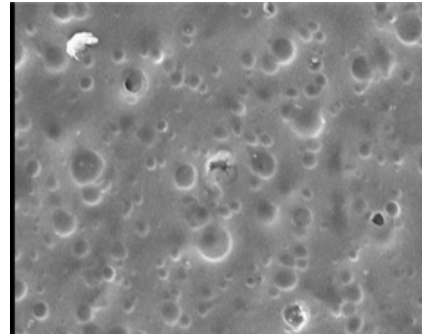
شکل ۱- فیلم حاوی ۱ درصد اسانس میخک

آمینه با زنجیره‌های جانبی مختلف تشکیل شده‌اند. بر خلاف کربوهیدرات‌هایی مانند نشاسته، پروتئین‌ها هتروپلیمر هستند. ساختار ویژه آن‌ها توسط پیوندهایی که از نظر نوع، موقعیت و انرژی متفاوت هستند، پایدار می‌گردد. پروتئین‌ها از لحاظ شکل ظاهری به دو گروه رشته‌ای و کروی تقسیم می‌شوند. پروتئین‌های رشته‌ای بیشتر در بافت حیوانی وجود دارند در آب، نامحلول یا کم محلول هستند و نسبت به دناتوراسیون حرارتی و هیدرولیز شیمیایی و آنزیمی نسبتاً مقاوم می‌باشند. پروتئین‌های کروی بیشتر در بافت گیاهی وجود دارند، در آب یا محلول‌های آبی، اسیدها، بازها و نمک‌ها محلول هستند و نسبت به دناتوراسیون حرارتی، شیمیایی و آنزیمی حساس می‌باشند. پروتئین‌های رشته‌ای به دلیل بیشتر بودن نسبت طول به قطر و گسترده بودن، قابلیت فیلم شدن بالایی دارند. پروتئین‌های کروی برای تشکیل فیلم باید ابتدا توسط حرارت، اسید، باز یا حلال دناتوره شوند تا ساختارشان باز و گسترده گردد. سپس توسط پیوندهای هیدروژنی، یونی، آبگریز و کووالانسی (دی سولفیدی)، زنجیرها به هم وصل شده و فیلم پیوسته‌ای تشکیل می‌شود. هرچقدر زنجیر گسترده‌تر و توزیع گروه‌های قطبی، آبگریز و تیول در طول زنجیرهای بیوپلیمر یکنواخت‌تر باشد، برهم کنش‌های زنجیر به زنجیر بیشتر بوده و فیلم، قوی و با انعطاف‌پذیری کمتر و نفوذپذیری پایین‌تر به وجود می‌آید. [۱۱]

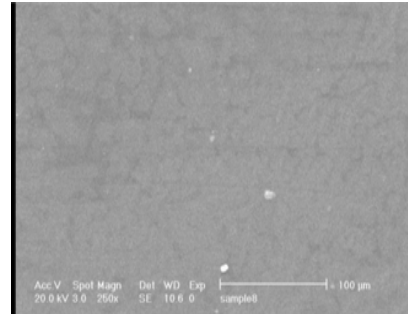
در مجموع تشکیل یک شبکه ماکرومولکولی پروتئین مانند فیلم، شامل سه مرحله ذیل است: [۱۴]

- ۱- شکستن پیوندهای بین مولکولی کم انرژی که پلیمر را در حالت طبیعی پایدار می‌کنند؛
- ۲- آرایش و جهت‌گیری زنجیرهای پلیمر (شکل‌دهی)؛
- ۳- تشکیل شبکه سه بعدی پایدار شده توسط برهم کنش‌ها و پیوندهای جدید بعد از حذف عامل شکننده پیوندهای بین مولکولی.

فیلم‌های خوراکی با پایه پروتئینی به واسطه داشتن خواص تغذیه و بهتر بودن ویژگی‌های مکانیکی و



شکل ۲- فیلم حاوی ۱ درصد اسانس آویشن



شکل ۳- فیلم کنترل فاقد اسانس

به طور کلی افزودن ترکیبات ضد میکروبی به پلیمرهای مختلف به علت ایجاد تغییرات در سطح مولکولی سبب تغییر خواص مکانیکی فیلم‌های تولید شده از این پلیمرها می‌شود این تغییرات به علت تخریب ماتریکس فیلم در اغلب موارد، در جهت کاهش مقاومت فیلم‌ها در برابر کشش می‌باشد. البته افزودن ترکیبات ضد میکروبی تغییرات زیادی نیز در خواص فیزیکی فیلم‌ها به ویژه نفوذپذیری در برابر بخار آب ایجاد می‌کند. برای حل این مشکلات می‌توان از ترکیبات غیرقطبی مثل لیسپدها استفاده نمود. برای کاهش تأثیر افزودن ترکیبات ضد میکروبی نیز می‌توان، از مخلوط پلیمرهای مختلف استفاده نمود و فیلم‌های ترکیبی تولید کرد. [۱۰]

از دیگر پلی‌ساکاریدهایی که در ساخت لفاف‌های خوراکی به کار برده شده‌اند، می‌توان به پکتین با درجه متوکسیله شدن بالا، سلولز ریز- متبلور شده (MCC) (۲۲)، صمغ‌های عربی، زانتان، ژلان، لوبیای خرنوب (۲۳)، کاراگینان و آگار اشاره داشت. [۹]

۵-۵- لفاف‌ها با پایه پروتئین:

واحدهای تشکیل‌دهنده پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه هستند. پروتئین‌های مواد غذایی حداقل از بیست اسید

ممانعت کنندگی در برابر نفوذ گازها در مقایسه با فیلم‌های لیپیدی و پلی‌ساکاریدی همواره مورد توجه ویژه‌ای قرار داشته‌اند. در کل لفاف‌های پروتئینی در رطوبت نسبی پایین و متوسط از خواص ممانعتی خوبی به لیپیدها، اکسیژن و مواد بودار برخوردارند؛ اما به دلیل خاصیت آبدوستی، مانع خوبی در برابر رطوبت و بخار آب نیستند از بهترین راه‌های اصلاح این نقص، افزودن لیپیدها به ساختار لفاف پروتئینی است. راه دیگر ایجاد اتصالات عرضی از طریق فرایندهای شیمیایی، فیزیکی یا آنزیمی است. تاکنون منابع پروتئینی گیاهی و حیوانی گوناگونی برای تهیه فیلم‌های خوراکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که به علت گران قیمت بودن پروتئین‌های حیوانی، انواع گیاهی آن از جمله پروتئین آب پنیر، زئین ذرت، گلوتن گندم و ایزوله پروتئین سویا بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین ویژگی‌های برخی از بیوپلمرهای پروتئینی تحت تأثیر pH حلال قرار می‌گیرد. برای مثال پروتئین‌های سویا که حاوی اسیدهای آمینه یونیزه بالا هستند، شدیداً تحت تأثیر pH قرار می‌گیرند و در pH پایین به سختی فیلم تشکیل می‌دهند ولی پروتئین‌های زئین و کراتین که حاوی اسید آمینه‌های یونیزه پائینی می‌باشند کمتر تحت تأثیر pH حلال قرار می‌گیرند و در گستره وسیعی از pH، فیلم تشکیل می‌دهند. در زیر به مهم‌ترین انواع لفاف‌های پروتئینی اشاره شده است: [۱۳]

۵-۵-۱- پروتئین سویا:

پروتئین سویا در مقایسه با سایر پروتئین‌های گیاهی ارزش تغذیه‌ای بالایی دارد و نسبتاً ارزان است. به علت قابلیت بالای ایجاد پوشش، فرآورده‌های پروتئینی حاصل از آرد سویای روغنکشی شده، از جمله ایزوله سویا و کنسانتره سویا را می‌توان برای فیلم‌های پوششی به کار برد. این پروتئین پوششی با بافت یکنواخت، شفاف و انعطاف پذیر ایجاد می‌کند که نسبت به نفوذ اکسیژن و چربی بسیار مقاوم است. ولی به دلیل خواص آبدوستی پروتئین سویا، فیلم تهیه شده از آن، مقاومت کمی در برابر

رطوبت دارد. تراوایی به بخار آب فیلم‌های سویا همانند فیلم‌های تهیه شده از کازئین، ژلاتین، کلاژن و پروتئین آب پنیر زیاد است در حالی که فیلم‌های تهیه شده از زئین و گلوتن مقاومت نسبتاً خوبی در برابر نفوذ رطوبت دارند. همچنین فیلم‌های تهیه شده از ایزوله پروتئین سویا ویژگی‌های مکانیکی نسبتاً خوبی دارد و از این نظر مشابه فیلم‌های تهیه شده از زئین، گلوتن و پروتئین آب پنیر است و نسبت به سایر منابع پروتئینی نظیر کلاژن و کازئین برتری دارد. [۱۲]

با توجه به خواص آبدوستی پروتئین سویا و بالا بودن خاصیت جذب آب از آن برای تولید بسته‌های محلول در آب و همچنین کاهش مهاجرت رطوبت در خشکبار به ویژه کشمش استفاده می‌شود. همچنین پوشش پروتئین سویا در محصولات سرخ شده باعث کاهش جذب روغن می‌شود و از تبادل رطوبت جلوگیری می‌کند. فیلم تهیه شده از ایزوله پروتئینی سویا بسیار شکننده است؛ اما با افزودن پلاستیسایزرها قبل از مرحله خشک شدن، فیلم حاصل انعطاف‌پذیر شده و از شکنندگی آن جلوگیری می‌شود. از آنجا که ساختمان مولکولی پروتئین سویا قطبی و آبدوست است، ترکیبات هیدروکسیلی نظیر گلیسرول برای بهبود ویژگی‌های فیلم پروتئینی سویا بسیار مناسب هستند. اثر پلاستیسایزرهای گلیسرول و سوربیتول بر ویژگی‌های مکانیکی و جذب آب فیلم پروتئینی سویا بررسی شده است. با افزودن گلیسرول، گروه‌های هیدروکسیل آبدوست در سطح فعال فیلم افزایش می‌یابند که در نتیجه آن نقاط فعال برای جذب رطوبت نیز افزایش می‌یابد [۱۵]

در تحقیق دیگری گزارش شده که پلاستیسایزر ترکیبی گلیسرول و سوربیتول به نسبت ۵۰ به ۵۰ اثر بسیار مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی فیلم پروتئین سویا دارد. گلیسرول بیش از سایر پلاستیسایزرها برای تهیه فیلم ایزوله پروتئین سویا استفاده می‌شود، زیرا مولکولی کوچک و آبدوست است که با ساختار پروتئین سویا بسیار سازگار است. با افزایش غلظت گلیسرول در فیلم

ایزوله پروتئنی سویا، وزن فیلم‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند. حضور گلیسرول در فیلم ایزوله پروتئین سویا کدورت فیلم‌ها را کاهش و درصد مواد محلول را افزایش می‌دهد. تعیین درصد مواد محلول فیلم‌ها در پوشش‌های خوراکی از اهمیت خاصی برخوردار است. فیلم‌هایی که برای مصرف خوراکی همراه با غذا کاربرد دارند، باید حلالیت بالایی داشته باشند. [۱۸]

۵-۵-۲- پروتئین باقلا:

باقلا با نام علمی (۲۴) یکی از زراعت‌های مهم در چین و کشورهای اطراف مدیترانه (ایتالیا، اسپانیا و مراکش)، مصر، سودان و اتیوپی می‌باشد. این گیاه منبع غنی از اسید آمینه لیزین و پروتئین با کیفیت بالا می‌باشد و بسته به رقم آن ممکن است تا ۳۵٪ (وزن خشک) پروتئین را داشته باشد. به جز مقدار تریپتوفان، متیونین و سیستین، پروتئین این گیاه قابل رقابت با سویا بوده و می‌تواند به عنوان جایگزین مناسبی برای کنجاله گران قیمت سویا قرار بگیرد. این دانه همچنین دارای مقدار چربی و مواد ضد تغذیه‌ای کمتری در مقایسه با سویا می‌باشد. و در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر در مقادیر بالایی کشت می‌گردد. افزایش pH و غلظت پلاستیسایزر در فیلم خوراکی پروتئین باقلا سبب افزایش کشش‌پذیری فیلم‌ها می‌شود که دلیل آن را می‌توان به افزایش درهم‌کنش‌های پروتئین-پروتئین در شرایط قلیایی نسبت داد. همچنین افزایش غلظت پلاستیسایزر سبب کاهش مقاومت در برابر پارگی فیلم پروتئینی باقلا می‌شود. خواص مکانیکی فیلم باقلا در مقایسه با خواص مکانیکی سایر فیلم‌های پروتئینی با منشأ غیر از حبوبات قابل مقایسه با فیلم حاصل از پروتئین آب پنیر حرارت دیده می‌باشد. مقاومت فیلم پروتئین باقلا، محتوی ۴۰ درصد گلیسرول در pH=۷ در برابر پارگی مشابه فیلم حاصل از کنسانتره پروتئین آب پنیر در pH=۸ و ۴۰ درصد گلیسرول می‌باشد؛ اما نکته قابل توجه استفاده از تیمار حرارتی روی پروتئین‌های آب پنیر می‌باشد مشابهت مقاومت فیلم ایزوله پروتئین باقلا با فیلم پروتئین

آب پنیر با توجه به عدم استفاده از حرارت برای تهیه آن دال بر مستحکم‌تر بودن شبکه پروتئینی در فیلم حاصل از ایزوله پروتئین باقلا می‌باشد. خواص فیلم ایزوله پروتئین باقلا همچنین قابل مقایسه با سایر فیلم‌های خوراکی پروتئینی مثل سویا، نخود فرنگی، بادام زمینی و عدس می‌باشد. با توجه به حلالیت نسبتاً بالای فیلم‌های ایزوله پروتئین باقلا در شرایط قلیایی می‌توان از این فیلم‌ها برای تهیه کیسه‌های بسته‌بندی محلول در آب استفاده نمود. همچنین در صورت مطالعه روی تیمارهای اصلاحی گوناگون مثل تیمار حرارتی یا سایر روش‌های ایجادکننده پیوندهای عرضی در شبکه پروتئینی، فیلم‌های حاصل از ایزوله پروتئین باقلا می‌توانند گزینه مناسبی برای تهیه فیلم‌های خوراکی جهت استفاده روی مواد غذایی گوناگون باشند. با توجه به نیمه شفاف بودن این فیلم‌ها، می‌توان از آن‌ها برای بسته‌بندی مواد غذایی حساس به نور استفاده نمود. [۱۶]

۵-۶- ژلاتین:

در قرن نوزدهم، پوشش‌های ژلاتینی به منظور افزایش ماندگاری گوشت به کار برده شدند. لفاف‌های ژلاتین دارای خواص ممانعت به اکسیژن، حامل پاداکسنده‌ها و ممانعت به روغن سرخ کردن (۲۵) هستند. ممانعت خوب آن‌ها به اکسیژن سبب می‌شود که به عنوان عوامل ضد اکسایش لیپید (برای مثال در گوشت) و به تعویق اندازنده رشد کپک‌ها (۲۶) مطرح باشند. خواص ممانعت به رطوبت لفاف‌های ژلاتین در مقایسه با کلاژن مطلوب نیست. خواص مکانیکی لفاف ژلاتین را می‌توان با افزودن کلسیم، اسید لاکتیک یا اسید تانیک (۲۷) بهبود داد. اصلاح خواص ممانعتی آن نیز از طریق ایجاد اتصالات عرضی میسر است. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، در این ارتباط می‌توان از انواع آلدئیدها استفاده کرد. سطح طیور پیش از انجماد با این لفاف پوشش داده می‌شود و معمولاً اضافه کردن پاداکسیدان نیز معمول است. [۱۷]

از دیگر انواع پوشش‌های خوراکی بر پایه پروتئین که مورد پژوهش قرار گرفته است، می‌توان پوشش‌ها بر پایه

پروتئین پنبه دانه، پروتئین بادام زمینی، پروتئین آب پنیر و پروتئین‌های میوفیبریلی اشاره داشت. [۲۴]

۵-۶-۱- لفاف‌ها بر پایه لیپید:

فیلم‌های لیپیدی نفوذپذیری کمی در برابر رطوبت دارند؛ اما به تنهایی بسیار شکننده هستند. از طرفی از آنجا که این مواد به صورت پلیمر نیستند، فیلم‌های پیوسته و مستقلی تشکیل نمی‌دهند. فیلم‌هایی که با مواد لیپیدی تهیه می‌شوند، معمولاً کدر و نسبتاً سخت هستند. همان طور که گفته شد فیلم‌های پلی‌ساکارید و پروتئین به طور معمول، نفوذپذیری خوبی در برابر اکسیژن و رطوبت نسبی پایین و متوسط فراهم می‌کنند و خصوصیات مکانیکی خوبی دارند؛ اما به علت طبیعت هیدروفوبیک آن‌ها مانع خوبی در برابر بخار آب نیستند. به طور معمول نفوذپذیری به بخار آب با افزایش خاصیت هیدروفوبیک مواد لیپیدی اضافه شده کاهش می‌یابد. بنابراین مهمترین زمینه کاربرد مواد لیپیدی در تولید بسته‌بندی استفاده از آن‌ها در تولید فیلم‌های مرکب است. [۱۹]

خصوصیات سودمند لیپیدها، مانند سازگاری با دیگر عوامل تشکیل فیلم و خصوصیات ممانعتی در برابر نفوذ بخار آب و گازها، آن‌ها را کاندیدای مناسبی برای افزایش استفاده از لیپیدها به عنوان فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی معرفی می‌کند. کارایی مواد لیپیدی در فیلم‌ها و پوشش‌های مرکب، به نوع لیپید به خصوص ساختار، آرایش شیمیایی، خاصیت هیدروفوبیک، حالت فیزیکی (جامد یا مایع) و برهم کنش لیپید با دیگر ترکیبات لفاف مانند پروتئین و پلی‌ساکارید بستگی دارد. لیپیدها به دو طریق می‌توانند در تولید فیلم ترکیبی مورد استفاده قرار گیرند: [۲۰]

- ۱- تولید فیلم‌های امولسیون از طریق اختلاط چربی‌ها در محلول تشکیل‌دهنده فیلم
- ۲- تولید فیلم‌های لایه‌ای به روش پوشش دادن یا لامینه کردن لایه‌هایی از چربی بر روی سطح فیلم تشکیل شده.

با افزودن مواد لیپیدی به فیلم‌های خوراکی‌ها، بازدارندگی آن‌ها در مقابل بخار آب تا حد زیادی بهبود می‌یابد؛ اما بایستی به این نکته توجه داشت که افزودن ترکیبات لیپیدی می‌تواند خواص ظاهری را نیز تحت تأثیر قرار دهد. زیرا با قرارگیری ترکیبات لیپیدی در بین زنجیرهای بیوپلیمر و جلوگیری از پیوستگی کامل شبکه، ممکن است مقاومت مکانیکی فیلم تضعیف گردد. همچنین افزودن ترکیبات لیپیدی می‌تواند خواص ظاهری فیلم را نیز تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین در تولید فیلم مرکب علاوه بر تأثیر چربی در بهبود خواص بازدارندگی فیلم، بایستی تأثیر آن بر روی خواص سطحی و ظاهری فیلم نیز مورد بررسی قرار گیرد. [۲۳]

انواع گسترده‌ای از ترکیبات برای افزایش خاصیت آب‌گریزی پوشش‌های خوراکی بر پایه لیپید در دسترس هستند. مواد آب‌گریزی که به این منظور استفاده می‌شوند، شامل موم‌های طبیعی مانند کارنوبا، موم کاندیلد، موم سوسو برنج و موم‌های بر پایه پتروئوم (مثل پارافین و موم پلی‌اتیلن). در بین ترکیبات هیدروفوبیک، موم‌ها گسترده‌ترین استفاده در لفاف‌سازی مواد غذایی را دارند. موم‌ها به صورت طبیعی و سنتزی وجود دارند و بر اساس منشأ تشکیل آن‌ها به موم‌های حیوانی، حشرات، سبزیجات و معدنی تقسیم‌بندی می‌شود. موم‌های تجاری به وسیله خصوصیات شامل: ارگانولپتیک (رنگ، بو و طعم)، دما [نقطه ذوب، دمای درخشندگی (تشفیع) و فیزیکی (چگالی ویژه، نفوذ، چروکیدگی) و شیمیایی (میزان استر، میزان اسید، تعداد استیل) تعریف می‌شوند. [۲۵]

تری‌گلیسیریدها یا لیپیدهای بی اثر استر اسیدهای چرب با گلیسرول هستند و نسبت به موم‌ها قطبیت را افزایش می‌دهند، غیر قابل حل در آب هستند؛ اما به صورت تک لایه در سطح پخش می‌شوند. خاصیت هیدروفوبیک تری‌گلیسیریدها به ساختار آن‌ها بستگی دارد. تری‌گلیسیریدهای با زنجیر بلند غیر قابل حل در آب هستند. از آنجایی که مولکول‌های کوتاه زنجیر به طور نسبی محلول در آب هستند در بیشتر از غلظت

معینی به صورت توده‌های شبیه به میسل‌ها در می‌آیند. اسیدهای چرب نیز به عنوان لیپیدهای قطبی در نظر گرفته می‌شوند و اصولاً به عنوان امولسیفایر و عامل پخش‌کننده استفاده می‌شوند. [۲۲]

۶- افزودنی‌ها:

۶-۱- پلاستیسایزر (نرم‌کننده):

نرم‌کننده‌ها با کاهش برهم کنش‌های زنجیر به زنجیر و جدا شدن نسبی زنجیرها از یکدیگر، موجب کاهش اصطکاک و تسریع حرکت مولکولی زنجیره‌های پلیمر می‌شوند. همچنین با تغییر شبکه سه بعدی، باعث افزایش انعطاف‌پذیری و کشش‌پذیری می‌شوند. در صورتی که این ترکیبات به مقدار بهینه افزوده شوند، خاصیت شکنندگی لفاف‌ها را از بین برده و بر نرمی بافت می‌افزایند. بین غلظت پلاستیسایزر و آهنگ انتقال بخار آب فیلم‌های خوراکی رابطه مستقیم وجود دارد. در واقع با افزایش میزان پلاستی‌سایزر به دلیل افزایش تحرک موضعی زنجیرهای زیست پلیمر و افزایش فضای آزاد بین آن‌ها، نفوذپذیری فیلم نسبت به بخار آب بیشتر می‌شود. فیلم‌های خوراکی بهتر است کاملاً بی‌رنگ و شبیه پلیمرهای سنتزی باشند. اضافه کردن اسید اولئیک به فیلم CMC جهت بهبود نفوذپذیری به بخار آب، باعث تضعیف این ویژگی در فیلم CMC می‌شود، گلیسرول به عنوان پلاستیسایزر توانست این تأثیر منفی اسید اولئیک را کاهش دهد. [۲۳]

فیلم‌های بدون پلاستیسایزر به حالت شیشه‌ای و شکننده بوده ولی فیلم‌های حاوی پلاستیسایزر شفاف، انعطاف‌پذیر و تا حدودی محکم و به آسانی قابل جابه‌جایی می‌باشند. از جمله نرم‌کننده‌های معروف می‌توان به آب، اسیدهای چرب، الکل‌های گلیسرول، گلیکول‌ها مانند پروپیلن گلیکول و استیل گلیکول، استون‌ها، فنول‌ها، اترها و هیدروکسی اسیدها مانند اسید لاکتیک، قندهای الکلی مانند سوربیتول و مانیتول اشاره کرد. نرم‌کننده‌ها علاوه بر کارایی بالا باید غیر سمی و خوراکی نیز باشند. [۲۱]

۶-۲- اتصال دهنده‌های عرضی:

برای بهبود خواص فیلم‌های خوراکی، گاهی از اتصال دهنده‌های عرضی نیز استفاده می‌شود. این مواد با افزایش پیوندهای عرضی بین زنجیرهای ماکرومولکول‌ها، باعث افزایش مقاومت مکانیکی و کاهش نفوذپذیری نسبت به گازها و بخار آب می‌شوند. از جمله این مواد می‌توان به کلسیم (بهبود خواص فیلم‌های کازئینی)، فرمالدهید، گلو تار آلدهید، اپی کلروهیدرین، اسید استیک و اسید لاکتیک اشاره کرد. [۲۶]

برخی از این مواد مانند فرمالدهید سمی هستند و در تولید فیلم‌های خوراکی باید این موضوع مورد توجه قرار گیرد. ویژگی چند کربوکسیلی اسید سیتریک نیز باعث شده است که بتواند به عنوان اتصال‌دهنده عرضی در بین مولکول‌های نشاسته ایفای نقش کند. علاوه بر پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی در بین زنجیرهای نشاسته، برقراری اتصالات عرضی قوی از نوع کووالانسی باعث افزایش پیوستگی ماتریکس بیوپلیمر می‌شود و در نتیجه انسجام و یکپارچگی فیلم افزایش یافته و حساسیت آن به نفوذ رطوبت کاهش می‌یابد. [۲۷]

ویژگی‌های مکانیکی یک پلیمر یا بیوپلیمر، علاوه بر اتصال دهنده‌های عرضی، توسط پلاستیسایزرها نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. معمولاً اتصال دهنده‌های عرضی و پلاستیسایزرها اثر متضاد بر روی خواص مکانیکی فیلم‌ها دارند. به طور کلی با افزایش میزان اتصال دهنده‌های عرضی استحکام کششی افزایش و کرنش تا نقطه شکست کاهش می‌یابد در حالی که پلاستی‌سایزرها اثری کاملاً برعکس دارند. [۲۸]

۷- نتیجه‌گیری:

عمدتاً فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی برای حذف بسته‌بندی غیر خوراکی استفاده نمی‌شود بلکه به همراه بسته‌بندی‌های متداول، به بهبود کیفیت و ماندگاری کمک می‌کنند و تعداد لایه‌های بسته‌بندی را کاهش می‌دهند و بعد از این که بسته باز شد، حفاظت غذا را ادامه می‌دهند.

فیلم‌های خوراکی همچنان ممکن است به عنوان لایه‌ای از بسته‌بندی‌های چند لایه مورد استفاده قرار گیرند. فیلمی از نظر مکانیکی مطلوب است که علاوه بر مقاومت مکانیکی بالا، کشش‌پذیری و انعطاف‌پذیری بالایی داشته و در ضمن ترد و شکننده نباشد. بازدارندگی خوب فیلم‌ها و پوشش‌های لیپیدی در برابر بخار آب و تا حدی اکسیژن و نیز پایداری خوب مکانیکی، ارگانولپتیکی و شیمیایی فیلم‌های پلی‌ساکاریدی و پروتئینی منجر به تولید فیلم‌های مرکب جهت بهینه‌سازی کارایی پوشش‌های خوراکی شده است.

۸- پانوشت:

۱. Yuba
۲. Encapsulation
۳. Plasticizers
۴. Film-forming solutions
۵. Barrier properties
۶. Single component or single layer
۷. Multicomponent
۸. Composite
۹. Laminate composite films
۱۰. Mixed/blend composite films
۱۱. Laminated films
۱۲. Casted films
۱۳. Water vapour permeability
۱۴. Ice cream cone
۱۵. Carboxymethyl cellulose
۱۶. Ultimate tensile strength
۱۷. Strain to break
۱۸. U.S Food and drug administration
۱۹. Biodegradable
۲۰. Semipermeability
۲۱. Internal atmosphere
۲۲. Microcrystalline cellulose
۲۳. Locust bean
۲۴. Vicia faba L
۲۵. Frying oil barrier
۲۶. Mold retardant
۲۷. Tanic acid

۹- منابع:

۱. الماسی، ه. قنبرزاده، ب و پزشکی نجف آبادی، ا. بهبود ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر نشاسته و فیلم‌های مرکب نشاسته و کربوکسی متیل سلولوز. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی. دوره ۶، شماره ۳، ۱۳۸۸.

۲. حسینی، س.م. ه. رضوی، س. ه و موسوی، س.م. ع. بررسی خواص ضد میکروبی، فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های خوراکی تولید شده از کیتوزان محتوی اسانس‌های آویشن و میخک. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی. دوره ۵، شماره ۲، ۱۳۸۷.

۳. دهقان شعار، ز. بدیعی، ف و بهمدی، ه. نقش گلیسرول بر برخی ویژگی‌های فیزیکی مکانیکی فیلم پروتئینی ایزوله سویا. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی. دوره ۶، شماره ۱، ۱۳۸۸.

۴. صارم نژاد، س. عزیزی، م. ح. برزگز، م و عباسی، س. بررسی اثر pH و غلظت پلاستی سایزر روی ویژگی‌های فیلم تهیه شده از ایزوله پروتئین باقلا. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی. دوره ۶، شماره ۲، ۱۳۸۸.

۵. قنبرزاده، ب و الماسی، ه. بررسی ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های مرکب زیست تخریب‌پذیر خوراکی کربوکسی متیل سلولوز- اسید اولئیک. مجله پژوهش‌های صنایع غذایی. دوره ۶، شماره ۲، ۱۳۸۸.

۶. Adebisi, A. P., Adebisi, A. O., Jin, D. H., Ogawa, T., And Muramoto, K. ۲۰۰۷. Rice bran protein-based edible films. International food science and technology, ۱-۸.

۷. Albert, S., And Gauri, M. ۲۰۰۲. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. food research international. ۳۵, ۴۴۵-۴۵۸.

۸. Anker, M., Berntsen, J., Hermansson, A.M. and stading, M. ۲۰۰۱. Improved water vapor barrier of whey protein film, by addition of an acetylated monoglyceride. Innovative Food science & emerging technologies, ۳. ۸۱-۹۲.

۹. Aydinli, M. and Tutas, M. ۲۰۰۰. Water sorption and water vapor permeability properties of polysaccharide (locust bean gum) based edible films. Lebensmittel-Wissenschaft und technologie, ۳۳: ۶۳-۶۷.

۱۰. Ayranci E and Tunc S, ۲۰۰۱. The effect of fatty acid content on water vapour and carbon dioxide transmissions of cellulose-based edible films. Food chemistry, ۷۲: ۲۳۱-۲۳۶.

۱۱. Ayranci, E. and Tunc, S. ۱۹۹۷. Cellulosebased edible films and their effects on fresh beans and strawberries. Z Lebensm unters forsch A, ۲۰۵: ۴۷۰-۴۷۳.

۱۲. Barreto, P. L. M., Pires, A. T. N. and Soldi, V. (۲۰۰۳). Thermal degradation of edible films based on milk proteins and gelatin

۲۲. Liu, C. C., Tellez – Garay, A. M. and Castell-Perez, M. E. ۲۰۰۴. Physical and mechanical properties of peanut protein films. *Lebensmittel-wissenschaft und technologie*, ۳۷: ۷۳۱-۷۳۸.

۲۳. Lee, K. Y. Shim, J. and Lee, H. G. ۲۰۰۳. Mechanical properties of gellan and gelatin composite films. *Carbohydrate polymers*, ۵۶: ۲۵۱-۲۵۴.

۲۴. Ma, X., Chang, P. R., & Yu, J. (۲۰۰۸) "Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites". *Journal of carbohydrate polymers* ۷۲ ۳۶۹-۳۷۵.

۲۵. Mali, S., Sakanaka, L. S., Yamashita, F., & Grossmann, M. V. E. (۲۰۰۵) "Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect". *Carbohydrate polymers*, ۶۰, ۲۸۳-۲۸۹.

۲۶. Mariniello, L., Di Pierro, P., Esposito, C., Sorrention, A., Masi, P. and Porta, R. ۲۰۰۳. Preparation and mechanical properties of edible pectin-soy flour films obtained in the absence or presence of transglutaminase. *Journal of biotechnology*, ۱۰۲: ۱۹۱-۱۹۸.

۲۷. Mohanty A. K., Misra M., and Hinrichsen G. (۲۰۰۰) "Biofibres, biodegradable polymer and composites: An overview". *Journal of macromolecular materials and engineering*, ۲۷۶, ۲۷۷-۱-۲۴.

۲۸. Niperos-Carrido, M. O. ۱۹۹۴. Edible coatings and films based on polysaccharides: Edible coatings and films to improve food quality. Technomic publishing company, inc, USA, ۳۰۵-۳۳۵.

آدرس نویسنده:

گرگان - میدان بسیج - دانشکده علوم و کشاورزی منابع طبیعی گرگان - گروه علوم و صنایع غذایی.

in inert atmosphere. *Polymer Degradation and Stability*, ۷۹, ۱۴۷-۱۵۲.

۱۳. Cha, D. S., Choi, J. H., Chinnan, M. S., & Park, H. J. ۲۰۰۲. Antimicrobial films based on na-alginate and κ -carrageenan. *Lebensmittel wissenschaft und technologie*, ۳۵: ۷۱۵-۷۱۹.

۱۴. Cho, Y. S., Park, J. W., Batt, H. T., And Thomas, R. L. ۲۰۰۷. Edible films made from processed soy protein concentrates. *LWT Food science and technology*. ۴۰, ۴۱۸- ۴۲۳.

۱۵. Cho, Y. S., And Rhee, C. ۲۰۰۲. Sorption characteristics of soy protein films and their relation to mechanical properties. *LWT- food science and trchnology*. ۳۵, ۱۵۱-۱۵۷.

۱۶. Cao, N., Fu, Y., And He, J. ۲۰۰۷. Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films. *Food hydrocolloids*. ۲۱, ۱۱۵۳-۱۱۶۲.

۱۷. Coma, V., Martial-Gros, A., Garreau, S., Copinet, A., Salin, F., & Deschamps, A. (۲۰۰۲). Edible antimicrobial films based on chitosan matrix. *Journal of food science*, ۶۷(۳), ۱۱۶۲-۱۱۶۹.

۱۸. Fabra M, Talens P and Chiralt A, ۲۰۰۸. Tensile properties and water vapor permeability of sodium caseinate films containing oleic acid – beeswax mixtures. *J food engineering*, ۸۵: ۳۹۳-۴۰۰.

۱۹. Figueiro, S. D. Goes, J. C., Moreira, R. A. and Sombra, A. S. B. ۲۰۰۴. On the physicochemical and dielectric properties of glutaraldehyde crosslinked galactomannan-collagen films. *Carbohydrate polymers*, ۵۶: ۳۱۳-۳۲۰.

۲۰. Hangwan, V.C., Kim, M.S., And Lee, S.Y. ۲۰۰۵. Water vapor permeability and mechanical properties of soy protein isolate edible films composed of different plasticizer combinations. *Journal of food sciences*. ۷۰(۶): E۳۸۷-E۳۹۱.

۲۱. Kim, K.M., Weller, C.L., Hanna, M.A., And Gennadios, A. ۲۰۰۲. Heat curing of soy protein films at selected temperatures and pressure. *Lebensm-wiss.u.-technol.*, ۳۵, ۱۴۰-۱۴۵.