نشریه علمی «علوم و فنون بسته‌بندی»
سال سیزدهم، شماره ۴۹، بهار ۱۴۰۱؛ ص ۵۳- ۴۷

علمی – ترویجی

مروری بر بسته‌بندی پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر مرکب

ناصر صداقت[1*]، فریده سنایی[2]

۱- استاد و عضو هیئت علمی، ۲- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲ ، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵)

چکیده

تأثیرات مخرب محیطی ناشی از تجمع مواد پلاستیکی و غیرتخریب‌پذیر یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها در جهان امروز است. حجم قابل توجهی از این زباله‌ها مربوط به پلیمرهای مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی است. ازاین‌رو در سال‌های اخیر متخصصان و دست اندرکاران صنعت غذا به دنبال یافتن جایگزین‌های زیست تخریب‌پذیر مناسب برای پلیمرهای سنتزی بوده‌اند. هدف از این مقاله بررسی پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر مرکب در مواد غذایی و مطالعات انجام‌شده‌ی کاربردی در این زمینه است.

کلیدواژه‌ها: پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر، بسته‌بندی، مرکب

۱- مقدمه

غذا محصولی حیاتی برای بقای انسان است و با گذشت زمان نگرانی‌های مصرف‌کنندگان برای افزایش کیفیت آن در حال افزایش است. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی لایه‌های نازکی هستند که روی محصولات غذایی اعمال می‌شود و از آن‌ها محافظت می‌کند و باعث بهبود کیفیت آن‌ها می‌شود. فیلم‌ها و پوشش‌ها از مواد طبیعی و قابل تجدید (پلی‌ساکارید، پروتئین، لیپید و ترکیبی) ساخته شده‌اند. این فیلم‌ها قابل خوردن، سازگار با محیط زیست و حاوی آنتی‌اکسیدان و عوامل ضد قهوه‌ای‌شدن هستند. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی را بر اساس مواد سازنده آن‌ها می‌توان به سه گروه تقسیم کرد: ۱-هیدروکلوئیدها (پروتئین و پلی‌ساکارید)۲- لیپیدها ۳-پوشش‌های مرکب. برای بهبود خصوصیات عملکردی پوشش‌ها می‌توان از مواد ضد میکروبی، ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها، رنگ‌دهنده‌ها و طعم‌دهنده‌ها در فرمولاسیون پوشش‌های خوراکی استفاده کرد.

۲- هیدروکلوئیدها

۲-۱- پوشش‌های پروتئینی

از انواع مختلفی از منابع پروتئینی جهت تولید پوشش‌های خوراکی استفاده می‌شود. از پروتئین‌های مورد استفاده در تولید این پوشش‌ها زئین ذرت، پروتئین سویا، گلوتن گندم، پروتئین آب پنیر، کازئین ، ژلاتین ، کلاژن را می‌توان نام برد. این پوشش‌ها به‌خوبی به سطوح آب‌دوست می‌چسبد و موانع خوبی در برابر اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و چربی‌ها (که در رطوبت نسبی پایین هستند) ایجاد می‌کند. این پوشش‌ها خصوصیات مکانیکی خوبی را از خود نشان می‌دهد. خصوصیات آب‌دوستی آن‌ها موجب شده است که موانع ضعیفی در برابر بخار آب باشد. افزودن لیپید در فرمولاسیون این فیلم‌ها وپوشش‌ها می‌تواند خصوصیات ممانعت‌کنندگی فیلم‌ها را بهبود بخشد. با افزایش پیوستگی میان زنجیره‌های پلی‌پپتید - پروتئین می‌توان خصوصیات ممانعت‌کنندگی فیلم را بهبود بخشید. ایجاد اتصالات عرضی پروتئین توسط تیمارهای شیمیایی(گلوتاراآلدهید،فرمالدهید، گلیسرآلدهید) فیزیکی(گرما و اشعه) و آنزیمی (ترانس گلوتامیناز) می‌تواند موجب بهبود خواص ممانعت‌کنندگی به بخارآب و نیز بهبود خصوصیات مکانیکی و مقاومت به پروتئولیز فیلم‌ها شود. فیلم‌های پروتئینی ترد و شکننده‌اند. افزودن نرم‌کننده‌ی مناسب می‌تواند موجب بهبود توسعه‌پذیری و خواص ویسکوالاستیک فیلم شود [۳].

۲-۲- پوشش‌های پلی‌ساکاریدی

فیلم‌های مشتق شده از پلی‌ساکاریدها اغلب به دلیل آرایش زنجیری پلیمر، نفوذپذیری اندک نسبت به گازها دارد؛ اما خواص مکانیکی ضعیف و ماهیت آب‌دوست آن‌ها نفوذپذیری زیادی نسبت به بخار آب دارد. یک راه بهبود برای این خاصیت ترکیب آن‌ها با مواد آب‌گریز مثل اسیدهای چرب است انواع مختلفی از پلی‌ساکاریدها و مشتقات آن به‌عنوان فیلم و پوشش‌های خوراکی

*نویسنده مسئول: sedaghat@um.ac.ir

بررسی شدند که اغلب شامل آلژینات، کاراگینان، نشاسته و مشتقات سلولزی و کیتوزان هستند [۳].

۳- پوشش‌های لیپیدی

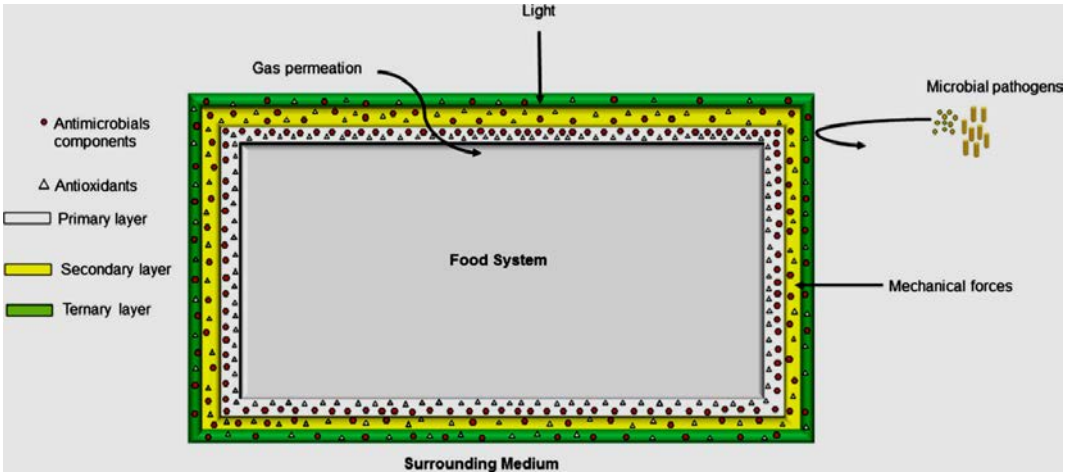
این پوشش‌ها انعطاف‌پذیری و چسبندگی بالایی دارند؛ اما به‌دلیل قطبیت کم و آب گریز بودن از نفوذپذیری کمی در برابر رطوبت برخوردارند. مواد لیپیدی و رزینی به‌صورت پلیمر نیستند؛ به همین دلیل فیلم‌های پیوسته و مستقلی تولید نمی‌کنند و فیلم‌های حاصل از آن‌ها بسیار شکننده است. بنابراین مهم‌ترین زمینه‌ی کاربرد مواد لیپیدی در تولید مواد بسته‌بندی، استفاده از آن‌ها در تولید فیلم‌های مرکب است. خواص پوشش‌های خوراکی لیپیدی به خصوصیات ترکیبات لیپید مانند حالت فیزیکی، درجه‌ی اشباعیت و طول زنجیره‌ی اسید چرب بستگی دارد. اسیدهای چرب بلندزنجیر اشباع به دلیل تحرک کمتر و ساختار مستحکم‌تری که نسبت به اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر و غیراشباع دارند، بهترین خواص ممانعتی (در بین اسیدهای چرب) را به پوشش می‌دهند[۳].

۴- پوشش‌های مرکب

جهت بهبود ویژگی‌های کاربردی و کاهش معایب فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از فیلم‌ها و پوشش‌های مرکب استفاده می‌شود. این پوشش‌ها می‌توانند مخلوطی از پوشش‌های پلی‌ساکاریدی، پروتئینی و لیپیدی باشد. خصوصیات عملکردی این گونه پوشش‌ها به ترکیب و روش تولید آن‌ها بستگی دارد. پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها، ماتریکس پلیمری ایجاد می‌کنند که ویژگی‌های خوب مکانیکی دارد ولی به‌واسطه‌ی ماهیت آب‌دوستشان نفوذپذیری بالایی به رطوبت دارند. علت افزودن لیپیدها به فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی افزایش دادن خاصیت آب‌گریزی آن‌ها است. با افزودن لیپیدها به فرمولاسیون پوشش‌های پروتئینی و یا پلی‌ساکاریدی نفوذپذیری نسبت به بخارآب کاهش ولی نفوذ پذیری نسبت به اکسیژن (به‌دلیل نفوذپذیری بیشتر لیپید نسبت به گازها) افزایش می‌یابد [۳].

عملکرد اصلی بسته‌بندی مواد غذایی برای جدا کردن غذا از محیط اطراف، کاهش تعامل با عوامل فساد (همچون میکروارگانیسم‌ها، بخار آب، اکسیژن، طعم‌ها و به‌طور کلی افزایش عمر مفید غذایی است[۴]. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی علی‌رغم کاربرد عملی خود تنها در دهه‌ی اخیر وارد صنایع غذایی شده است. عملکرد اصلی آن‌ها محافظت از محصولات غذایی در برابر آسیب‌های مکانیکی، تغییرات فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی است. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی بر روی محصولات غذایی مختلف مانند میوه‌جات و سبزیجات، محصولات گوشتی، محصولات دریایی، پنیر، محصولات پخته‌شده و محصولات سرخ‌شده با چربی استفاده می‌شود.[۵]. پلیمرهای نفتی و پلاستیک‌ها به طور قابل توجهی در بسته‌بندی مواد غذایی به دلیل قیمت‌های کم و خواص مطلوب آن‌ها افزایش یافته‌اند. با این حال این پلیمرها غیرقابل‌تجزیه هستند. در ایالات متحده‌ی آمریکا سالانه بیش از ۳۲ میلیون تن پلاستیک هدر می‌رود؛ زیرا به‌دلیل مشکلات اقتصادی و تکنولوژیکی بازیافت آن‌ها محدود است. درواقع بازیافت آن‌ها کمتر از ۳درصد در سراسر جهان است [۴]. مصرف‌کنندگان فعلی، متقاضی غذاهای طبیعی باکیفیت بالا و ایمن در سراسر جهان‌اند. آن‌ها همچنین از بسته‌های غذایی استفاده می‌کنند که آلودگی را افزایش نمی‌دهد و از طریق فرآیندهای پایدار ساخته شده‌اندکه همه این‌ها به روش‌های ارزان تهیه می شوند. تعریف برای پوشش و فیلم‌های خوراکی این است که بسته‌بندی اولیه‌ی آن‌ها از مواد غذایی خوراکی ساخته شده است؛ همچنین ممکن است به طور مستقیم یک لایه خوراکی در بسته‌بندی مواد غذایی با روش پوشش، غوطه‌وری و اسپری اعمال شود. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی گاهی اوقات به‌صورت برابر ارائه می‌شوند؛ اما در روش کاربرد متفاوت هستند. تفاوت بین فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی این است که فیلم‌ها به‌صورت لمینت جامد به دست می‌آیند و سپس به مواد غذایی اعمال می‌شوند؛ درحالی‌که پوشش‌ها در روش‌های مایع استفاده می‌شوند. سیستم‌های دو لایه یا چند لایه برای پوشش‌ها کاربرد دارند. درباره‌ی سیستم‌های دو لایه لازم است که لایه‌ی نازک اولیه از پلی‌ساکارید یا پروتئین ایجاد شود و لایه‌ی دوم از لیپیدهای پراکنده تشکیل شود. سیستم‌های دو لایه در صنایع غذایی کمتر رایج هستند. فیلم‌ها و روکش‌های ترکیبی از ترکیبات متعددچون پروتئین-پروتئین، کربوهیدرات-پروتئین، کربوهیدرات-کربوهیدرات تهیه شده‌اند. به همین ترتیب فیلم‌ها و پوشش‌های سه تایی از ترکیب پروتئین-پروتئین-کربوهیدرات تهیه شده‌اند. علاوه‌براین چندین مواد فعال شامل ترکیبات ضد میکروبی در این سیستم‌ها بارگذاری شده‌اند. از طرفی فیلم‌ها سیستم‌هایی هستند که به‌صورت ورقه‌ای تهیه می‌شوند و سپس به‌عنوان لفاف روی مواد غذایی به کار گرفته می‌شوند. بر مبنای ویژگی‌های آب‌گریزی و آب‌دوستی مولکول‌های زیستی، خواص فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی قابل دستکاری است. به‌عنوان مثال مولکول‌های آب‌گریز نشان می‌دهند خواص ضد رطوبتی دارند؛ درحالی‌که مولکول‌های آب‌دوست خواص مکانیکی کارآمد دارند. علاوه بر این چنین بیوپلیمرهای هیدروفیلیک موانع خوبی برای گازهایی چون اکسیژن و دی‌اکسیدکربن هستند. بسیاری از مواد مبتنی بر پلی‌ساکارید از جمله نشاسته،کیتوزان و نانو ذرات آن، سلولز و مشتقات آن از جمله متیل سلولز ،هیدروکسی پیروپیل متیل سلولز، پلولان و صمغ‌ها و صمغ لوبیا اخیراً در تهیه‌ی

فیلم‌های خوراکی استفاده می‌شوند. علاوه بر پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها نیز کاربردهای فراوانی در این زمینه پیدا کرده‌اند. فرمولاسیون فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی بعضی از پروتئین‌ها چون پروتئین آب پنیر ، سدیم کازئینات، پروتئین سویا است. روش غوطه ور کردن به‌طور کلی برای بهبود ویژگی‌های کیفی، فیزیکوشیمیایی میوه‌ها و سبزیجات فرآوری‌شده و همچنین محصولات گوشتی استفاده می‌شود. ضخامت پوشش را می‌توان با پارامترهای مختلف مانند چگالی و ویسکوزیته کنترل کرد. یک تغییر خاص در روش غوطه‌وری می‌تواند با استفاده از تکنیک الکترواستاتیک لایه به لایه باشد که در آن دو یا چند لایه را می‌توان با استفاده از روش‌های فیزیکی یا فعل و انفعالات شیمیایی به هم متصل کرد. بیشتر روش الکترواستاتیک، برای پوشش محصولات قنادی استفاده می‌شود. حتی اگر پوشش‌های خوراکی پتانسیل خود را نشان دهند، ضخامت پوشش‌های خوراکی باید به دقت کنترل شود که ممکن است منجر به مسائل مربوط به سیستم‌های غذایی شود. به‌طور خاص یک لایه‌ی پوششی ضخیم، غلظت اکسیژن داخلی را کاهش و غلظت دی‌اکسیدکربن را در مواد غذایی افزایش می‌دهد. این نوع وضعیت غذا از دیدگاه کیفیت مضر است؛ چون تخمیر بی‌هوازی رخ می‌دهد. علاوه بر این اطلاعات درباره‌ی نفوذ گاز، ویژگی‌های انتشار در سطح غذا و دانش درباره‌ی ترکیب گاز داخل غذاها می‌تواند به تصمیم‌گیری درخصوص مناسب بودن پوشش‌های خوراکی کمک کند[۴]. انتظار نمی‌رود که پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی به‌طور کامل جایگزین مواد بسته‌بندی معمولی شوند. آن‌ها می‌توانند با کاهش تبادل رطوبت، لیپیدها ، گازها بین غذا و محیط اطراف، برای ثبات مواد غذایی گسترش یابند[۶].

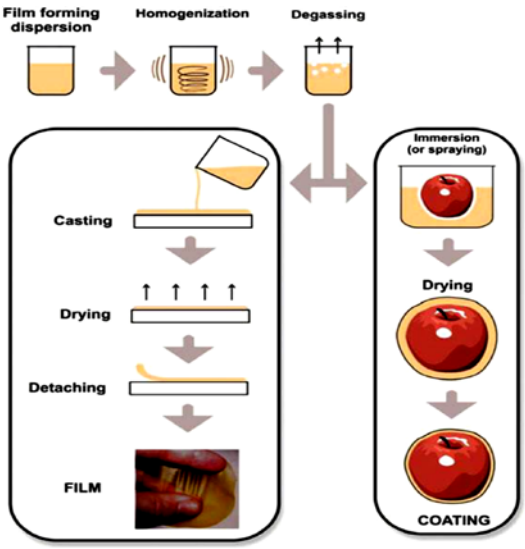


شکل (۲): نمایی از خواص ممانعت‌کنندگی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی

عمر مفید دوره، زمانی است که محصول برای خوردن ایمن است و هم چنین بافت و ظاهر خوبی دارد. برای اهداف علمی یک دوره حداقل دو هفته لازم است که مواد غذایی برای بسته‌بندی، حمل‌ونقل، توزیع و نمایش قبل از مصرف سالم بمانند. بسته به سطح اکسیژن تنفس می‌تواند هوازی یا بی‌هوازی باشد.فرآیند تنفس یک محصول با نوع فرآیند، دمای ذخیره‌سازی، مقدار اکسیژن محلول، غلظت و یا نسبت اکسیژن یا دی‌اکسیدکربن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. وقتی سطح اکسیژن کمتر از ۳درصد باشد تنفس بی‌هوازی با آزادسازی طعم‌های نامطلوب و ایجاد تغییرات در رنگ و بافت ایجاد می‌شود. سطوح دی‌اکسیدکربن کمتر از ۵درصد و سطوح اکسیژن بالای ۸درصد می‌تواند فرسودگی محصولات مواد غذایی را به تأخیر بیندازد و درنتیجه باعث حفظ کیفیت غذا بشود[۷]. روش‌های مختلفی چون اسپری، برس، الکترواسپری برای کاربرد در پوشش مواد غذایی استفاده می‌شود و از آن‌ها در برابر رشد میکروبی محافظت می‌کند و موجب افزایش عمر مفید و بهبود سایر جنبه‌های کیفی مانند ویژگی‌های حسی می‌شود. علاوه‌براین در فیلم‌های خوراکی بعضی از افزودنی‌های خاص شبیه گلیسرول، سوربیتول برای بهبود کارایی فیلم‌ها و پوشش‌ها استفاده می‌شود. در زمان‌های اخیر پوشش‌های گیاهی مثل اسانس آلاوارا، سیترال، اوژنول به طور گسترده برای اهداف پوشش به کار برده شده‌اند. با این حال برخی چالش‌های ارائه شده به دنبال راه حل مناسب است. مقالات علمی و اختراعات مختلفی در تولید فیلم‌های خوراکی وجود دارد[۸].

با وجود مزایای فراوان، فیلم‌های خوراکی به‌دلیل مشکلاتی از جمله نبود مسائل بهداشتی و هزینه‌های بالا و غیره در مقیاس آزمایشگاهی تولید می‌شود. غلبه بر این مشکلات برای افزایش مقیاس تولید به مقیاس صنعتی و موفقیت تجاری فیلم‌های خوراکی ضروری است. ترکیبات پلاستی سایزرها، تولید فیلم‌های چند لایه ، فیلم‌های ترکیبی و فیلم‌های نانو به‌طور قابل توجهی بهبود یافته‌اند. اما برخی تحقیقات اساسی درباره‌ی عوامل کلیدی

هنوز مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. مقیاس آزمایشگاهی فیلم‌های خوراکی، مشکلاتی مانند ناتوانی در ساخت فیلم‌های مداوم، زمان خشک شدن طولانی و کنترل ضخامت نادرست دارد که باید قبل از تولید صنعتی به‌طور قابل توجهی مورد ارزیابی قرار بگیرد. نبود شواهد در برابر خوراکی بودن، زیست تخریب‌پذیری، اثرات سمی، بازاریابی ناکافی، نبود آگاهی و مسائل فرهنگی می‌تواند بر ایمنی مواد غذایی و پذیرش مشتری اثر بگذارد. تحقیقات آینده باید همه‌ی این مشکلات را از دیدگاه مقیاس تجاری و جنبه‌های تجاری به‌منظور ایجاد فیلم‌های خوراکی و تجاری موفق به کار بگیرد[۹].



شکل (۱): مراحل تولید فیلم‌ها و پوشش‌ها (صلاح و همکاران،۲۰۲۰).

۵- مروری بر پژوهش‌ها

مطالعه‌ای درباره‌ی تولید فیلم‌های ترکیبی از نشاسته و صمغ کاراگینان حاصل شد. غلظت نشاسته (۵- ۲) درصد ، کاراگینان(۳/۵-۱) درصد و گلیسرول (۳۵- ۱۵) درصد استفاده شد. ضخامت، نفوذپذیری بخار، حلالیت، مقاومت کششی مورد ارزیابی قرار گرفت. هر دو نشاسته و کاراگینان به‌طور مثبت بر مقاومت کششی فیلم اثر می‌گذارند. درحالی‌که روند معکوس با افزایش غلظت گلیسرول مشاهده شد. سطوح مطلوب پارامترهای مقاومت کششی و نفوذپذیری به بخارآب پایین‌تر و مقادیر حلالیت پایین به دست آمد. مقادیر بهینه برای تولید فیلم با درصد ترکیبات نشاسته ۴/۹درصد، ۵ درصد کاراگینان و ۱۵/۷۳درصد غلظت پلاستی سایزر به دست آمد. دمای ذوب فیلم ترکیبی نشاسته و کاراگینان بالاتر از فیلم نشاسته به تنهایی بود. مطالعات مورفولوژی ساختار همگن از فیلم‌های نشاسته را نشان داد؛ درحالی‌که فیلم‌های کامپوزیت، خشن، سنگین و کمی نامنظم‌تر بودند [۱۰].

فیلم‌های کامپوزیتی از ژلاتین و صمغ کتیرا و صمغ ایرانی تهیه شدند و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد حضور صمغ کتیرا در فیلم‌های ترکیبی ضخامت و نفوذپذیری به بخار آب را در فیلم‌ها کاهش داد. مقاومت کششی و قابلیت کشش فیلم به‌طور قابل توجهی با اضافه کردن ژلاتین بهبود یافت و بالاترین قابلیت کشش برای فیلم صمغ ایرانی به دست آمد. فیلم ژلاتین و صمغ ایرانی فیلم‌های همگن‌تری بودند اما حضور کتیرا باعث افزایش بی‌نظمی فیلم‌ها شد. نتایج نشان داد فیلم خوراکی جدید با ویژگی‌های فیزیکی می تواند از ترکیب این سه باشد [۱۱].

ویژگی‌های فیلم خوراکی بر پایه‌ی گلوتن-کربوکسی متیل‌سلولز حاوی نانو فیبر سلولز و عصاره‌ی گیاهی و تأثیر پوشش آن بر ماندگاری گوشت بررسی شد. نتایج نشان داد تأثیر غلظت گلوتن گندم به میزان (۱/۲۵-۱) درصد وزنی و کربوکسی‌متیل‌سلولز (۱-۵/) درصد وزنی و نانوفیبرسلولز (۱۰-۰) درصد وزنی بر پایه‌ی مواد جامد است. بیوپلیمرهای گلوتن و کربوکسی‌متیل‌سلولز بر روی خصوصیات نفوذپذیری نسبت به بخار آب، خصوصیات مکانیکی و رنگی نانوکامپوزیت‌های زیست تخریب‌ناپذیر با استفاده از روش سطح پاسخ بررسی شدند. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که مطلوب‌ترین ترکیب حاوی گلوتن گندم به میزان ۱درصد، کربوکسی‌متیل سلولز ۸۶/. درصد و نانوفیبر سلولز ۸/۵۴ درصد وزنی بود [۲]. علی‌زاده و همکاران در سال ۲۰۱۷ براساس مطالعات خود مبنی‌بر بررسی ویژگی‌های فیلم‌های بر پایه‌ی ایزوله پروتئین آب پنیر و نانو فیبر سلولز حاوی عصاره‌های ضد میکروبی رزماری و دی‌اکسیدتیتانیوم بر ماندگاری گوشت بره اظهار داشتند که این ترکیبات دارای اثر بازدارنده بر روی رشد برخی از میکروارگانیسم‌ها از قبیل لاکتیک‌اسید باکتری‌ها، اشریشیا، لیستریا مونوسیتوژنز و سودوموناس است و بیشترین اثر بازدارندگی را بر روی باکتری استافیلوکوکوس اورئوس از خود نشان داد و توانست ماندگاری گوشت بره را از ۵ روز به ۱۵ روز تحت شرایط انبارمانی در یخچال افزایش دهد[۱۲]. ینگ‌ینک و همکاران در سال ۲۰۱۷ بر روی خواص فیزیکی و ضد میکروبی فیلم‌های بر پایه‌ی سدیم‌آلژینات و کربوکسی‌متیل‌سلولز حاوی اسانس دارچین اظهار داشتند، افزودن مقادیر مختلف اسانس روغنی دارچین باعث کاهش ضخامت، نفوذپذیری نسبت به بخار آب ، نفوذ پذیری نسبت به اکسیژن و مقاومت در برابر کشش فیلم‌ها شده و هم چنین به‌طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش محتوای رطوبت و مقاومت کششی فیلم‌ها می شود. علاوه‌براین در بررسی اثرات ضد میکروبی فیلم‌های سدیم‌آلژینات و کربوکسی‌متیل‌سلولز حاوی اسانس دارچین، اثرات بازدارندگی عالی برای باکتری اشریشیاکلی و

استافیلوکوکوس‌اورئوس گزارش کردند[۱۳]. نحلا و همکاران در مطالعات خود مبنی بر توسعه‌ی نانوکامپوزیت‌های بر پایه‌ی گلوتن ، نانوفیبر سلولز و دی‌اکسیدتیتانیوم بر روی مقاومت کششی، مدل یانگ و حساسیت آلی مورد مطالعه قرار دادند و اظهار داشتند خواص مورد مطالعه زمانی که نانوفیبرسلولز و دی‌اکسید تیتانیوم به ترتیب در مقادیر ۷/۵ درصد و ۰/۶ درصد به گلوتن اضافه شد بهبود معنی‌داری خواهد داشت [۲].

در مطالعه‌ای تأثیر فیلم و پوشش تهیه شده از کیتوزان ۱درصد وزنی /حجمی و ژلاتین ۳ درصد وزنی /حجمی در نگهداری فیله‌ی قزل‌آلای رنگین کمان در دمای ۴ درجه در یخچال به مدت ۱۶ روز و ۱۸ درجه به مدت ۶ ماه در فریزر مورد بررسی قرار گرفت. آزمون‌های میکروبی (بار میکروبی کل و باکتری‌های سرمادوست) بیانگر تأثیر ضدمیکروبی پوشش و فیلم کیتوزان-ژلاتین بوده است. آزمون‌های شاخص اکسیداسیون چربی (پراکسید، تیوباربیوتیک اسید، اسید چرب آزاد) نیز حاکی از کمتر بودن میزان اکسیداسیون در نمونه‌های دارای فیلم و پوشش کیتوزان-ژلاتین نسبت به نمونه‌ی شاهد بود [۱]. یک فیلم متشکل از پروتئین آب پنیر و بذر سیاه‌دانه مورد بررسی قرار گرفت. فیلم‌های کامپوزیت دارای زاویه‌ی تماس آب بالاتر و نفوذپذیری بخار آب و به‌عنوان نفوذپذیری پایین اکسیژن و انتقال نور در مقایسه با فیلم‌های تک‌پلیمری هستند. با افزایش غلظت سیاه‌دانه روشنایی فیلم بالاتر و شاخص سفیدی و تفاوت رنگ‌های کلی کوچک‌تر مشاهده شد. مقاومت کششی و مدول الاستیک فیلم‌های کامپوزیتی بالاتر از فیلم‌های تک‌پلیمری بود. ساختار آمورف فیلم‌های کامپوزیتی با افزایش محتوای سیاه‌دانه قدرت پیک تراش بالاتر و بلورینگی فیلم‌ها مشاهده شد. نتایج کلی نشان داد که خواص فیلم‌های کامپوزیت بهتر از فیلم‌های تک‌پلیمری بود[۱۴]. بررسی اثرات کازئین فسفوپپتیدهای زیست فعال زیستی (۰، ۱/.، ۲/.، ۳/.، و ۵/.) روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ساختار و ویژگی‌های آنتی‌میکروبیال و آنتی‌اکسیدانی فیلم مورد مطالعه قرار گرفت. .فیلم‌های بر پایه‌ی ژلاتین بررسی شدند. نتایج نشان داد اضافه کردن این فسفوپپتیدها به فیلم‌های ژلاتینی به‌طور قابل توجهی حلالیت و نفوذ به بخار آب را کاهش می‌دهند. این فیلم‌ها به‌طورکلی بازدارندگی خوبی در مقابل باکتری‌های گرم مثبت (استافیلوکوکوس و باسیلوس) با افزایش غلظت فسفوپپتیدهای کازئینی در فیلم نشان دادند. به‌طور کلی نتایج نشان داد فیلم‌های خوراکی ژلاتین-کازئین با پایین‌ترین غلظت فسفوپپتیدها (۰/۱-۰/۲) می‌تواند به‌طور بالقوه در بسته‌بندی مواد غذایی برای اطمینان از کیفیت محصولات غذایی به دلیل خواص فیزیکی مناسب آن‌ها و افزایش ویژگی‌های فعال زیستی مورد استفاده قرار گیرند [۱۵].

فیلم‌های خوراکی ترکیبی از پکتین، آلژینات و پروتئین‌های آب پنیر تهیه شدند و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. اثر پکتین در شاخص زردی منعکس شد؛ درحالی‌که آلژینات و پروتئین آب پنیر باعث ایجاد کدورت در فیلم شدند. با این حال همه‌ی فیلم‌ها پایداری حرارتی خوبی را با دمای شروع تخریب بالاتر از ۱۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نشان دادند [۱۶].

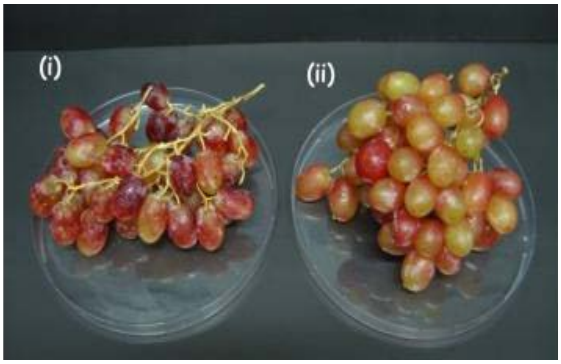
تولید فیلم خوراکی از نشاسته‌ی نخود ـ کازئین با خواص فیزیکی، مکانیکی و نفوذپذیری به بخار آب مورد بررسی قرار گرفت. فیلم‌ها از حل شدن ۵ درصد نشاسته‌ی نخود و کازئین در نسبت‌های مختلف آب ۱:۰، ۱:۱، ۱:۳، ۱:۱، ۳:۱ با گلیسرول ۲/۵ درصد تهیه شدند و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن‌ها آنالیز شد. فیلم خوراکی با ترکیب ۱:۳ از نشاسته و کازئین بهترین فیلم از نظر ضخامت، محلولیت ، مقاومت کششی ، قابلیت کشش و نفوذپذیری به بخارآب بود. افزایش غلظت کازئین باعث رطوبت بالای فیلم با شفافیت بیشتر شد [۱۷].

فیلم‌های خوراکی به‌دست‌آمده از طریق برهم کنش‌های الکترواستاتیکی بین کیتوزان با بار مثبت ۳ درصد (وزنی/ وزنی) و ایزوله‌ی پروتئین آب پنیر۳ درصد (وزنی/وزنی) مورد مطالعه قرار گرفتند. سنجش‌های اولیه کدورت‌سنجی به‌منظور یافتن نسبت جرم بهینه کیتوزان به پروتئین آب پنیر انجام شد. حداکثرکدورت در نسبت جرمی ۱:۱/. به دست آمد. فیلم کیتوزان ـ آب پنیر تهیه شد و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها با فیلم‌های کیتوزان و آب پنیر به‌تنهایی مقایسه شد. نتایج نشان داد که ادغام کم مقادیر کیتوزان در ماتریکس پروتئین آب پنیر منجر به تشکیل یک لایه کامپوزیت با استحکام کششی بالاتر، تغییر شکل کمتر، چکش‌خواری، انعطاف‌پذیری، حلالیت، نفوذپذیری به بخار آب در مقایسه با فیلم‌های آب پنیر و کیتوزان شد. ادغام کیتوزان منجر به کاهش رطوبت تعادلی فیلم شد. همه‌ی فیلم‌ها ساختارهای یکنواخت، رنگ شفاف را ارائه کردند که در کاربردهای مواد غذایی و فناوری بسته‌بندی مورد نظر است[۱۸].

خواص حرارتی، ساختاری و خواص فیزیکو شیمیایی فیلم‌های خوراکی کامپوزیتی مختلف بر پایه‌ی آلژینات و پکتین با افزودن اسانس سیترال به‌عنوان عاملی برای بهبود خواص ممانعت‌کنندگی مورد بررسی قرار گرفت. فیلم‌های به‌دست‌آمده واضح و شفاف بودند و رنگ زرد با افزودن سیترال افزایش یافت. در همه‌ی فیلم‌ها ثبات حرارتی خوب تا ۱۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد با بهبود کمی با افزایش مقدار سیترال در کامپوزیت‌ها مشاهده شد. نرخ انتقال گاز به‌شدت وابسته به ساختارهای پلیمری ، نوع گاز و دما بود [۱۹].

Suppakul و همکاران در سال ۲۰۱۶ پروتئین سویا و زئین ذرت را برای تشکیل یک لایه‌ی خوراکی دو لایه برای پوشش مواد روغن زیتون به کار گرفتند. ویژگی‌های مکانیکی این ورقه‌ها و خواص پایداری روغن زیتون مورد ارزیابی قرار گرفتند. فیلم‌های یک لایه با فیلم‌های دو لایه مقایسه شدند. این مطالعه گزارش داد که افزودن زئین ذرت باعث افزایش قدرت کششی می‌شود و همچنین خاصیت ممانعت‌کنندگی خوبی در برابر رطوبت دارد [۱۹].

Oliveria و همکاران در سال ۲۰۱۸ پوشش مشتق شده از نشاسته‌ی ذرت ۳درصد، نشاسته‌ی کاواسا ۲ درصد، ژلاتین ۵درصد و موم زنبور عسل را با درصدهای مختلف به‌عنوان عامل هیدروفیلیک مورد ارزیابی قرار دادند. بهترین نتیجه در نرخ انتقال بخار آب و زبری سطح برای فیلم پوشش داده شده با ۱۰ درصد موم زنبور عسل به دست آمد [۲۰].



شکل (۳): پوشش کامپوزیت خوراکی از نشاسته‌ی ذرت و اعمال بر روی انگور قرمز به‌عنوان فیلم خوراکی (صلاح و همکاران ۲۰۲۰)

۶- نتیجه‌گیری

افزایش تولید و مصرف مواد پلیمری در دهه‌های گذشته تنش عظیمی بر محیط زیست با تولید زباله‌های پلاستیکی ایجاد کرد. تقریباً نیمی از پلاستیک‌های تولید شده در مصارف یک‌بارمصرف مانند بسته‌بندی مواد غذایی که بیشترین سهم زباله‌های پلاستیکی را به خود اختصاص داده‌اند تولید می‌شوند. بنابراین تولید بسته‌بندی سازگار با محیط زیست مانند فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر و تجدیدپذیر جایگزین جالبی برای پلیمرهای معمولی است. پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها این نیازها را به دلیل قابلیت تشکیل فیلم و هم چنین خوراکی بودن آن‌ها برطرف می‌کنند. استفاده از فیلم‌ها به‌عنوان حامل‌های مختلف افزودنی‌های مختلف مانند طعم‌ها، مواد مغذی، رنگ‌ها و مواد ضدمیکروبی از دیگر ویژگی‌های مطلوب فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی است. پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها مواد اصلی مورد استفاده برای آماده‌سازی فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی هستند. پلی‌ساکاریدها دارای خواص شکل‌گیری فیلم مطلوب از جمله مقاومت مکانیکی، خواص مانع کارآمد در برابر روغن‌ها، چربی‌ها، نفوذپذیری انتخابی در مقابل انتقال اکسیژن هستند. با این حال فیلم‌های مبتنی بر پروتئین، خواص مکانیکی، نوری و ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی قوی‌تری نسبت به فیلم‌های پلی‌ساکاریدی نشان می‌دهند. یکی از معایب فیلم‌های پروتئین و پلی‌ساکارید اثر رطوبت بر عملکرد آن‌ها است. تاکنون آثار گسترده‌ای بر روی آماده‌سازی فیلم‌های تک‌پلیمر انجام شده است. با این حال ترکیبی از مواد فیلم با خواص متنوع و اصلاح شده می‌تواند انتظارات مصرف‌کنندگان را تحقق بخشد.

۷- مراجع

[۱] نوذری، فریبا، اثرات فیلم و پوشش خوراکی کیتوزان، ژلاتین بر کیفیت فیلهی ماهی قزل آلای رنگین‌کمان نگهداری شده در یخچال و فریزر، پایاننامهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۳۹۱.

[۲] باقری، وحید.، ویژگی‌های فیلم‌های خوراکی بر پایه‌ی گلوتن، کربوکسی متیل سلولز حاوی نانوفیبرسلولز و عصاره‌های گیاهی و تأثیر پوشش آن بر ماندگاری گوشت، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۸.

[3] M.Lacroix and K. D. Vu, "Chapter 11 - Edible Coating and Film Materials: Proteins, in Innovations in Food Packaging (Second Edition)," J. H. Han, Editor. Academic Press: San Diego, pp. 277-304, 2014.

[4] C. V. Dhumal and P. Sarkar, "Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers," Journal of food science and technology, vol. 55(11), pp. 4369-4383, 2018.

[5] A. P. Bizymis and C. Tzia, "Edible films and coatings: Properties for the selection of the components," Evolution through composites and nanomaterials, and safety issues, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, pp.1-16, 2021.

[6] S. A. Mohamed, M. El-Sakhawy, and M. A. M. El-Sakhawy, "Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review," Carbohydrate Polymers, vol. 238, pp. 116-178, 2020.

[7] B. Hassan, S. A. S. Chatha, A. I. Hussain, K. M. Zia, and N. Akhtar, "Recent advances on polysaccharides," Lipids and protein based edible films and coatings: A review, International journal of biological macromolecules, vol. 109, pp. 1095-1107, 2018.

[8] K. S. Sandhu, L. Sharma, , M. Kaur, and R. Kaur, "Physical, structural and thermal properties of

composite edible films prepared from pearl millet starch and carrageenan gum: Process optimization using response surface methodology," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 143, pp. 704-713, 2020.

[9] D. Khodaei, K. Oltrogge, and Z. Hamidi-Esfahani, "Preparation and characterization of blended edible films manufactured using gelatin, tragacanth gum and, Persian gum," LWT, vol. 117, p. 108617, 2020.

[10] J. J. Jeevahan, M. Chandrasekaran, S. P. Venkatesan, V. Sriram, G. B. Joseph, G. Mageshwaran, and R. B Durairaj, "Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review," Trends in Food Science & Technology, vol. 100, pp. 210-222, 2020.

[11] X. Zhang, Y. Zhao, Y. Li, L. Zhu, Z. Fang, and Q. Shi, "Physicochemical, mechanical and structural properties of composite edible films based on whey protein isolate/psyllium seed gum. International Journal of Biological Macromolecules," vol. 153, pp. 892-901, 2020.

[12] M. Alizadeh, A. Ehsani, and M. Hashemi, "Whey protein isolate/cellulose nanofibre/TiO2 nanoparticle/rosemary essential oil nanocomposite film: Its effect on microbial and sensory quality of lamb meat and growth of common foodborne pathogenic bacteria during refrigeration. International Journal of Food Microbiology," vol. 251, pp. 8-14, 2017.

[13] H. Yingying, Y. Miao, and W. Lijuan, "Physical and antimicrobial properties of sodium alginate/carboxymethyl cellulose films incorporated with cinnamon essential oil," Journal of food packaging and shelf life, vol. 25, pp. 1-8, 2017.

[14] S. Khedri, E. Sadeghi, M. Rouhi, Z. Delshadian, A. M. Mortazavian, J. de Toledo Guimarães, and R. Mohammadi, "Bioactive edible films: Development and characterization of gelatin edible films incorporated with casein phosphopeptides," LWT, vol. 138, pp. 110-649, 2021.

[15] S. S. N. Chakravartula, M. Soccio, N. Lotti, F. Balestra, M. Dalla Rosa, and V. Siracusa, "Characterization of composite edible films based on pectin/alginate/whey protein concentrate. Materials," vol. 12(15), pp. 24-54, 2019.

[16] S. Rai, and A. Poonia, "Formulation and characterization of edible films from pea starch and casein," Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, vol. 8(2), pp. 317-321, 2019.

[17] L. Tavares, H. K. Souza, M. P.Gonçalves, and C. M. Rocha, "Physicochemical and microstructural properties of composite edible film obtained by complex coacervation between chitosan and whey protein isolate," Food Hydrocolloids, vol. 113, pp. 106-471, 2021.

[18] S V.iracusa, , S.Romani, , M.Gigli, , C. Mannozzi, , J. P. Cecchini, U. Tylewicz, and N. Lotti, "Characterization of active edible films based on citral essential oil," Alginate and pectin, Materials, vol. 11(10), p. 1980, 2018.

[19] P. Suppakul, R. Boonlert, W. Buaphet, P. Sonkaew, V. Luckanatinvong, "Efficacy of superior antioxidant Indian gooseberry extract incorporated edible Indian gooseberry puree/methylcellulose composite films on enhancing the shelf life of roasted cashew nut," Food Control 69, pp. 51–60, 2016.

[20] V. R. L. Oliveira, F. K. G. Santos, R. H. L. Leite E. M. M. Aroucha., Silva, Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in post-harvest conservation of guavas. Food Chem. vol .l. 259(1), pp. 55-64, 2018.

Journal of Packaging Science and Technology

Vol. 13, No. 1, Spring, 2022

A Review on the Packaging of Composite Biodegradable Plastics

Naser Sedaghat [*], Farideh Sanaei

* Professor Food Industry, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received: 2022/04/11; Accepted: 2022/05/15)

Abstract

The destructive environmental effects caused by the accumulation of plastic and non-degradable materials are one of the most important concerns in the world today. A significant amount of this waste is related to polymers used in food packaging. Therefore, in recent years, experts and practitioners of the food industry have sought to find suitable biodegradable alternatives for synthetic polymers. The purpose of this article is to review composite biodegradable plastics in food and applied studies in this field.

Keywords: Biodegradable Plastics, Packaging, Composite

*Corresponding Author E-mail: sedaghat@um.ac.ir