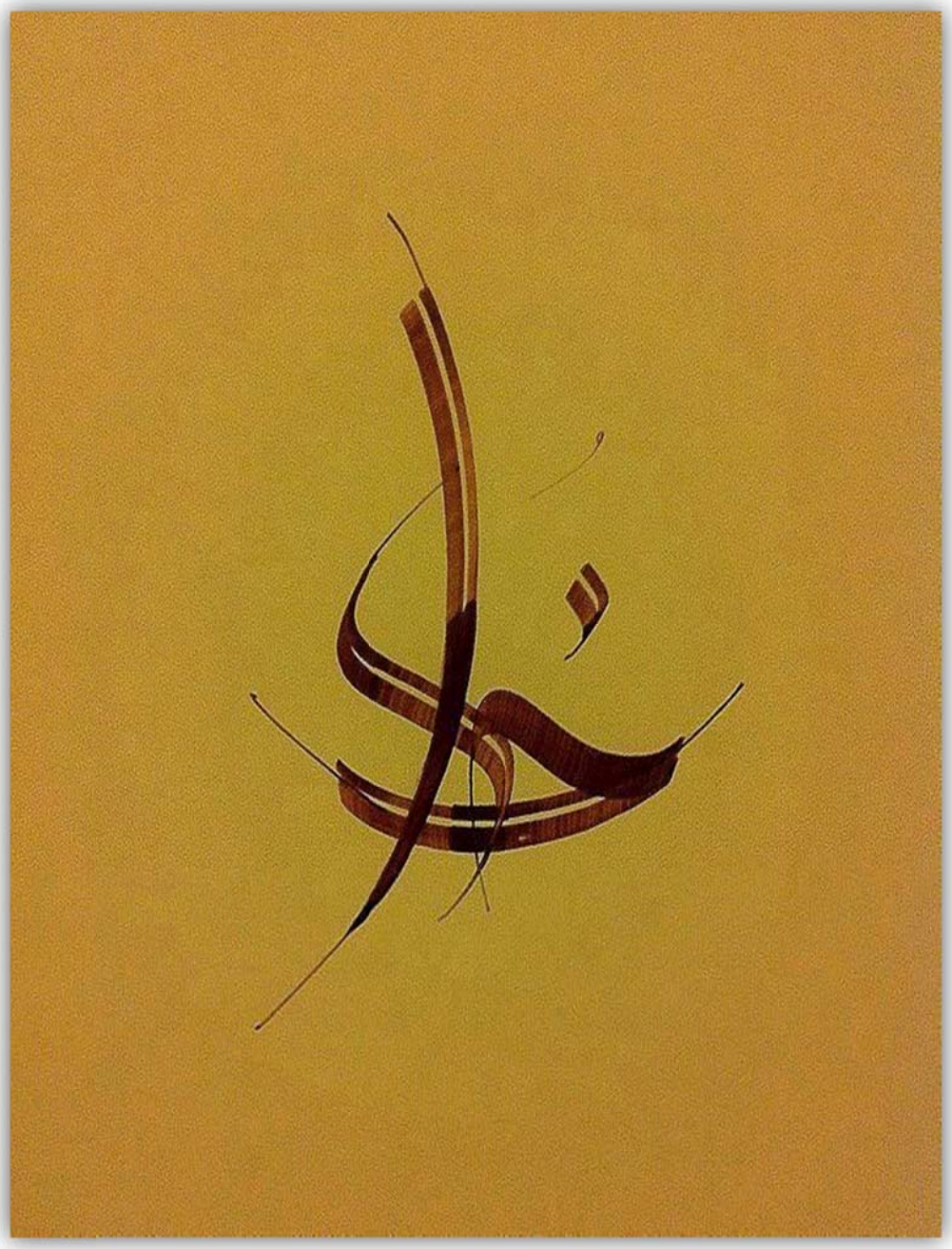

دانشکده صنایع غذایی

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته
مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی

بررسی اثرات نانو رس و کاپاکاراگینان بر خواص فیزیکوشیمیایی و پارامترهای معادله جذب هم‌دمای GAB فیلم‌های ژلاتین ماهی سردآبی

پژوهش و نگارش:
رامین هاشمی طباطبایی

استاتید راهنما:
دکتر حبیب الله میرزایی
دکتر عبدالرضا محمدی نافچی

استاد مشاور:
دکتر سیدمهدی جعفری

تابستان ۱۳۹۲

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود؛ بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱- قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را قبلا به طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.
۲- قبل از چاپ پایان نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد، ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.
۳- انتشار نتایج پایان نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **رامین هاشمی طباطبایی** دانشجوی رشته **مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی و امضاء

این دفتر که اولین ثمره کوچک دستانم می باشد، یادمانی است از بهترین سال های زندگی ام.

اگر آن را قربی باشد شایسته تقدیم است به بی بدیل ترین گنجینه های هستی ام

پدر بزرگوارم

و

مادر مهربانم

تشکر و قدردانی

سپاس بی کران یگانه خالقم را که مرا به رفیع ترین روشنایی ها هدایت نمود و راهم را به نور همیشه فروزان دانش روشن ساخت.

در مسیری که برگزیدم همسفرانی راهبرم بودند که حضورشان همچون ستارگانی پر نور، فروزنده راهم بوده و از این رو بر خود واجب می دانم مراتب بی پایان سپاس و تقدیر را نثارشان نمایم:

از اساتید راهنمای محترم و بزرگوارم جناب آقایان **دکتر میرزایی** و **دکتر محمدی** که هدایت ها و رهنمودهای ارزنده شان در طی انجام پایان نامه و در طول دوره تحصیل، چراغی شد فرارویم که تا پایان راه روشنگر لحظه هایم باشد، کمال سپاس و امتنان را دارم و برای ایشان آرزوی سلامتی و موفقیت روز افزون می نمایم.

تقدیر و سپاس فراوان نثار استاد مشاور مهربانم، جناب آقای **دکتر جعفری** که الفبای پژوهش را به من آموختند و راه پژوهش را بر من هموار نمودند.

از داور گرامی جناب آقای **دکتر مقصودلو** که با حضورشان بر کار من ارج نهادند و زحمت باز خوانی این پایان نامه را به عهده گرفتند، صمیمانه سپاسگزارم.

از دوستان عزیزم آقایان حسینی، صادقی، اکبریان و خانم ها طباطبایی، رئیسی و اخوان که با کمک های صمیمانه و بی دریغشان موجبات دلگرمی مرا در انجام این پایان نامه فراهم نمودند کمال سپاس و قدردانی را دارم.

چکیده

استفاده از فیلم‌های خوراکی زیست تخریب‌پذیر برای پوشش دادن، نگهداری بهتر و افزایش جذابیت ظاهری محصولات غذایی، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این پژوهش بررسی اثرات نانورس و کاپاکاراگینان بر روی خواص فیزیکوشیمیایی، مکانیکی، نمودار جذب تعادلی، نفوذپذیری نسبت به بخار آب و اکسیژن فیلم‌های ژلاتین ماهی سردآبی می‌باشد. در این پژوهش فیلم‌هایی از ژلاتین ماهی سردآبی و کاپاکاراگینان (۰/۵٪) و نانو رس با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد) با استفاده از روش کاستینگ[1] تهیه شد. مدل‌های جذب تعادلی چند جمله‌ای (مرتبه سوم) و مدل ۳ پارامتری جذب تعادلی GAB در داده‌های تجربی براز گردید. آزمون مکانیکی فیلم‌های بایونانوکامپوزیت، افزایش استحکام کششی و کاهش درصد کشیدگی را به دلیل افزایش غلظت نانوذرات نشان داد. خواص فیزیکوشیمیایی از قبیل میزان حلالیت در آب، نفوذ پذیری به بخار آب و اکسیژن، با افزایش میزان نانوذرات کاهش معنی‌داری (p <۰/۰۵) را نشان داد. همچنین طیف uv-visible نشان داد که بین فیلم ژلاتین ماهی سردآبی و کاپاکاراگینان ترکیب شده با نانو ذرات و فیلم کنترل در خواص جذب و عبور در ناحیه فرابنفش تفاوت وجود دارد. نمودارهای FTIR[2] نشان داد که تعاملات انجام شده تماماً فیزیکی بوده و واکنش شیمیایی رخ نداده است. با بررسی ایزوترم‌های جذب فیلم‌های ترکیبی حاصل مشخص شد که مقدار رطوبت آب تک لایه کاهش یافته و نمودار به سمت پایین جا به جا شده است و این حاکی از آن است که ذرات نانو رس، توانایی کاهش میزان آب‌دوستی فیلم‌های ژلاتینی را دارند. به طور کلی با توجه به بررسی‌های انجام شده نانو رس توانایی بهبود خواص اساسی فیلم‌های ژلاتین ماهی سردآبی را دارا می‌باشد که می‌توان از آن به عنوان پوشش خوراکی برای بسته‌بندی مواد غذایی و محصولات کشاورزی استفاده نمود.

کلمات کلیدی: فیلم زیست تخریب‌پذیر، ژلاتین ماهی سردآبی، کاپاکاراگینان، نانو رس، معادله جذب هم‌دمای GAB

1- Solvent Casting
2- Fourier transform infrared

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱- بسته‌بندی ۲
۱-۲- فیلم‌ها و پوشش‌های بسته‌بندی ۵
۱-۲-۱- فیلم‌ها و پوشش‌های زیست تخریب‌پذیر ٦
۱-۲-۲- بسته‌بندی فعال ۱۰
۱-۲-۳- بسته‌بندی ترکیبی ۱۱
۱-۲-۳-۱- کامپوزیت ۱۱
۱-۲-۳-۲- نانوکامپوزیت ۱۲
۱-۲-۳-۳- بایونانوکامپوزیت ۱٤
۱-۳- ژلاتین ۱۵
۱-٤- نانو دی‌اکسید سیلیس ۱۷
۱-۵- نانورس ۱۹
۱-٦- نرم‌کننده ۲۲
۱-۷- فرضیه‌ها ۲۳
۱-۸- اهداف ۲۳

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- فیلم‌های ژلاتینی ۲٦
۲-۱-۱- فیلم‌های بر پایه ژلاتین ماهی ۲۷
۲-۱-۲- اثر ویژگی‌های ژلاتین بر خصوصیات فیلم ۲۸
۲-۱-۳- ترکیب ژلاتین ماهی و دیگر پلیمرهای زیستی ۳۱
۲-۱-٤- ترکیب ژلاتین ماهی و ترکیبات آنتی اکسیدانی و ضدمیکروبی ۳۵
۲-۲- اثر نانورس بر خصوصیات فیلم ۳۹
۲-۳- نرم کننده‌ها ٤۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲-۳-۱- مقایسه نرم کننده‌های مورد استفاده ٤١
۲-٤- ارزیابی خواص فیلم‌های خوراکی ٤٢
۲-٤-۱- خواص ممانعتی (عبور دهی گازها) ٤٢
۲-٤-۲- خواص مکانیکی ٤٤
۲-٥- نمودارهای ایزوترم جذب تعادلی ٤٥
۲-٦- جمع‌بندی بررسی منابع ٤٧

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مواد ٥٠
۳-۲- روش تهیه فیلم‌های نانوبایوکامپوزیتی ٥١
۳-۳- ضخامت فیلم ٥٢
۳-٤- آنالیز فیلم ٥٢
۳-٤-۱- ویژگی‌های مکانیکی ٥٢
۳-٤-۲- اندازه‌گیری تغییرات رنگ ٥٤
۳-٤-۳- نفوذپذیری بخار آب ٥٦
۳-٤-٤- بررسی تعامل مواد شیمیایی ٥٦
۳-٤-٥- حلالیت فیلم‌ها ٥٧
۳-٤-٦- ظرفیت جذب آب ٥٧
۳-٤-۷- ایزوترم جذب ٥٧
۳-٤-۸- اشعه مرئی- فرابنفش ٥٨
۳-٤-۹- نفوذپذیری به اکسیژن ٥٨
۳-٥- نمودار فرآیند پژوهش ٥٩
۳-٦- تجزیه و تحلیل آماری ٦٠

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل چهارم: نتایج و بحث

٤-١- بررسی اثر نانو ذرات بر خواص ظاهری فیلم‌های ترکیبی ٦٢

٤-٢- بررسی اثر نانوذرات بر ضخامت فیلم‌های ترکیبی ٦٢

٤-٣- بررسی اثر نانوذرات بر خواص فیزیکوشیمیایی فیلم‌های ترکیبی ٦٣

٤-٣-١- حلالیت در آب ٦٣

٤-٣-٢- جستجوی پیوند با روش FTIR ٦٥

٤-٣-٣- بررسی میزان عبور و جذب نور در ناحیه مرئی و ماوراء بنفش ٦٥

٤-٣-٤- نمودارهای جذب تعادلی ٦٩

٤-٣-٤-١- مدل جذب تعادلی چند جمله‌ای ٦٩

٤-٣-٤-٢- مدل جذب تعادلی GAB ٧٢

٤-٣-٥- مشخصه‌های رنگی ٧٣

٤-٤- بررسی اثر نانوذرات بر نفوذپذیری فیلم‌های ترکیبی ژلاتین/کاپاکاراگینان و نانوذرات ٧٤

٤-٤-١- نفوذپذیری نسبت به بخار آب ٧٤

٤-٤-٢- نفوذپذیری نسبت به اکسیژن ٧٦

٤-٥- بررسی اثر نانوذرات بر خواص مکانیکی فیلم‌های ترکیبی ٧٨

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

٥-١- نتیجه‌گیری ٨٢

٥-٢- پیشنهادات پژوهشی ٨٢

٥-٣- پیشنهادات اجرایی ٨٣

منابع ٨٦

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی عنصر سیلیسیم ۱۹
جدول ٤-۱- میانگین ضخامت فیلم‌های شاهد و نمونه‌های حاوی نانوذرات ٦۳
جدول ٤-۲- پارامترهای معادله GAB برای فیلم‌های ترکیبی حاوی نانوذرات ۷۳
جدول ٤-۳- پارامترهای رنگ سنجی از فیلم‌های ترکیبی با غلظت‌های مختلف نانوذرات ۷٤
جدول ٤-٤- اثر نانوذرات بر نفوذپذیری فیلم‌های ترکیبی نسبت به اکسیژن و بخار آب ۷۷
جدول ٤-۵- اثر نانوذرات بر خواص مکانیکی فیلم‌های ترکیبی ۷۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- ساختار ۲:۱ سلیکات لایه لایه ۲۱
شکل ۳-۱- تصویر ESEM نانو دی‌اکسید سیلیکون..... ۵۰
شکل ۳-۲- تصویر ESEM نانوخاک رس ۵۱
شکل ۳-۳- فضای نرم‌افزار ImageJ..... ٥٤
شکل ۳-٤- پلاگین مورد استفاده برای تبدیل فضای رنگی RGB به Lab ۵۵
شکل ۳-۵- ماکرو استفاده شده در آنالیز رنگ با استفاده از نرم‌افزار ImageJ..... ۵۵
شکل ۳-٦- نمودار فرآیند پژوهش..... ۵۹
شکل ٤-۱- فیلم‌های ترکیبی ژلاتین/ کاپاکاراگینان با نانوذرات در هنگام خشک شدن ٦۲
شکل ٤-۲- نمودار درصد حلالیت فیلم‌های ژلاتین/کاپاکاراگینان با درصدهای متفاوت نانوذرات ٦٤
شکل ٤-۳- طیف FTIR فیلم‌های ترکیبی حاوی ۰، ۰/۵ و ۱ درصد نانو خاک رس..... ٦۵
شکل ٤-٤- میزان جذب نور فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی دی‌اکسید سیلیس ٦۷
شکل ٤-۵- درصد عبور نور فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی دی‌اکسید سیلیس..... ٦۸
شکل ٤-٦- میزان جذب نور فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی خاک رس..... ٦۸
شکل ٤-۷- درصد عبور نور فیلم‌های بایونانوکامپوزیتی خاک رس ٦۹
شکل ٤-۸- مدل جذب تعادلی چند جمله‌ای (مرتبه ۳) برای فیلم‌های ترکیبی کاپاکاراگینان در مقایسه با فیلم ژلاتین ماهی ۷۰
شکل ٤-۹- مدل جذب تعادلی چند جمله‌ای (مرتبه ۳) برای فیلم‌های ترکیبی کاپاکاراگینان در مقایسه با بایونانوکامپوزیت محتوی ۳ سطح نانو خاک رس..... ۷۱
شکل ٤-۱۰- مدل جذب تعادلی چند جمله‌ای (مرتبه ۳) برای فیلم‌های ترکیبی کاپاکاراگینان در مقایسه با بایونانوکامپوزیت محتوی ۳ سطح نانو دی‌اکسید سیلیس..... ۷۲
شکل ٤-۱۱- نمودار نفوذپذیری به بخار فیلم ژلاتین/کاپاکاراگینان با درصدهای متفاوت نانوذرات ۷۵

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- بسته‌بندی

بسته‌بندی پوششی است که سلامت کالای محتوی خود را پس ازتولید تا مرحله مصرف حفظ می‌نماید و با ایجاد یک مانع فیزیکی بین محصولات غذایی و محیط خارج بهداشت محصول را تضمین می‌کند و عمر کالای فاسد شونده را افزایش می‌دهد. درسال‌های اخیر به علت افزایش مصرف پلاستیک‌ها و با توجه به طول عمر بالای آن‌ها و تقریبا زیست تخریب‌پذیر نبودن آن‌ها، سنتز پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر افزایش یافته است (قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

در بسته‌بندی مواد غذایی از مواد مختلفی نظیر شیشه، پلاستیک‌های سخت و نیمه سخت، فلزات سخت (قوطی‌ها) استفاده می‌شود این مواد در اکثر موارد توسط مصرف کننده دور ریخته می‌شوند (دارائی و همکاران، ۱۳۸۸). مواد بسته‌بندی پلیمری که کاربرد گسترده‌ای در صنعت بسته‌بندی دارند، غیرقابل تجزیه و غیر قابل برگشت به محیط زیست هستند و به همین دلیل، از مهمترین آلاینده‌های طبیعت محسوب می‌شوند (ایران منش، ۱۳۸۷). از ویژگی‌های مطلوب برای هر بسته‌بندی، بازیافت آسان آن و ایجاد کمترین خسارت به محیط زیست است. هرساله بالغ بر چند میلیون تن ضایعات پلاستیکی از جمله کیسه‌ها، پاکت‌های پلاستیکی و مواد بسته‌بندی وارد محیط زیست می‌گردد و به علت عدم بازگشت به چرخه زیست محیطی باعث ایجاد مشکلات فراوان برای محیط زیست می‌شوند. تولید فیلم‌های تجزیه‌پذیر طبیعی وجایگزین نمودن آنها به جای پلاستیک‌های سنتزی راه‌حلی برای به حداقل رساندن آثار نامطلوب و زیان‌آور زباله‌های حاصل از مواد سنتزی است (دارائی وهمکاران، ۱۳۸۸). در قرن نوزدهم پیشگامانی همچون نیکلاس آپر، لوئیس پاستور ایده‌های مربوط به صنعت بسته‌بندی مواد غذایی و محافظت از مواد غذایی را ابداع کردند. ایده‌هایی که حتی تا به امروز در این صنعت مطرح هستند. اما اختراعاتی مثل ساخت بطری‌های شیشه‌ای، پوشش سلفون، فویل آلومینیومی و ظروف پلاستیکی که در قرن بیستم روی داد به شکل چشم‌گیری، انعطاف‌پذیری صنعت مواد غذایی را بالاتر برد و آن را کاربردی‌تر کرد. پیشرفت‌های دیگری نظیر استفاده از مواد ضدمیکروبی یا جاذب اکسیژن در ساخت ظروف مواد غذایی موجب شکل‌گیری رویه جدیدی در افزایش ماندگاری مواد غذایی و حفاظت آنها در برابر تأثیرات محیطی شد. با این حال روند فعلی عرضه محصولات غذایی در سطح جهان مثل افزایش فرآوری صنعتی غذاها، حجم بالای صادرات و واردات محصولات غذایی و کوتاه‌تر شدن زمان تهیه مواد غذایی تازه، صنعت بسته‌بندی محصولات

غذایی را وادار می‌کند به دنبال راهکارهای جدیدتر و پیشرفته‌تر بسته‌بندی باشد. زمانی حفاظت و افزایش طول عمر مواد غذایی هدف اصلی صنعت بسته‌بندی این محصولات بود اما هم اکنون سهولت در کاربرد و آسانی مصرف هم به همان اندازه اهمیت یافته است. در این عرصه اهمیت عوامل دیگری همچون امکان ردیابی، تجهیز به نشان‌گرهای الکترونیکی و با دوام بودن نیز رو به افزایش است. بسیاری از پیشرفت‌های جدید صنعت بسته‌بندی مواد غذایی پاسخگوی این نیازها است. بسته‌بندی هوشمند و فعال مواد غذایی علاوه بر به تأخیر انداختن عوامل محیطی مؤثر بر مواد غذایی، روشی پویاتر را برای حفظ نگهداری محصول به کار می‌گیرد. به عنوان مثال دو مقوله مهم در حفظ کیفیت ماده غذایی بسته‌بندی شده، کنترل میزان رطوبت و اکسیژن است. وجود اکسیژن در ظرف حاوی ماده غذایی موجب رشد میکروب‌های هوازی و کپک‌های قارچی می‌شود. به علاوه فعالیت‌های اکسیدی درون ظرف باعث ایجاد طعم و بوی ناخواسته و تغییر در رنگ و خصوصیات تغذیه‌ای ماده غذایی می‌شوند. به همین ترتیب وجود رطوبت در ظرف محتوی ماده غذایی ممکن است باعث ایجاد کلوخه در محصولات پودری شکل یا نرم شدن مواد غذایی ترد شود. به علاوه وجود رطوبت به رشد میکروب کمک می‌کند. از سوی دیگر، خشکی بیش از حد فضای درون ظرف نیز باعث کم آب شدن ماده غذایی می‌شود. در بسته‌بندی فعال ظروف، شامل موادی هستند که این معضلات را برطرف می‌کند. برخی از مهیج‌ترین پیشرفت‌های حاصل شده در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی مرتبط با فناوری نانو است. فناوری نانو که علم مطالعه نانوذره‌ها است، تأثیر بزرگی بر مواد مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی داشته است. با بهره گرفتن از ابداعاتی که در مقیاس نانو صورت می‌گیرد می‌توان به ایده‌های جدیدی در خواص فنی و قابلیت ممانعت کنندگی ظروف، ایده‌های جدید در تشخیص عوامل بیماری‌زا و راهکارهای جدید بسته‌بندی فعال و هوشمند دست یافت. نانوکامپوزیت‌ها در رأس ابداعات فن‌آوری نانو مرتبط با صنعت بسته‌بندی مواد غذایی قرار دارند. نانوکامپوزیت‌ها موادی هستند که از ترکیب نانوذره‌ها ساخته می‌شوند. فیلم‌های پلاستیکی نانوکامپوزیتی این قابلیت را دارند که از نفوذ اکسیژن، دی‌اکسید کربن و رطوبت به داخل ظرف جلوگیری کنند. به این ترتیب ظروفی که در ساختار آنها از فیلم‌های نانوکامپوزیت استفاده شده است، باعث افزایش ماندگاری ماده غذایی می‌شوند. ظروف نانوکامپوزیت سبک، محکم و مقاوم به حرارت هستند. علاوه بر این تحقیقاتی در زمینه ساخت ظروف با استفاده از مواد نانوکامپوزیت زیست تجزیه‌پذیر درحال انجام است. با این که استفاده از نانوکامپوزیت‌ها در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی تضمین کننده سطح بالای ممانعت

کنندگی ظرف است، نوع دیگری از مواد نانو توانایی بالایی در کنترل رشد میکروب‌ها دارد. محققان دریافته‌اند که نانو لوله‌های کربنی خاصیت ضد میکروبی قدرتمندی از خود نشان می‌دهند ثابت شده است تماس مستقیم با توده نانو لوله‌های کربنی برای باکتری روده‌ای اشرشیا کلی کشنده است. اساس علمی این موضوع مبتنی بر این واقعیت است که ساختار نازک و میله‌ای شکل این نانو لوله‌های منجر به سوراخ کردن سلول باکتری شده و به آن آسیب می‌زند.

بسته یا پوشش غذا نقش منحصر به فردی در سلامت غذا و در نتیجه مصرف‌کننده ایفا می‌کند. مسلم است که بیشتر فرآورده‌های غذایی با نوعی روش بسته‌بندی به مصرف‌کننده می‌رسد و در نتیجه بسته‌بندی بخش مهمی در زنجیره غذایی می‌باشد (کیم بی و همکاران، ۲۰۰۳). اما مواد بسته‌بندی قدیمی که از مواد نفتی مشتق شده بودند هیچ یک زیست تخریب‌پذیر[1] نبوده و از لحاظ زیست‌محیطی قابل تحمل نیستند و خطرات سلامتی را تحمیل می‌کنند. به عنوان مثال می‌توان به مهاجرت افزودنی‌های مضر به غذا اشاره کرد. زیست تخریب‌پذیری مواد پلاستیکی سنتزی حاصل از مشتقات نفتی بسیار کند بوده و تجزیه کامل آنها چندین سال به طول می‌انجامد و این امر باعث افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی 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 را 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.

با وجود مزایای مسلم زیست محیطی و پایداری پلیمرهای زیستی، این قیمت رو به رشد نفت خام و گاز طبیعی است که عامل محرکه برای سرمایه گذاری اقتصادی در این زمینه است. این موضوع و دو عامل محرکه تلاش برای بازیافت بیشتر ضایعات و همچنین ثبات محیط زیست و مدیریت کشاورزی این ضرورت را ایجاد می‌کند که تغییری به سمت پلاستیک‌های زیستی صورت گیرد.

امروزه به لحاظ مشکلات زیست‌محیطی بسیاری از مواد بسته‌بندی، توجه ویژه‌ای به پلیمرهای زیستی و تجزیه‌پذیر به منظور توسعه مواد بسته‌بندی غذایی زیست تخریب‌پذیر معطوف شده است. از طرفی استفاده از محصولات جانبی[2] کشاورزی و صنعت غذایی به منظور توسعه مواد زیست تخریب‌پذیر برای جایگزینی پلیمرهای بر پایه نفت در کاربردهای بسته‌بندی علاقه‌مندی روبه رشدی را

[1] Biodegradable
[2] By-products

در پی داشته است. استفاده از فیلم‌هایی با منشأ طبیعی(نشاسته، پروتئین و ...) به دلیل پتانسیل این مواد در جایگزینی پلیمرهای رایج در بسته‌بندی موادغذایی و به علت مقاومت آن‌ها در برابر نفوذ گازها، رطوبت و مواد محلول از دهه قبل رایج شده است.

هدف اصلی از بسته‌بندی مواد غذایی از نظر تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان این است که ضایعات یا به عبارتی میزان زباله را کاهش دهند. برای این منظور می‌توان روش‌های نوینی را در سیستم بسته‌بندی ارائه نمود. جایگزین کردن سیستم‌های جدید بسته‌بندی می‌تواند برای کلیه مصرف‌کنندگان و حتی تولیدکنندگان مهم‌ترین هدف به شمار آید. به طور کلی آثار بسته‌بندی در محیط زیست را می‌توان به دو گروه تقسیم نمود:

۱) بسته‌بندی از دیدگاه محیط زیست و اقتصادی که شامل جمع‌آوری و استفاده مجدد از ضایعات، صرفه‌جویی در مواد خام و انرژی و به عبارتی تولید انرژی با سوزاندن زباله و تخریب کامل ضایعات ظروف غیر قابل بازیافت است .

۲) بسته‌بندی به عنوان آلاینده‌های محیط زیست (مواد اولیه مصرفی)، در حال حاضر افزون بر ۶۰۰ نوع قوطی در اندازه‌ها، اشکال و انواع مختلف وجود دارد که برای بسته‌بندی ۲۵۰۰ نوع محصول مختلف به کار می‌رود. برای حفاظت در برابر خوردگی قوطی‌های فلزی، از انواع مرکب، چاپ و لاک استفاده می‌شود که همه غیر قابل بازیافتند. پلاستیک‌ها با منشا مواد نفتی مثل پلی‌اولفین‌ها، پلی‌استرها، پلی‌آمیدها به علت در دسترس بودن در مقادیر زیاد و قیمت پایین و خصوصیات کاربردی مطلوب به طور گسترده‌ای به عنوان مواد بسته‌بندی به کار می‌روند. اما چنین ترکیباتی کاملا زیست تخریب‌ناپذیرند و منجر به آلودگی زیست‌محیطی می‌شوند. بنابراین استفاده از آن‌ها در هر شکل و نوعی باید محدود و حتی به تدریج به واسطه مشکلات دفع مواد زائد ممنوع گردد (قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

۱-۲- فیلم‌ها و پوشش‌های بسته‌بندی

فیلم یا پوشش به عنوان لایه‌ای یکپارچه و نازک از ترکیبات پلیمری مختلف، بر روی موادغذایی قرار داده می‌شود. ساختار اصلی آن‌ها بر پایه پلیمرهای طبیعی یا سنتزی با خواص ویژه هستند. عملکرد آن‌ها، ایجاد یک سد در مقابل انتقال مواد (آب، گاز و چربی)، حفظ و انتقال اجزاء مواد

غذایی، افزودنی‌ها، رنگ‌ها، طعم دهنده‌ها، جلوگیری از رشد ریز سازواره‌ها در سطوح مواد غذایی و نیز حفاظت مکانیکی آن‌ها می‌باشد. خواص کاربردی فیلم‌ها به میزان زیادی متاثر از علل‌هایی مانند فرمولاسیون، تکنولوژی تهیه فیلم، ویژگی‌های حلال و افزودنی‌ها است (ایران منش، ۱۳۸۷).

برخی از مزایای تولید فیلم‌ها و پوشش‌های بسته‌بندی عبارتند از:

۱) کاهش مهاجرت اکسیژن، مواد مولد عطر و طعم، چربی و رطوبت

۲)بهبود بخشیدن به کیفیت ظاهری غذا

۳)تجزیه‌پذیر بودن

٤)کاهش نیاز به استفاده از مواد بسته‌بندی سنتزی

۱-۲-۱- فیلم‌ها و پوشش‌های زیست تخریب‌پذیر

بشر مدت‌های طولانی است که بایوپلیمرها را برای افزایش زمان ماندگاری فرآورده غذایی تازه و محافظت از اثرات نامطلوب محیطی استفاده می‌کند (ایده اولیه استفاده از پوشش‌های خوراکی از پوشش‌های طبیعی که روی سطح میوه قرار دارد گرفته شده است). در قرن ۱۲ و ۱۳ میلادی در چین، جهت کاهش از دست دادن رطوبت، پرتقال و لیمو را در واکس فرو می‌بردند گر چه این پوشش‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای در کاهش آب مؤثر بودند اما به همان میزان، به دلیل مهار نسبتا بالای تبادلات گازهای تنفسی باعث تخمیر می‌شدند. پوشاندن غذا با چربی که به لاردینگ موسوم است در قرن ١٦ در انگلستان استفاده می‌شد، نشان داده شده است که این روش، کاهش رطوبت محصول را کند می‌کند. در سال ۱۸۰۰ میلادی جهت به تاخیر انداختن پلاسیدگی میوه‌ها و سبزیجات، آنها را با موم پوشش می‌دادند، این پوشش‌ها، سرعت اتلاف آب را به میزان زیادی کاهش داده و از تبادل گاز تنفسی نیز ممانعت می‌کردند. هاوارد و هارمونی اولین بار در سال ١٨٦٩ و موریس و پارکر در سال ۱۸۹۵ از فیلم‌های خوراکی در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده کردند. آنها از فیلم‌های ژلاتینی برای نگهداری گوشت استفاده نمودند. از سال ۱۹۳۰ استفاده از موم‌های پارافینه مذاب، برای پوشش دادن مرکبات متداول شد. در اواخر دهه ۱۹۵۰ امولسیون‌های روغن در آب کارنوبا، جهت پوشش دادن میوه‌ها و سبزی‌ها به کار رفت. امروزه پوشش‌های خوراکی در کاربردهای مختلفی، از جمله پوشش‌هایی برای سوسیس‌ها، پوشش‌های شکلاتی برای دانه‌ها و میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده می‌شود. در حال حاضر

تحقیقات گسترده‌ای برای استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی در صنایع غذایی و دارویی صورت می‌گیرد که موجب بهبود کیفیت و افزایش کاربردهای آنها شده و خواهد شد (لی و همکاران، ۲۰۰٤).

امروزه آلودگی‌های ناشی از پلیمرهای سنتزی، توجه همگان را به استفاده از مواد زیست تخریب‌پذیر معطوف کرده است و در طی دو دهه اخیر مطالعه بر روی مواد زیست تخریب‌پذیر حاصل از پروتئین‌ها و کربوهیدارت‌ها گسترش وسیعی یافته است. این ماکرومولکول‌ها به طور بالقوه می‌توانند جایگزینی مناسب برای پلیمرهای سنتزی حاصل از مشتقات نفتی به شمار روند. بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر که قابلیت خوراکی بودن و مصرف به همراه ماده غذایی را دارند به دو دسته فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی تقسیم می‌شوند. فیلم‌های خوراکی قبل از کاربرد در بسته‌بندی ماده غذایی به صورت لایه‌ای نازک تولید می‌شوند و بعد همانند پلیمرهای سنتزی برای بسته‌بندی به کار می‌روند. فیلم پوششی یکنواخت و یکپارچه با ضخامت کمتر از ۰/۰۱ اینچ است. فیلم‌ها می‌توانند به شکل لفاف، کپسول و کیسه تولید شوند که این محصولات با ضخامت مشخصی قالب‌گیری می‌شوند. پوشش‌های خوراکی بر خلاف فیلم‌ها بر روی ماده غذایی تشکیل می‌شوند. بنابراین پوشش به عنوان بخشی از محصول بوده و موقع استفاده روی محصول باقی می‌ماند. این کار توسط روش‌هایی نظیر واکس زدن، اسپری کردن و غوطه ور کردن صورت می‌گیرد. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی در مقایسه با پلیمرهای سنتی دارای مزایای منحصر به‌فردی می‌باشند. زیست تخریب‌پذیری، بازدارندگی خوب از تبادل گازهای تنفسی CO_2 و O_2 و در نتیجه کنترل تنفس میوه‌ها و سبزی‌ها، بازندارندگی از انتقال و تبادل ترکیبات بودار و طعم‌دار و همچنین حفاظت محصول در مقابل صدمات مکانیکی از جمله مهمترین مزایای فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی می‌باشند. زمان ماندگاری مواد غذایی از طریق برهم کنش‌های متعدد آنها با محیط اطراف کنترل شده و با استفاده از فیلم‌های محافظ افزایش می‌یابد. فیلم‌های خوراکی می‌توانند با ایفای نقش با عنوان غشاهای انتخابی در برابر انتقال رطوبت، انتقال اکسیژن، اکسیداسیون لیپیدها و از دست رفتن ترکیبات فرار مؤثر در بو و طعم، زمان ماندگاری و کیفیت ماده غذایی را بهبود بخشند. یکی دیگر از مزایای فیلم‌ها این است که می‌توانند به عنوان حامل برای افزودنی‌ها و ترکیبات مختلف مانند مواد ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدان‌ها و غیره عمل کنند که در این حالت به آنها بسته‌بندی فعال گفته می‌شود (قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر که قابلیت خوراکی بودن و مصرف به همراه ماده غذایی را دارند شامل فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی می‌باشند. فیلم‌های خوراکی لایه‌هایی از مواد قابل هضم

هستند که به عنوان پوشش مواد غذایی (پوشش‌های خوراکی) و یا به عنوان مانعی بین غذا و سایر مواد و یا محیط‌ها استفاده می‌شوند. پوشش‌های خوراکی قابل تجزیه هستند و به وسیله میکروارگانیسم‌ها مصرف شده و به ترکیبات ساده تبدیل می‌شوند. پلی‌ساکاریدهایی مانند کیتوزان، نشاسته و سلولز، پروتئین‌هایی مانند زئین و کلاژن و چربی‌هایی مانند تری‌گلیسیریدها و اسیدهای چرب می‌توانند به عنوان فلیم‌های خوراکی استفاده شوند. فیلم‌های پلی‌ساکاریدی قیمت پایینی دارند اما مانع مناسبی در برابر نفوذ رطوبت نیستند. فیلم‌های پروتئینی دارای قابلیت‌های مفیدی مثل شکل پذیری در فرآیند، خاصیت ارتجاعی و ممانعت خوب در برابر نفوذ اکسیژن دارند (نظیر پلی‌ساکاریدها) اما عبورناپذیری آنها در برابر نفوذ آب ضعیف است، مانند پلی‌ساکاریدها. فیلم‌های چربی خواص نفوذناپذیری خوبی در برابر رطوبت دارند، اما مقاومت آنها در برابر عبور اکسیژن و خصوصیات مکانیکی آنها ضعیف است. اکسیژن بالا در بسته‌بندی غذا به رشد میکروب، حذف طعم و بوی ایجاد شده، تغییر رنگ و از بین رفتن غذا کمک می‌کند و علت عمده کاهش زمان نگهداری غذاها به شمار می‌رود. بنابراین کنترل سطح اکسیژن در بسته‌بندی غذا امری مهم تلقی می‌شود. بخار آب تشکیل شده در داخل بسته‌بندی باعث رشد میکرواگانیسم‌ها و در نتیجه از بین رفتن کیفیت غذا و کاهش زمان ماندگاری می‌گردد. یکی از راه‌های رفع این نقایص در فیلم‌های پلیمری زیستی ایجاد ترکیب‌هایی از آنها با نانو ذرات است که موجب تحقیق و توسعه نانو کامپوزیت‌های زیستی شده است. استفاده از نانو تکنولوژی دراین پلیمرها ممکن است امکانات جدیدی را برای بهبود نه تنها ویژگی‌ها بلکه به طور همزمان بهبود ارزش، قیمت و راندمان را سبب شود. اندازه نانو ذرات موجب پراکندگی و توزیع خوب آنها می‌شود. این نانوکامپوزیت‌ها می‌توانند به طور قابل توجهی ویژگی‌های مکانیکی، حرارتی، ممانعتی و فیزیکوشیمیایی بهبود یافته‌ای در مقایسه با پلیمرهای اولیه و کامپوزیت‌های میکرو سایز مرسوم نشان دهند. رشد میکروب‌ها روی سطح مواد غذایی دلیل اصلی فساد مواد غذایی و بیماری‌زایی در مصرف کننده می‌باشد. به این دلیل تلاش‌های زیادی برای تیمار این سطوح به روش‌های گوناگون مانند اسپری یا غوطه ور کردن در مواد نگهدارنده مختلف صورت گرفته است. فیلم‌های خوراکی به تنهایی و یا همراه با مواد ضد میکروبی، موجب مهار رشد باکتری‌ها در سطح مواد غذایی و در نتیجه فساد آنها می‌شوند. فناوری نانو می‌تواند در مواردی مانند افزایش مقاومت به نفوذ در پوشش‌ها، افزایش ویژگی‌های ممانعتی، افزایش مقاومت در برابر گرما، گسترش ضد میکروب‌های فعال و سطوح ضدقارچ کارساز باشد (الحسن و همکاران، ۲۰۱۲). گروه تحقیقاتی دانشگاه انگلیسی

لیدز دریافتند که نانوذرات اکسید روی و اکسید منیزیم باعث از بین بردن میکروارگانیسم‌ها می‌شوند که می‌توانند کاربرد زیادی در بسته بندی مواد غذایی داشته باشند. این شیوه می‌تواند افزودن مقدار زیاد ضدمیکروب‌ها به درون توده غذا را کاهش دهد. آزاد شدن کنترل شده ضد میکروب‌ها به سطح غذا امتیازات زیادی نسبت به روش‌های دیگر مانند فروبری و اسپری کردن دارد (محمدی نافچی و همکاران، ۲۰۱۲). در این دو فرآیند اخیر ماده ضدمیکروبی به سرعت از سطح ماده غذایی به داخل آن نفوذ می‌کند (منتشر می‌شود) و در نتیجه خاصیت ضدمیکروبی در سطح کاهش می‌یابد. مواد ضدمیکروبی باقی مانده، در تماس با مواد فعال موجود در سطح خنثی می‌شوند و میکروب‌های آسیب دیده ممکن است دوباره فعال گردند. برای مثال ثابت شده است که امولسیفایرها و اسیدهای چرب با نایسین واکنش داده و خواص آن را کاهش می‌دهند.

علاوه بر هدف ارائه اطّلاعات به مشتری و مسائل مربوط به بازاریابی، بسته‌بندی مرزی فیزیکی بین محصولات غذایی و محیط بیرون ایجاد می‌کند، از این رو موجب حصول اطمینان از بهداشت و افزایش دوره مصرف مواد فاسد شدنی مخصوصاً موادی که حساس به فساد اکسیداتیو و میکروبیولوژیکی هستند، می‌شود. رایج‌ترین مواد مورد استفاده برای بسته‌بندی کاغذ، فیبر، پلاستیک، شیشه، استیل و آلومینیوم هستند. معمولا پلاستیک‌های سنتتیک مشتق از نفت استفاده می‌شوند، زیرا آن‌ها مزایای متعدّدی بر دیگر مواد بسته بندی در زمینه استحکام و وزن کم دارند. با این حال، آن‌ها به خاطر تولید مقادیر زیادی از باقیمانده‌های تجزیه ناپذیر، یک مسئله جدّی زیست محیطی جهانی محسوب می‌شوند. به‌علاوه، علاوه بر ایمنی و مسائل محیطی، بازیافت پلاستیک‌ها به دلایل تکنیکی و اقتصادی پیچیده است (کروان و استرابریج، ۲۰۰۳).

بنابراین، فیلم‌های زیست تخریب پذیر جدید تهیه شده از پلیمرهای زیستی خوراکی حاصل از منابع تجدید پذیر می‌توانند شاخصی مهم در کاهش اثر محیطی پسماند پلاستیکی محسوب شوند (سیراکوزا و همکاران، ۲۰۰۸). پروتئین‌ها، لیپیدها، و پلی‌ساکاریدها پلیمرهای زیستی اصلی به کارگرفته شده جهت تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی می‌باشند. اینکه کدام ترکیبات به چه نسبتی استفاده شوند، تعیین‌کننده ویژگی‌های ماده به‌عنوان سدّی برای بخار آب، اکسیژن، دی اکسید کربن و انتقال لیپیدی در سامانه‌های غذایی می‌باشد. فیلم‌هایی که اساساً از پروتئین‌ها یا پلی‌ساکاریدها تشکیل شده‌اند خواص مکانیکی و نوری مناسبی دارند اما بسیار به رطوبت حساس بوده و سد تبخیر آب ضعیفی را در اختیار ما قرار می‌دهند. این امر می‌تواند زمانی که آن‌ها برای محصولات غذایی با میزان رطوبت بالا