بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده کشاورزی

تولید و ارزیابی فیلم بسته‌بندی پروتئینی یولاف تقویت شده با لایه نانولیفی نایلون الکتروریسی شده

پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی

مریم حبیبی زارآبادی

اساتید راهنما
دکتر مهدی کدیور
دکتر جواد کرامت

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی مریم حبیبی زارآبادی
تحت عنوان

تولید و ارزیابی فیلم بسته‌بندی پروتئینی یولاف تقویت شده با لایه نانولیفی نایلون الکتروریسی شده

در تاریخ ۱۳۹۲/۰۶/۳۱ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مهدی کدیور
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر جواد کرامت
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر تقی خیامیان
۴- استاد داور	دکتر سید امیر حسین گلی
۵- استاد داور	دکتر حسین توانایی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکترجهانگیر خواجه علی

تقدیر و تشکر

خداوند مهربان را شاکرم که توفیق آموختن و فرصت اندیشیدن را به من عطا فرمود تا از پی سال‌ها تحصیل دریابم که آنچه جستنی‌ست تنها اوست...

صمیمانه‌ترین سپاس ها را نثار حامیان زندگیم، پدر و مادر مهربانم می‌کنم؛ آنان که گوهر وجودشان، نسیم کلامشان و باران محبتشان را همواره و بی‌هیچ منت و ادعایی ارزانیم داشتند.

از استاد راهنمای فرهیخته و گرانمایه‌ام جناب آقای دکتر کدیورکه همواره مرا از راهنمایی‌های ارزشمند خود برخوردار نمودند و مفتخر به شاگردی در محضر ایشان بودم، بی‌نهایت سپاسگزارم. همچنین از اساتید گران‌قدرم جناب اقای دکتر کرامت و جناب اقای دکتر خیامیان که مفتخر به انجام این پایان‌نامه تحت راهنمایی و مشاورت ایشان بودم قدردانی می‌نمایم. از اساتید داور بزرگوار جناب آقای دکترگلی و جناب آقای دکترتوانایی که زحمت بازخوانی و داوری این پایان‌نامه را تقبل نمودند سپاسگزارم. از اساتید بزرگوار گروه علوم و صنایع غذایی که در این مقطع از تحصیل از ایشان بسیار آموختم، تشکر و قدر دانی می‌نمایم. ازکارشناسان محترم گروه علوم و صنایع غذایی سرکار خانم ستاری جناب آقای مهندس بهرامی و پرسنل آزمایشگاه‌های صنایع غذایی به خاطر همکاری صمیمانه و بی‌دریغشان تشکر و قدردانی می‌کنم. همچنین از شرکت نانوتار به خاطر کمک در جهت تهیه وب نانوالیاف تشکر می‌کنم.

از دوستان با محبتم خانم‌ها زهرا رنجبر ،آرزو قربان پور، مریم قدسی، ، عزرا بصیر، اکرم عربستانی، زهره داورپناه، صفورا احمد زاده، فرزانه علی اصغرزاده و دیگر دوستان که ذکر نام یکایک ایشان در این مجال نمی‌گنجد که خاطرات خوبی را در کنار ایشان داشتم گرامی داشته و برای تمامی ایشان سعادت، سلامت و پیروزی را آرزو دارم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیز

و

برادر و خواهران مهربانم

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست اشکال ..... یازده
فهرست جداول ..... دوازده
چکیده ۱

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ فناوری نانو ۴
۱-۳ استفاده از فناوری نانو در صنایع غذایی ۵
۱-۴ بسته بندی ۶
۱-۴-۱ پلاستیکها: ۶
۱-۴-۲ شیمی پلاستیکها: ۷
۱-۴-۳ بسته بندی در صنعت غذا: ۷
۱-۵ چندلایه های زیست تخریب ناپذیر ۱۰
۱-۶ انواع پوشش زیست تخریب پذیر جهت بسته بندی مواد غذایی: ۱۱
۱-۶-۱ پوشش تک لایه های زیست تخریب پذیر: ۱۱
۱-۶-۲ -چندلایه های زیست تخریب پذیر: ۱۱
۱-۶-۳ -نانوتجمع لایه به لایه ۱۳
۱-۶-۴ -نانوساختارهای لایهای ساخته شده توسط الکتروریسی: ۱۳
۱-۷ نانوکامپوزیت: ۱۴
۱-۷-۱ مزایای نانوکامپوزیتهای پلیمری: ۱۵
۱-۸ انواع نانوکامپوزیت با زمینه پلیمری: ۱۵
۱-۸-۱ نانوکامپوزیت پلیمری حاوی نانوذرات: ۱۵
۱-۸-۲ نانوکامپوزیت پلیمری حاوی نانوبلورها: ۱۶
۱-۸-۳ نانوکامپوزیت پلیمری حاوی رشته: ۱۶
۱-۸-۴ نانوکامپوزیت پلیمری حاوی نانولایه: ۱۶
۱-۸-۵ نانوکامپوزیت پلیمری حاوی نانوالیاف: ۱۸
۱-۹ ساخت فیلم چند لایه نانوکامپوزیتی زمینه پلیمری: ۱۹
۱-۹-۱ -نانوالیاف به عنوان تقویت کننده زمینه: ۱۹
۱-۹-۲ نانوالیاف الکتروریسی به عنوان تقویت کننده سطح مشترک لایه های کامپوزیتی ۲۱
۱-۱۰ روشهای تولید نانوکامپوزیت: ۲۲
۱-۱۰-۱ اختلاط مستقیم: ۲۲
۱-۱۰-۲ فرآوری محلول: ۲۳
۱-۱۰-۳ -پلیمریزاسیون درجا: ۲۳

۱-۱۰-۴ روش قالب ریزی: ۲۳
۱-۱۰-۵ اکستروژن ترکیبی ۲۴
۱-۱۱ تاریخچه الکتروریسی: ۲۴
۱-۱۲ نانوتکنولوژی و نانوالیاف: ۲۶
۱-۱۲-۱ روشهای تولید نانوالیاف: ۲۶
۱-۱۳ الکتروریسی: ۲۶
۱-۱۳-۱ پارامترهای تاثیر گذار بر فرآیند الکتروریسی. ۲۶
۱-۱۴ نایلون: ۳۲
۱-۱۵ مشخصات گیاه شناسی یولاف: ۳۳
فصل دوم مواد و روش ها
۲-۱ مواد و دستگاههای مورد استفاده ۳۶
۲-۱-۱ مواد مورد استفاده ۳۶
۲-۱-۱ مواد مصرفی ۳۷
۲-۲ استخراج پروتئین از دانه یولاف ۳۷
۲-۲-۱ آماده سازی دانه ۳۷
۲-۲-۲ استخراج ایزوله پروتئین قلیایی ۳۷
۲-۳ تهیه نانوالیاف نایلون ۶ ۳۷
۲-۴ تهیه فیلم سه لایه ۳۸
۲-۴-۱ تهیه فیلم پایه ۳۸
۲-۴-۲ ساخت فیلم سه لایه ۳۹
۲-۵ اندازهگیری درصد پروتئین استخراج شده: ۳۹
۲-۶ بررسی خواص فیلم تهیه شده ۴۰
۲-۶-۱ بررسی میکروسکوپی فیلم ۴۰
۲-۶-۲ رنگ سطحی فیلم ۴۰
۲-۶-۳ - ضخامت فیلم ۴۰
۲-۶-۴ اندازهگیری رطوبت فیلم ۴۰
۲-۶-۵ اندازهگیری حلالیت فیلم در آب ۴۰
۲-۶-۶ نفوذ پذیری به بخار آب ۴۱
۲-۶-۷ بررسی خواص مکانیکی فیلم: ۴۱
۲-۶-۸ –نفوذ پذیری به گاز اکسیژن ۴۲
کپسولهای اکسیژن ۴۳
۲-۷ روش آماری ۴۴
فصل سوم نتایج و بحث
۳-۱ بررسی ویژگیهای نانوالیاف: ۴۶
۳-۲ بررسی میکروسکوپی تصاویر فیلم با استفاده از میکروسکوپ الکترونیFESEM ۴۷
۳-۱ اندازه گیری انحلال پذیری ۴۹

۳-۲ اندازهگیری نفوذ پذیری به بخار آب ۵۳
۳-۳ خواص مکانیکی فیلم ۵۶
۳-۴ رنگ فیلم تهیه شده ۶۱
۳-۵ اندازهگیری مقدار رطوبت فیلم ۶۴
۳-۶ نفوذ پذیری به اکسیژن ۶۵
فصل چهارم نتیجه گیری
۴-۱ نتایج ۶۹
۴-۲ پیشنهادات: ۷۰
فهرست منابع ۷۳

فهرست اشکال

عنوان.....**صفحه**
شکل ۲-۱- تصویر دستگاه اندازه‌گیری میزان عبوردهی اکسیژن.....٤٤
شکل ۳-۱ –تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح فیلم شاهد.....٤٧
شکل ۳-۲-الف تصویر مقطع عرضی فیلم شاهد ٤٨
شکل ۳-۳- ب تصویر مقطع عرضی فیلم حلوی ۰/۵٪ ناوالیاف.....٤٨
شکل ۳-۴- ج مقطع عرضی فیلم حاوی ۱/۵٪ وزنی نانوالیاف ٤٩
شکل ۳-۵- د مقطع عرضی فیلم حاوی ۳٪ وزنی نانوالیاف ٤٩

فهرست جداول

عنوان.....صفحه

جدول ۳-۱-مقایسه میانگین انحلال پذیری فیلم بدون وب در آب مقطر ۵۰
جدول ۳-۲- مقایسه میانگین انحلال پذیری فیلم های لامینیت..... ۵۰
جدول ۳-۳-مقایسه میانگین نفوذ پذیری به بخار آب فیلم تک لایه و دولایه..... ٥٤
جدول ۳-۴- مقایسه میانگین نفوذ پذیری به بخار آب فیلم های لامینیت ٥٤
جدول ۳-۵- مقایسه میانگین مقاومت کششی فیلم تک لایه و دولایه..... ۵۷
جدول ۳-۶- مقایسه میانگین مقاومت کششی فیلم های لامینیت..... ۵۸
جدول ۳-۷- مقایسه میانگین مدول الاستیک فیلم های لامینیت..... ۵۸
جدول ۳-۸- مقایسه مقادیر میانگین شاخص‌های L، a، b فیلم تک و دو لایه ٦۲
جدول ۳-۹- مقایسه مقادیر میانگین شاخص‌های L، a، b فیلم های لامینیت..... ٦۳
جدول ۳-۱۰- مقایسه مقدار میانگین محتوای رطوبت فیلم ها ۶۴
جدول ۳-۱۱- مقایسه مقادیر داده‌های نفوذ پذیری به اکسیژن فیلم های ساخته شده ٦۷

چکیده

آلودگی محیط زیست امروزه به یک معضل بزرگ در دنیا تبدیل شده است. از جمله راه‌های آلوده کننده محیط زیست، تجمع پسمان های حاصل از مواد پلاستیکی با منشا نفت بوده که به مدت زیادی در محیط به صورت پایدار باقی می‌مانند. از جمله مواردی که پلاستیک ها به مقدار فراوان مصرف می شوند می توان به صنعت، بسته‌بندی اشاره نمود. به همین دلایل محققان درصدد یافتن راه‌حل برای رفع این مشکل می‌باشند. از جمله راه‌حل‌های در پیش رو، استفاده از مواد زیست تخریب پذیر برای ساخت پوشش مواد غذایی می‌باشد. این مواد بیشتر منشا دامی و یا گیاهی داشته و از بافت‌ها استخراج می‌گردند. با این وجود بسته‌بندی ساخته شده از مواد زیست تخریب پذیر، دارای خواص مکانیکی و ممانعتی ضعیفی بوده و به منظور استفاده نیاز به بهبود و تقویت دارند. ازجمله روش‌ها برای رسیدن به این هدف، استفاده از نانوالیاف می‌باشد. نانوالیاف به روشهای مختلف از جمله روش الکتروریسی تهیه می‌شوند. بدین منظور در این تحقیق از نانوالیاف الکتروریسی شده نایلون (پلی‌آمید) ۶ برای تقویت فیلم پروتئینی یولاف استفاده گردید. نانوالیاف نایلون به دلیل آرایش یافتگی (orientation) در طی ریسیده شدن و گره‌خوردگی زنجیره‌ها دارای استحکام بالایی بوده ومی‌توانند به زمینه استحکام بخشند. در این صورت مجموعه نانوکامپوزیت نانوالیافی ساخته شده از نظر مکانیکی در مقایسه با موارد شاهد دارای استحکام خوبی است. پلیمر نایلون دارای گروه‌های آمینی بوده و می‌تواند با موادی که دارای گروه‌های کربوکسیلی یاآمینی باشند، پیوند هیدروژنی برقرار نموده وزمینه محکمی را تشکیل دهد. از انجایی که نانوالیاف به صورت وب و روی درام چرخان و با پوشش نارسانا تهیه شده است، می‌تواند به خوبی در زمینه توزیع شده و با زنجیره‌های پروتئینی واکنش داده و زمینه را محکم نماید. در این تحقیق در ابتدا پروتئین یولاف استخراج و سپس فیلم شاهد به صورت دولایه به روش قالب ریزی تهیه گردید. پس از آن وب پلی آمیدی در درصدهای وزنی متفاوت نسبت به پروتئین بین دو لایه فیلم پروتئینی قرار داده شد. پس از آماده سازی فیلم‌ها آزمایشات لازم جهت بررسی و مقایسه ویژگی آن‌ها صورت گرفت. نتایج حاصل از این آزمایشات نشان داد که وجود وب باعث بهبود مقاومت کششی، مدول الاستیک، شده و نیز کاهش نفوذ پذیری به بخا ر آب و اکسیژن یافت در صورتی که روشنایی فیلم تغییر معنی‌داری در مقایسه با فیلم شاهد نداشته است.

واژه‌های کلیدی: زیست تخریب پذیر، الکتروریسی، نانوالیاف، پروتئین یولاف، فیلم سه لایه، نانوکامپوزیت

فصل اول
مقدمه و بررسی منابع

۱-۱ مقدمه

بسته‌بندی راهکاری است که سلامت محتوی خود را در فاصله زمانی پس از تولید، در مرحله حمل و نقل، انبارداری و توزیع تا مصرف نهایی حفظ نموده و از صدمات و خطرات احتمالی فیزیکی یا شیمیایی آن جلوگیری می کند. همچنین اطلاعات درج شده بر روی آن به مصرف کننده درباره محتوای خود و شرایط نگهداری آگاهی داده و اتلاف ماده غذایی را به حداقل می‌رساند [۸،۱].

در دهه‌های اخیر استفاده از پلیمرها رشد قابل توجهی داشته است و بیشتر آنها به صنعت بسته‌بندی اختصاص یافته است. سهم بسته‌بندی مواد غذایی در این بین بیشترین مقدار است. پلاستیک‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند سهولت درز بندی بوسیله حرارت، انعطاف پذیری خواص مکانیکی، شفافیت و راحتی پر شدن و بسته شدن و نیز هزینه کم مورد توجه هستند. محدودیت اصلی آن‌ها نفوذ پذیری ذاتی-شان در انتقال مولکول‌های کم وزن که منجر به بروز تغییراتی در ماده غذایی مانند اکسیداسیون در اثر نفوذ اکسیژن، مهاجرت عناصر سمی از پلاستیک به ماده غذایی و در نتیجه کاهش کیفیت و سلامت ماده غذایی می‌گردد، می‌باشد [۵]. همچنین مواد پلاستیکی زیست تخریب پذیر نبوده و در محیط زیست تجمع می‌یابند و منجر به مشکلات زیست محیطی می‌گردند. به دلیل مشکلات ذکر شده در استفاده از مواد با پایه نفتی توجه به مواد زیست تخریب پذیر افزایش یافته است. مواد خام کشاورزی به عنوان منابع عظیم پلیمر زیست تخریب پذیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. تولید فیلم های زیست تخریب پذیر از مواد

کشاورزی و تلفیق با الیاف، به منظور تقویت آن ها به حل مشکلات تجمع زباله ها و آلودگی محیطی کمک می نماید. اما این نوع پلیمرها به دلیل خواص مکانیکی ضعیف و مقاومت پایین در برابر نفوذ رطوبت و اکسیژن و نیز هزینه بالای تولید دارند[۶۱]. به همین منظور برای استفاده از مواد زیست تخریب پذیر در بسته‌بندی نیاز به بهبود ویژگی‌های آن‌ها می‌باشد. روش‌هایی برای این منظور ابداع شده است که برخی از این روش‌ها از تکنولوژی نانو استفاده می‌کنند. پیشرفت های سریعی که در زمینه نانوتکنولوژی در سال‌های اخیر صورت گرفته است، توجه بسیاری از صنایع را به آن به عنوان سرچشمه انقلاب صنعتی جدید جلب نموده است.

نانوتکنولوژی ساخت و سپس بکارگیری ساختارهایی است که حداقل در یک بعد دارای اندازه‌ای کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشند که در این صورت عملکرد جدیدی در آن‌ها ایجاد خواهد شد که در حالات قبلی نداشتند. این مواد دارای نسبت سطح به حجم بالایی بوده و به همین علت نسبت واکنش با محیط در آن‌ها افزایش می‌یابد[۶۲،۶۱]. از جمله موارد استفاده از نانوتکنولوژی در صنایع غذایی تولید نانوکامپوزیت است. کامپوزیت مخلوط دو فاز ماده جدا که یک فاز عمده به عنوان زمینه و یک فاز تقویت کننده است. در کامپوزیت‌های معمولی از مواد در اندازه ماکرو استفاده می‌شود اما در نانوکامپوزیت ماده پرکننده دارای ابعادی در مقیاس نانو است. کامپوزیت پلیمری مخلوطی از پلیمر با پرکننده آلی یا غیر آلی هستند. استفاده از نانومواد بسته به نوع و اندازه آن خواص متفاوتی را در نانوکامپوزیت ایجاد می‌کند. اما به منظور افزایش کارایی کامپوزیت نیاز به توزیع مناسب نانوماده و سازگاری زمینه و پرکننده است. استفاده از نانومواد در تقویت کامپوزیت به دلیل واکنش قوی بین زمینه و پرکننده منجر به کاهش مقدار پرکننده می‌گردد. در نتیجه در مقادیر کم تاثیر بالایی را بر زمینه خواهند داشت[۱۰۲،۸۹].

نانوتکنولوژی پلیمری سطح وسیعی از تحقیقات، پیشرفت و فعالیت صنعتی که شامل طراحی، تولید، فرآیند و کاربرد مواد پلیمری حاوی موادی با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر یا نانومواد می‌باشند، را در بر می‌گیرد. ظرفیت بالای این تکنولوژی به منظور تامین مسیر پیشرفت برای توسعه مواد با کارایی بالا توجه بسیاری از محققان در زمینه‌های مختلف پژوهشی را به خود جلب نموده است[۱۰۲]. مواد پلیمری جدید برای بسته‌بندی مواد غذایی می‌توانند راه‌حلی برای افزایش کارایی پلیمر در سلامتی با به حداقل رساندن واکنش‌های خطر ناک با ماده غذایی، اقتصاد و مسائل محیط زیست مانند تولید تولید دی‌اکسیدکربن و بسیاری از موارد دیگر باشند[۱۱۱] از جمله نانوکامپوزیت‌ها می‌توان به نانوکامپوزیت‌های تقویت شده با نانوالیاف اشاره نمود. این نوع نانوالیاف به روش مختلفی تولید می‌شوند از جمله این روش‌ها الکتروریسی است. یکی از مواد با استحکام نسبی پلیمر نایلون ۶ است. این ماده درصورت تبدیل به نانوالیاف می‌تواند زمینه را تقویت نماید[۴۶].

فیلم های خوراکی را میتوان از پروتئین، پلی ساکارید و لیپید تهیه نمود. فیلم های حاصل از پروتئین ارزش تغذیه ای بالا داشته و خواص مکانیکی قابل مقایسه با پلی ساکارید و لیپید دارند. مطالعه فیلم های پروتئینی از جنبه های مختلف، مورد توجه بسیاری از محققان در سال های اخیر قرار گرفته است[۱۰۳]. درحال حاضر از بسته‌های چندلایه که دارای لایه‌های مختلف با خواص متفاوت است استفاده می‌شود. هریک از این لایه‌ها به تامین یکسری از خواص می‌پردازند. اما از آنجایی که اکثر این لایه‌ها از مواد زیست تخریب ناپذیر ساخته می‌شوند، تاکنون روش‌های برای جایگزینی کامل آن‌ها و یا نسبی این مواد صورت گرفته است[۱۱٦]. به همین منظور در این تحقیق از پروتئین یولاف به عنوان یک محصول کشاورزی برای تولید فیلم زیست تخریب پذیر استفاده می گردد. دانه یولاف از خانواده غلات با نام علمی *Avena satua* می‌باشد. این دانه به دلیل دارا بودن پروتئین، چربی و بتاگلوکان از ارزش تغذیه ای بالایی برخوردار است. همچنین این گیاه دارای مقاومت خوبی به سرما و آفات بوده و در شرایط آب و هوایی ایران کشت می گردد. اما از انجایی که فیلم‌های زیست تخریب پذیر دارای خواص به نسبت ضعیفی در مقابل با فیلم‌های سنتزی می‌باشند، نیاز به تقویت و بهبود آن‌ها است[۲٤]. . نانولوله کربن به دلیل افزایش عبور بخار آب و نیز امکان چسبیدن لوله‌ها به یکدیگر، سخت بودن تولید، هزینه تولید بالا و سخت بودن توزیع یکنواخت نانولوله در زمینه محدود می-شود [٤٦]. به همین منظور برای تقویت خواص فیلم پروتئینی یولاف از نانوالیاف نایلون ٦ تهیه شده به روش الکتروریسی استفاده می گردد. خود نایلون به صورت تک لایه یا در ساختمان چند لایه های برای بسته بندی‌های تحت خلا استفاده می‌شود. در این پژوهش وب نانوالیاف در بین دو لایه فیلم پروتئین یولاف قرار گرفته و نانوکامپوزیت سه لایه ساخته می-شود. یکی از موانع استفاده از نانوذرات در زمینه پلیمری تجمع نانوذرات و عدم توزیع یکنواخت آن‌ها می‌باشد. با این وجود استفاده از این مواد درزمینه‌های مختلف در زمینه پلیمری صورت می گیرد.

۱-۲ فناوری نانو[۱]

پیشوند نانو در کلمه نانو فناوری به معنای یک بیلیونیم است. نانوفناوری به ساختارهای گوناگون موادی می‌پردازد که دارای ابعادی در حدود یک بیلیونیم متر می‌باشند. در حالیکه کلمه نانوفناوری نسبتا جدید است، وجود ساختاری با ابعاد نانومتر تازگی ندارد. نانوتکنولوژی بر روی توصیف ویژگی‌ها، ساخت و دستکاری ساختارهای بیولوژی یا غیربیولوژیکی کوچکتر از ۱۰۰ می‌پردازد.ساختارها در این مقیاس ویژگی‌های جدید و منحصربه فردی را نشان می‌دهند. در سال‌های اخیر شدت و فعالیت در زمینه نانوتکنولوژی افزایش یافته است. بر طبق تعریف انجمن بین المللی ابتکارات نانوتکنولوژی،

۱- Nanotecnology

نانوتکنولوژی[1] درک و کنترول ماهیت ماده در ابعادی به اندازه ۱تا ۱۰۰ نانومتر است که پدیده‌های منحصر به فرد کاربردهای جدیدی را پیش رو می‌گذارند[۱۱۳،۷].

ابالون که نوعی نرم‌تن و حلزون است، پوسته‌های صدفی بسیار سختی می‌سازد که دارای رویه‌های درونی با نمای قوسی شکل است. چنین رویه‌هایی از واحدهای ساختاری سختی از جنس کربنات کلسیم با ابعاد نانو ساخته شده است. که با چسب ساخته شده از کربوهیدرات و پروتئین در کنار هم قرار گرفته اند.ترک‌های به وجود آمده در سطح بیرونی به دلیل وجود ساختار نانویی قادر به گسترش در سرتاسر پوسته نیستند. روشن نیست که بشر از چه زمان به استفاده از مواد با ابعاد نانو آگاهی یافته است. طبق شواهد بدست آمده چهارصد سال پیش از میلاد مسیح شیشه گران رومی، شیشه‌های حاوی فلزات در اندازه نانو تهیه کرده‌اند [۷].

۱-۳ استفاده از فناوری نانو در صنایع غذایی

نانوتکنولوژی دارای توانایی بلقوه‌ای به منظور استفاده در کشاورزی و مواد غذایی است. ایمنی غذایی، روش‌های دریافت ترکیبات موثر بر بیماری، ابزارهای جدید برای بیولوژی سلولی،مواد جدیدی برای یافتن پاتوژن‌ها، و حفاظت از محیط زیست مثال‌هایی برای استفاده از نانوتکنولوژی در مهندسی پزشکی و مواد غذایی است. در ذیل مثال‌هایی از نانوتکنولوژی به عنوان ابزاری در خدمت صنایع غذایی آمده است[۶۲،۶۱].

افزایش امنیت تولید، فرایند، حمل و نقل محصولات غذایی با استفاده از حسگر های شناسایی پاتوژن و سموم

سیستم‌هایی که دریافت، موضع یابی، گزارش و کنترول از راه دور محصولات را تامین می‌کنند و باعث افزایش تاثیر و حفاظت کننده‌گی فرآیند ماده غذایی و انتقال می‌گردند[۶۱].

کپسوله نمودن ترکیبات مفید که موجب عملگرا شدن ماده غذایی می‌گردد[۷۹].

سه حوضه عمده در صنعت غذا می‌توانند از نانوتکنولوژی استفاده نمایند. تولید و تهیه مواد عملگرای جدید، فرایند نمودن مواد غذایی در مقیاس میکرو و نانو، تولید فراورده های پیشرفته و طراحی روش‌هاو تجهیزات جدید در مقیاس نانو برای بهبود ایمنی مواد غذایی.

در صنعت غذا ۴ بخش عمده که هرکدام به زیر بخش‌هایی تقسیم می‌شوند می‌توانند از نانوتکنولوژی بهره ببرند

۲- International Association of Nanotechnology Initiatives

۱)فرآوری: انتقال جرم و حرارت، مهندسی واکنش در مقیاس نانو، نانوبیوتکنولوژی، سنتز مولکولی

۲)مواد: نانوذرات، نانوامولسیون، نانوکامپوزیت، مواد نانوساختاری

۳)ایمنی مواد غذایی: نانوحسگر

۴)محصول، حمل و نقل، فورمولاسیون، بسته بندی

تاثیر خواص مواد غذایی در سطوح مقیاس نانو بر قابلیت زیست دسترسی[۱] آن‌ها و ارزش غذایی روشن شده است. علاوه بر آن ارتباط بین ساختار مواد غذایی و خواص فیزیکی-شیمیایی عمده آن‌ها نیز بررسی شده است[۱۱۳].

۱-۴ بسته‌بندی

هدف از بسته‌بندی کردن مواد غذایی علاوه بر مظروف کردن، افزایش زمان نگهداری و حفظ ماده غذایی از خطر عوامل فساد درونی و بیرونی و اکسایش است. همچنین در صورت بسته‌بندی حمل و نقل آن نیز آسانتر صورت می‌گیرد. با افزایش تولید مواد غذایی بسته‌بندی شده در کشورهای صنعتی، می‌توان بسته‌بندی‌های غیر استاندارد را نیز مشاهده نمود که علت اصلی آن افزایش قیمت مواد اولیه بسته‌بندی است. از طرفی ازبین بردن یا بازیافت مواد اولیه بسته‌بندی نیز یکی از مشکلات دیگر به حساب می‌آید. در اغلب کشورهای درحال توسعه به علت بالا بودن جمعیت خانواده و مصرف مواد غذایی به صورت تازه از یک طرف نیاز به بسته‌بندی نمودن مواد غذایی نبوده است. اما از طرف دیگر، برای جلوگیری از ضایعات آن‌ها استفاده از تکنولوژی نوین بسته‌بندی نیاز است.

بسته‌بندی محصول در برابر ضربه، شرایط اقلیمی ، میکروارگانیسم‌ها و حشرات حفظ می‌نماید. بسته-بندی چهره کالا را مشخص می‌کند، زیرا خریدار از طریق بسته‌بندی محصول را شناسایی می‌نماید. همچنین با انتقال پیام تولید کننده به مصرف کننده بین آن‌ها ارتباط برقرار می‌کند[۸].

۱-۴-۱ پلاستیک‌ها:

هر چند بسته به معنای پوشش با استفاده از فلزات (فولاد و آلومینیوم)، شیشه و کاغذ آغاز شد اما در یکصد سال اخیر سعی شده است که پلاستیک‌ها را جایگزین آنها نمایند. بعد از جنگ جهانی دوم،در سال ۱۹۴۵ استفاده از مواد پلاستیکی در صنایع غذایی گسترش یافت که آن را یک انقلاب نوین در صنعت بسته‌بندی می‌نامند. از اواسط سال‌های ۱۹۵۰ استفاده از فیلم‌های مرکب پلاستیکی شروع شد و چند سال بعد تکنولوژی فیلم‌های مرکب اهمیت و پیشرفت بیشتری یافت. مزایای پلاستیک‌ها شامل وزن

---

[۱]- Bioavalibility

مخصوص کم(۰/۹ تا ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و قیمت نسبتا کم، قابلیت شکل‌پذیری بالا در دستگاه‌های اتوماتیک ، مقاوم بودن در برابر بسیاری از مواد با خاصیت اسیدی یا قلیایی، نیازکمتر به انرژی نسبت به شیشه و قوطی فلزی، امکان بهبود خصوصیات پلاستیک‌ها با اضافه نمودن افزودنی‌ها. معایب پلاستیک‌ها هم آن است که منشا آنها نفت خام یا زغال سنگ می‌باشد. بنابراین از منابع تجدید ناپذیر به دست آمده و نیز در طبیعت توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه نشده و در مدت طولانی باقی می-مانند. همچنین در صورت تماس با ماده غذایی در شرایط معین به آن‌ها انتقال می‌یابند[۸].

۱-۴-۲ شیمی پلاستیک‌ها:

اتم‌های کربن با ۴ اتصال به اتم‌های دیگر می‌توانند پیوند برقرار کنند. کوچکترین واحد زنجیره پلیمرها که اساس ساختمانی پلاستیک را تشکیل می‌دهد، مونومر گویند. مونومرها به یکدیگر متصل شده و زنجیره بلندی به نام پلیمر را می‌سازند. زمانی‌که پلیمرها به صورت تصادفی و بدون هیچ گونه نظمی ساختاری توده‌ای را می‌سازند اصطلاحا بی نظم[۱] نامیده می‌شوند. هرگاه پلیمرها با یک ترتیب منظم نزدیک قرار گیرند، ساختار بلورین شکل می‌گردد. پلی‌مر های سنتزی به صورت ترموپلاست و ترموست وجود دارند.

ترموپلاستیک‌ها پلیمرهای هستند که خواص سیالات غیر نیوتنی دارند. ترموپلاستیک‌ها در مقابل حرارت نرم و در مقابل سرما سفت می‌شوند. ترموست‌ها پلیمرهای هستند که توسط واکنش‌های متراکم شونده تشکیل شبکه های بزرگ مولکولی سه بعدی را می‌دهند. از آنجا که مولکول شبکه نهایی غیر قابل ذوب است، لذا فرآیند قالب زدن نهایی و تشکیل مولکول‌های شبکه‌ای با اتصالات عرضی بطور همزمان انجام می‌شوند. در ترموست‌ها بر اثر حرارت یک تغییر شیمیایی برگشت‌ناپذیر که همان تشکیل شبکه سه بعدی توسط اتصالات عرضی است، بوجود می‌آید که بعد از آن توسط حرارت نمی‌توانند گرم شوند و در صورت ادامه حرارت مواد ترموست تبدیل به زغال می‌گردد . مواد ترموپلاستیک را می‌توان به کمک گرما به کرات شکل جدید بخشید[۸].

۱-۴-۳ بسته بندی در صنعت غذا:

همانطور که قبلا ذکر گردید بسته‌بندی جزء مهمی در صنعت غذا محسوب می‌شود. با پیشرفت علم و تکنولوژی و نیز نگرانی در خصوص آلودگی محیط زیست توجه به توسعه و پیشرفت این بخش نیز در حال افزایش است. امروزه شاهد تولید بسته‌بندی می‌باشیم که با انواع سنتی تفاوت دارند از جمله این پیشرفت‌ها می‌توان به تولید بسته‌های فعال[۲] و هوشمند[۱] که در آن‌ها از نانوذرات استفاده شده است. در این

۱- Amorph

۲- Active packaging

زمینه بسته‌بندی هوشمند، فعال گسترش یافته اند. بسته بندی فعال نوعی است که به تغییرات در داخل بسته و محیط خارجی حساس بوده و عکس و العمل نشان می‌دهد. این نوع بسته‌ها حاوی مواد فعال یا زمینه پلیمری فعالی بوده که به تغییرات حساس می‌باشد [۷].

امروزه به دلیل آلودگی محیط زیست و نیز مهاجرت ترکیبات مضر از بسته‌های با منشا نفتی به ماده غذایی گرایش به استفاده از بسته‌بندی ساخته شده از پلیمر زیستی وجود دارد. مواد زیست تخریب پذیر چه از نوع تجدید پذیر و چه تجدیدناپذیر باشند به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱) پلیمرهایی که مستقیما از مواد طبیعی استخراج شده مانند پلی‌ساکارید[۲](نشاسته، سلولز)، پروتئین(گلوتن، زئین).

۲) استفاده از مونومرهای روغن یا مونومرهای مواد طبیعی و استفاده از روش‌های ساخت شیمیایی برای دست‌یابی به پلیمر زیست تخریب پذیر[۳] مانند پلی‌کاپرولاکتون[٤]، پلی اتیلن وینیل الکل[٥]، پلی‌وینیل الکل[٦].

۳) پلیمرهایی که توسط میکروارگانیسم‌ها به طور طبیعی یا اصلاح شده ژنتیکی ساخته می‌شوند مانند پلی-هیدروکسی آلکانوآت[۷] [۷۷].

در طول دهه‌های اخیر پلیمرها به علت هزینه کم، ویژگی‌های عملکردی، شفافیت و سهولت بکارگیری جایگزین مواد مرسوم مانند سرامیک، کاغذ و فلز در بسته‌بندی مواد غذایی شده‌اند. استفاده از پلیمرهای سنتزی در بسته‌بندی مواد غذایی ویژگی‌هایی مانند حفاظت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی در برابر محیط را تامین می نماید. پلیمرهای مرسوم در بسته‌بندی مواد غذایی اغلب شامل پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی وینیل کلراید، پلی اتیلن ترفتالات است. پلی اتیلن با دانسیته بالا برای ساخت بطری شیر و کیسه استفاده می‌شود. اما نوع دانسیته پایین آن برای ظروف نگه‌داری معمولی استفاده می‌شود. یکی از اشکالات اصلی پلیمرها این است که به مولکول‌های با وزن کم اجازه عبور از خود و رسیدن به مواد غذایی خواهند داد که در این صورت بر کیفیت و سلامتی مواد غذایی تاثیر خواهد گذاشت[۷۷]. پلیمرهای زیستی دارای خواص حرارتی و ممانعتی ضعیف‌تری نسبت به همتایان با پایه نفتی بوده حال آنکه در صنعت خواستار دست‌یابی به خواص ممانعتی مطلوب و در عین حال حفظ شفافیت و زیست

۲_Smart packaging

۱_Polysaccharyde

۲-Biodegr

۳_Polycaprolactone

٤-Poly ethylen vinyl alcohol

٥Polyvinyl alcohol

٦-Polyhydroxyalcanoat

تخریب‌پذیری می‌باشیم. از جمله مواد با داشتن خاصیت زیست پذیری تعدادی از پلی‌استرهای زیست تخریب پذیری می‌باشند که این مواد به صورت تک لایه یا چند لایه در بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله پلیمرهای زیستی ترموپلاستیک که توان کاربرد به عنوان بسته‌بندی تک لایه دارند شامل نشاسته،پلی‌هیدروکسی آلکانوات ، پلی‌لاکتیک اسید می‌باشد.

نشاسته و پلی‌لاکتیک اسید مواد زیست تخریب پذیری بوده که بسیار مورد توجه می‌باشند. پلی-لاکتیک اسید به دلیل شفافیت بالا و مقاومت نسبتا خوب در مقابل آب مورد توجه می‌باشد [۴۲]. از جمله مواد دیگر استخراج شده از منابع زیستی می‌توان به پروتئین‌ها، پلی‌ساکارید(کیتوزان)، لیپید[۱](موم) با داشتن ظرفیت بالا به عنوان ممانعت کننده از گاز و عطر و بو نام برد. اشکال عمده این نوع مواد انعطاف ناپذیری ذاتی آن‌ها، فرآیند مشکل با تجهیزات موجود، و همچنین در مورد پروتئین و پلی‌ساکارید نیز به دلیل آب دوست بودن [۲]، به آب حساسیت بالا داشته که منجر به نرم‌کنندگی زیاد شده و در این صورت ویژگی ممانعت از نفوذ اکسیژن نیز از بین می‌رود. مقاومت پایین پروتئین و پلی‌ساکارید به آب استفاده از آن‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی را محدود می‌کند. بنابراین برای کاربردی نمودن این نوع مواد در زمینه بسته‌بندی نیاز به کاهش حساسیت به آب و نیز بهبود خاصیت ممانعت از گاز و خواص عملکردی کلی پلیمرهای زیستی[۳] ترموپلاستیک است[۷۷،۱۱۳]. به طور معمول دو روش عمده برای بهبود کارایی پلیمر های زیستی شامل استفاده از مخلوط آن‌ها و یا افزودن ترکیبات تقویت کننده در مقیاس نانو استفاده می-شود[۳۴،۴۲]. راه دیگر برای بهبود خواص پلیمرهای زیستی استفاده از روش لایه گذاری زیستی[٤] مانند پوشش تک لایه، ساختارهای چند لایه زیست تخریب پذیر، مجموعه‌های لایه لایه ، و روش جدید برپایه ریسندگی ولتاژ بالا[٥] برای ایجاد لایه داخلی با توانایی بهبود خواص ممانعتی پلیمر زیستی و از طرف دیگر اتصال لایه‌های مختلف پلیمر زیستی به عنوان یک چسب طبیعی است. رویکرد تولید ساختارهای چندلایه‌ای زیست تخریب پذیر از زمانیکه استفاده از نانوساختارها رواج یافت به طور معنی‌داری پیشرفت نمود [۷۴،۴۳،۲۰].

۱- Lipide

۲-Hydrophyle

۳-Biopolymer

٤-biolayering

٥- High voltage spinning