

کاربرد نانوتکنولوژی در بسته بندی مواد غذایی

صمد حسینی صدر^۱، صدیقه سیلان وند^۲، رقیه ولیزاده^۳

چکیده

نانو تکنولوژی یکی از تکنولوژیهای نوین است که راه خود را در صنایع مختلف باز نموده و در زمینه های گوناگون آن به طور وسیع استفاده می شود. یکی از این صنایع که نقش عمده ای در بهداشت و سلامت جامعه دارد صنایع بسته بندی می باشد. در این مقاله تلاش شده تا به معرفی یکی از صنایع مهم غذایی که این مواد در آن کاربرد زیادی دارد پرداخته شود. در ابتدا به بررسی نانو مواد و کاربرد آنها در صنعت بسته بندی پرداخته و در ادامه به معرفی انواع سیستمهای بسته بندی بر اساس تکنولوژی نانو و انواع نانو مواد به کار رفته در سیستمهای بسته بندی پرداخته میشود. نتایج کارهای تحقیقاتی نشان دادند که این سیستم های بسته بندی قادر به ترمیم بسته است و مصرف کننده را از فساد مواد غذایی آگاه می کنند. استفاده از این بسته بندی ها سبب جلوگیری از خشک شدن محتویات آن ها و حفاظت در برابر رطوبت و اکسیژن و سایر مواد خطرناک می شود؛ همچنین می توان به منظور حفظ مواد غذایی از فساد از نانو مواد استفاده کرد. با علم به قابلیت های نانو تکنولوژی، امید است بتوان سیستم های بسته بندی فعلی مواد غذایی را تغییر داد و محصولاتی مطابق با فرهنگ تغذیه مناسب به جامعه عرضه کرد.

کلمات کلیدی: نانو تکنولوژی، بسته بندی مواد غذایی، نانو مواد، خواص ضد باکتری.

- (۱) دانشجوی دکترای شیمی (گرایش شیمی آلی سنتز مواد)، عضو هیئت علمی دانشگاه فرهنگیان، تبریز، ایران، نویسنده مسئول، s.hosseinisadr@gmail.com
- (۲) کارشناس صنایع شیمیایی، دانشکده الزهراء، دانشگاه فنی حرفه ای، تبریز، ایران، s.sabalanvand@gmail.com
- (۳) کارشناس صنایع شیمیایی، دانشکده الزهراء، دانشگاه فنی حرفه ای، تبریز، ایران، valizadeh.niloo69@gmail.com

امروزه تامین مواد غذایی کافی و مناسب، به یکی از اساسی ترین دغدغه‌های مسئولان و نخبگان جامعه تبدیل شده است به نحوی که برای رفع آن تلاش‌های زیادی در حوزه های مختلف از جمله افزایش میزان تولید، افزایش میزان بهره‌وری در زمان مصرف، بهبود شیوه‌های نگهداری و انبارداری و توسعه روش‌های حفظ آنها در برابر عوامل مخرب مانند قارچها و باکتریها به آن صورت می‌گیرد. برای حفظ مواد غذایی در برابر قارچها و باکتریها و در نهایت نگهداری طولانی مدت آنها فرآیند بسته بندی از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. در کنار دیگر تکنولوژی های نوین که در صنعت بسته بندی مواد غذایی کار می‌رود، نانو تکنولوژی به عنوان یکی از رایج‌ترین فناوری ها نوین در عرصه‌های مختلف جایگاه خود را در صنایع غذایی پیدا کرده است (Dimitrijevic, Karabasil et al. ۲۰۱۵). این تکنولوژی، تکنیکی نوظهور است که در مقیاس ۱ تا ۱۰۰ نانومتر به دستکاری اتم ها و مولکول ها پرداخته و موجب ایجاد برخی ویژگی های فیزیکی - شیمیایی و صفات رفتاری منحصر به فرد و متفاوت گردیده به طوری که کاربردهای زیادی را برای این مواد در عرصه‌های مختلف بوجود می‌آورد (Thangavel and S ۲۰۱۴, Singh and Ikram ۲۰۱۷, Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷). پیشرفت در نانو تکنولوژی باعث بهبود کیفیت محصولات مختلف در موضوعاتی مانند ایمنی، کنترل کیفیت و... یا ایجاد مواد جدید می‌شود (Dimitrijevic, Karabasil et al. ۲۰۱۵). از همان روزهای اول نقش نانو تکنولوژی در صنعت بسته بندی برای افزایش قابلیت های مواد بسته بندی شناخته شده است که از آن جمله می‌توان به افزایش خواص مکانیکی مانند مقاومت در برابر ضربه و سایش، جلوگیری از ورود و خروج گازها و رطوبت به درون مواد بسته بندی شده و... اشاره نمود (Wyser, Adams et al. ۲۰۱۶). استفاده از این فناوری باعث افزایش کیفیت محصولات از قبیل رنگ، طعم، مزه، پایداری بافت مواد غذایی، عطر، طراوت و طول عمر آنها می‌شود (Thangavel and S ۲۰۱۴, Singh and Ikram ۲۰۱۷, Keshwani, Malhotra et al. ۲۰۱۵). در بسته بندی‌های فعلی استفاده از انواع شیشه، قوطی های فلزی و مواد حاصل از ترکیبات پلاستیکی رایج می باشند. استفاده از شیشه و قوطی های فلزی بنا به دلایلی از قبیل وزن بالا، افزایش هزینه حمل و نقل، مقاومت پایین، یکنواختی کمتر ابعاد نسبت به سایر ظروف، خطرات جدی ناشی از وجود تکه یا خرده شیشه یا فلز، احتمال خوردگی توسط مواد بسته بندی شده (در مورد فلزات)، باز نمودن درب و تقلب در آن، ایمنی پایین و برخی دلایل دیگر منجر به تدریج با انواع بسته بندی‌های پلاستیکی از جنس پلی اتیلن ترفتالات، پلی وینیل کلراید، پلی وینیلیدن کلراید، اکریلونیتریل و پلی استایرن جایگزین شده است. اما ظروف پلاستیکی خود مشکلات متعددی را به همراه دارند که از آن جمله می‌توان به آلودگی محیط زیست، عدم امکان استفاده مجدد، مهاجرت مواد آلاینده خطرناک و سرطانزا همچون باقیمانده کاتالیست‌ها، پرواکسیدهای آلی، نمک‌های فلزی و منومرهایی که در فرمولاسیون مواد پلاستیکی استفاده شده‌اند از بسته بندی به مواد غذایی اشاره نمود (Vahedi, Habib et al, ۲۰۱۵). به نظر می‌رسد با توجه به مسایل مطرح شده استفاده از نانو تکنولوژی در صنعت بسته بندی بتواند این مشکلات را حل نماید.

این مقاله تلاش دارد تا با مروری مختصر درباره استفاده از نانو مواد در صنعت بسته بندی مواد غذایی، به معرفی این فناوری پرداخته و به کاربرد آنها در این صنعت و امتیازاتی که در سایه استفاده از این مواد در صنعت بسته بندی حاصل می‌شود بپردازد.

۲) نانوتکنولوژی

مفهوم نانوتکنولوژی در سال ۱۹۵۹ توسط ریچارد فاینمن، متخصص کوانتوم نظری و دارندهی جایزه‌ی نوبل در نشست سالیانه انجمن فیزیک آمریکا مطرح شد (Wyser, Adams et al. ۲۰۱۶). نانوتکنولوژی یا ریزذره‌ها، فناوری جدیدی است که به علت رشد سریع، کاربرد گسترده‌ای برای تولید مواد جدید در مقیاس نانو دارد (Berekaa ۲۰۱۵). این فناوری، علم مواد بسیار کوچک با اندازه‌هایی در ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشد که با چشم غیر مسلح دیده نمی‌شوند. در این فناوری با توجه به اندازه ذرات، در خواص فیزیکی و شیمیایی تغییر ایجاد می‌گردد که باعث ایجاد طیف گسترده‌ای از کاربردها می‌شود (Berekaa ۲۰۱۵, Keshwani, Malhotra et al. ۲۰۱۵). فناوری نانو کاربرد‌های متنوعی در زمینه‌های مختلف، از جمله؛ غذا، دارو، زیست پزشکی، پزشکی، بیوتکنولوژی، نساجی، الکترونیک، کامپیوتر، لوازم آرایشی، رنگ، محیط زیست، روانکاری و... دارد، که در ادامه به کاربرد آن‌ها در صنعت بسته بندی مواد غذایی می‌پردازیم.

۳) بسته بندی مواد غذایی

بسته بندی به معنی ساخت یا تهیه ظرف یا محافظی است که کالای تولیدی سلامتی درون خود را در فاصله‌ی زمانی بعد از برداشت، تولید، حمل و نقل، انبارداری و توزیع تا مصرف نهایی حفظ کرده و از خطرات احتمالی فیزیکی و یا شیمیایی در امان بماند. علاوه بر این بسته بندی باید ارزان و سبک باشد. هدف از بسته بندی مواد غذایی حفظ محصول، جلوگیری از فساد باکتری‌ها، افزایش مدت زمان نگهداری، جلوگیری از آسیب در حمل و نقل و ذخیره سازی است (Wyser, Adams et al. ۲۰۱۶). بسته بندی مواد غذایی نقش مهمی در ایمنی و حفظ کیفیت غذا ارائه می‌دهد و می‌تواند انتقال رطوبت و گازها را کنترل کند؛ در نتیجه ضایعات مواد غذایی را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Wyser, Adams et al. ۲۰۱۶, Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷). مواد متداول استفاده شده در بسته بندی مواد غذایی فلز، شیشه و کاغذ می‌باشد. در طول دهه‌ی گذشته، استفاده از پلیمرها و پلاستیک‌ها به دلیل قیمت پایین، شکل پذیری و تنوع در خواص فیزیکی جایگزین انواع دیگر بسته بندی مواد غذایی شده و تحولات زیادی در صنایع غذایی ایجاد کرده است. اما مشکل عمده‌ی آن‌ها احتمال وجود نفوذ پذیری گازها و دیگر مولکول‌های کوچک می‌باشد (EA ۲۰۱۶). از سوی دیگر این مواد از سوخت‌های فسیلی تولید شده که غیر قابل تجزیه هستند و باعث آلودگی محیط زیست و بروز مشکلات جدی برای محیط زیست می‌گردند (Wesley, Raja et al. ۲۰۱۴). برای افزایش کیفیت مواد غذایی و طراحی مواد بسته بندی برای تکمیل نیازهای صنعت بسته بندی مواد غذایی، تلاش‌های زیادی برای جایگزینی بسته بندی‌های جدید تجزیه پذیر که از منابع تجدید پذیر ساخته شده‌اند؛ انجام گرفته است (EA ۲۰۱۶). بسته بندی‌های مبتنی بر نانوتکنولوژی که به این منظور استفاده می‌گردد، تحول بزرگی در این صنعت پدید آورده است. با انتخاب صحیح مواد و فناوری مناسب در بسته بندی، می‌توان کیفیت و طراوت محصولات را تا زمان مورد نیاز حفظ کرد (Wesley, Raja et al. ۲۰۱۴). بسته بندی با استفاده از نانوتکنولوژی را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود: بسته بندی هوشمند، بسته بندی فعال، بسته بندی بهبود یافته (Pal ۲۰۱۷).

۳-۱) بسته بندی هوشمند

بسته بندی هوشمند شامل برچسب هایی است که سلامت و تازگی محصول را در طول زمان (TTIs) نشان می دهد و همچنین شامل حسگر های زیستی و برچسب های RFID می باشند. این سیستم شامل برچسب هایی بر روی کالا یا محصول است که به وسیله امواج رادیویی شناسایی می شود. با استفاده از سیستم RFID می توان از راه دور به وضعیت (ایمنی و کیفیت) محصول، بسته یا محیط بسته بندی نظارت کرد (Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷). این نوع از بسته بندی تولید کننده، فروشنده و مصرف کننده را از وضعیت محصول در مورد شرایط غذا یا محیط آن آگاه ساخته قابلیت شناسایی مواد شیمیایی، پاتوژن ها و سموم را در مواد غذایی دارد (Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷). این نوع بسته بندی با نانو سنسورهای تخصصی و دستگاه های نانو عوامل محیطی موثر بر مواد غذایی را به تاخیر می اندازند و همچنین راندمان انتقال اطلاعات در مورد رنگ، کیفیت، تازگی محصولات و... را در زمان توزیع افزایش می دهند (Berekaa ۲۰۱۵). از قابلیت های مواد بسته بندی هوشمند، قابلیت جذب اکسیژن مواد غذایی است که طی آن اکسیژن موجود در بسته بندی جذب می شود و به این ترتیب رشد میکروب ها متوقف شده و طعم و کیفیت غذا حفظ می گردد. از قابلیت های دیگر بسته بندی هوشمند عبور دی اکسید کربن و استفاده از مواد جاذب رطوبت می باشد. دی اکسید کربن می تواند رشد میکروب ها را در محصولات مانند گوشت قرمز، گوشت مرغ و پنیر متوقف سازد. از مواد جذب کننده ای که در بسته بندی هوشمند مورد استفاده قرار می گیرند، گاز اتیلن و مواد ضد میکروبی هستند. از نانو تکنولوژی در ساخت بسته بندی هوشمند برای افزایش طول عمر محصول، تولید پلیمرهایی با ویژگی های ممانعت کنندگی در برابر نفوذ گاز ها و رطوبت، ایجاد پوشش های کاربردی و ... استفاده می شود (Pal ۲۰۱۷).

۳-۲) بسته بندی فعال

در این روش، مواد فعال که به طور مستقیم و غیر مستقیم با مواد غذایی در تماس هستند توانایی تغییر ترکیب غذا و یا جو اطراف آن را دارند. این بسته بندی شرایط بسته را به گونه ای تغییر می دهد که موجب ایمنی، افزایش عمر نگهداری مواد غذایی، تقویت خواص مکانیکی و حرارتی، حفظ کیفیت و کاهش هزینه ها می گردد. بسته بندی ضد میکروبی نوعی بسته بندی فعال می باشد که در آن به کمک عوامل ضد میکروبی که در تهیه ماده بسته بندی برای جلوگیری از رشد و کاهش میکروارگانیزم ها استفاده می شود باعث افزایش ماندگاری محصول می شوند (Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷). در این بسته بندی استفاده از نانو مواد مانند؛ اکسید مس، نقره، اکسید نقره، اکسید تیتانیوم، اکسید منیزیم و نانولوله های کربنی که در ارتباط مستقیم با غذا یا محیط آن خواص ضد میکروبی را نشان می دهند؛ متداول می باشند. در این بین استفاده از نانو ذرات نقره در بسته بندی مواد غذایی به عنوان ماده ضد باکتری رشد چشمگیری داشته است (Berekaa ۲۰۱۵). بسته بندی فعال که بیشتر برای برنامه های ضد میکروبی توسعه یافته است (EA ۲۰۱۶). امیدهای زیادی را برای بهبود ایمنی، کیفیت مواد غذایی و عمر مفید محصولات غذایی ایجاد نموده است (Wesley, Raja et al. ۲۰۱۴).

با وجود پیشرفت های فراوانی که در علم تغذیه به وجود آمده، همچنان خطر عفونت با میکروارگانیسم ها مثل کپک، باکتری و ویروس وجود دارد که سلامت انسان را تهدید می کند. از آنجایی که به کار بردن مستقیم مواد ضد میکروبی در غذاها می تواند برای سلامت مصرف کنندگان مضر باشد؛ بسته بندی های ضد میکروب از اهمیت زیادی برخوردار شده است. یکی از این بسته بندی ها، بسته بندی بهبود یافته است که شامل زنجیره های پلیمری به همراه ۵٪ وزنی از نانوذرات و نانو کامپوزیت ها (Pal ۲۰۱۷) است که در محصولاتی مانند بطری های نوشیدنی گازدار، فیلم ها و روغن های خوراکی استفاده می شود. از مهمترین ویژگی های این نوع بسته بندی افزایش توانایی آنها در ممانعت از ورود گاز ها، تنظیم درجه حرارت، مقاومت در برابر رطوبت مواد غذایی و... است. استفاده از مواد نانو کامپوزیتی در علوم صنایع غذایی را اداره FDA تایید کرده است (Pal ۲۰۱۷ Wesley, Raja et al. ۲۰۱۴).

۴ کاربرد نانو تکنولوژی در بسته بندی مواد غذایی

دانشمندان، پتانسیل استفاده از فناوری نانو را تقریباً در همه ی بخش های صنایع غذایی شناسایی کرده اند. دو مورد از مهم ترین بخش ها، فرآوری مواد غذایی (بهبود بافت و کیفیت غذا) و بسته بندی مواد غذایی می باشد. در بین این دو مورد، نانو تکنولوژی بیشترین کاربرد را در بسته بندی مواد غذایی دارد زیرا آنها به صورت مستقیم به مواد غذایی اضافه نمی شوند و ساختار طبیعی ماده غذایی حفظ می شود. استفاده از نانو تکنولوژی در بسته بندی مواد غذایی سبب محافظت از مواد غذایی در مقابل عوامل بیماری زا و گازهای مضر خواهد بود. از نانوسنسورها در تشخیص آلودگی و ارزیابی مواد بسته بندی شده و همچنین محافظت مواد غذایی در مقابل اشعه ماوراء بنفش استفاده می شود. این فناوری موجب بهبود بسته بندی مواد غذایی و قابلیت های آن می شود و می توان برای تشخیص باکتری ها در بسته بندی مواد غذایی از آن استفاده کرد که این کار باعث ایجاد طعم و کیفیت بهتر غذا، افزایش ایمنی و خصوصیات ممانعت کنندگی در برابر نفوذ گاز و رطوبت، افزایش طول عمر مفید و جلوگیری از فساد مواد غذایی می شود (Keshwani, Malhotra et al. ۲۰۱۵, Pal ۲۰۱۷). به عنوان افزودنی هایی که به صورت کاربردی در صنایع بسته بندی مواد غذایی از آنها استفاده شده است؛ می توان به انواع نانو مواد؛ شامل نانو ذرات نقره، نیتريد تیتانیوم، اکسید روی و نانورس اشاره نمود (Pal ۲۰۱۷).

۴-۱ نانو کامپوزیت ها

پلیمر های تقویت شده با استفاده از نانوذرات، نانو کامپوزیت نامیده می شوند که استفاده از آنها در صنایع بسته بندی مواد غذایی توسعه یافته است. نانو کامپوزیت های پلیمری نسبت به پلیمرهای خالص دارای استحکام بیشتر، مقاومت بالا در برابر اشتعال، خواص حرارتی بهتر، نقطه ذوب و دمای انتقال گاز پایین و مقاومت مناسب در برابر شرایط رطوبتی هستند. در بیشتر موارد، از نانوذرات رس ۵٪ وزنی در ساختار نانو کامپوزیتها استفاده شده است. این نانو کامپوزیت بر پایه سیلیکاتهای لایه ای از رس به عنوان مثال مونت موریلونیت می باشند. استفاده از نانورس در طراحی نانو کامپوزیت ها منجر به ایجاد ویژگی هایی مانند مقاومت مکانیکی بالا، وزن کم، بهبود ویژگی های ممانعت کنندگی از عبور مایعات و گازها، جلوگیری از نفوذ اکسیژن و رطوبت مواد غذایی شده و به این ترتیب مانع از فساد مواد غذایی می شوند (Wesley, Raja et al. ۲۰۱۴). تعدادی از پلیمرهای زیستی شامل پلی آمید، نایلون، پلی الفین، پلی استایرن، رزین های اپوکسی، پلی اورتان، پلی اتیلن ترفتالات در طراحی نانو کامپوزیت ها بر پایه نانورس استفاده شده است. همچنین می توان با پلیمرهای

ترموست و ترموپلاست (پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی متیل متاکریلات) نانوکامپوزیت ها را تولید کرد (Berekaa ۲۰۱۵). گروه های تحقیقاتی، کار شناسایی و آماده سازی نانوکامپوزیت های پلیمری زیست تخریب پذیر مانند نشاسته و مشتقات آن، پلی لاکتیک اسید، پلی هیدروکسی بوتیرات و... را برای طیف گسترده ای از کاربردها آغاز کرده و مورد مطالعه قرار داده اند (Wesley, Raja et al. ۲۰۱۴). استفاده از نانوکامپوزیت های زیست سازگار در بسته بندی مواد غذایی علاوه از حفظ مواد غذایی، افزایش عمر مفید محصولات غذایی، باعث حل مشکلات زیستی و کاهش نیاز به استفاده از پلاستیک ها شده؛ (EA ۲۰۱۶) خواص مکانیکی، سایشی و حرارتی را که یک ویژگی مهم در مواد بسته بندی است را بهبود داده است (Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷). امروزه استفاده از فیلم های زیست تخریب پذیر پلیمرهای طبیعی خالص در بسته بندی به دلیل خواص مکانیکی ضعیف و عملکرد ضعیف در ورود و خروج گازها محدود شده است. اما نانوکامپوزیت ها به عنوان مکمل در فرمولاسیون فیلم های بسته بندی، امید گسترش استفاده از فیلم های طبیعی را افزایش داده اند (Keshwani, Malhotra et al. ۲۰۱۵). نانوکامپوزیت های پلیمری یا بیو نانوکامپوزیت ها مواد نانو ساختار هیبریدی با خواص مکانیکی، حرارتی و گازهای بهبود یافته هستند که به علت کاهش مصرف پلاستیک ها در بسته بندی مواد غذایی موجب آلودگی کمتر محیط زیست می شوند (Omanovic- ۲۰۱۶). این مواد پتانسیل و ثبات بیشتری را در صنایع بسته بندی فعال مواد غذایی برای حفظ فعالیت ضد میکروبی و کاهش انتقال مشتقات یون های فلزی به مواد غذایی بسته بندی شده را دارند (He and Hwang ۲۰۱۶).

۲-۴) نانوپوشش ها

نانوپوشش ها از چند دهه پیش مورد استفاده بودند؛ و در حال حاضر به طور وسیع کاربرد پیدا کرده اند (Wyser, Adams et al. ۲۰۱۶). نانوپوشش ها، لایه هایی هستند که عرض آن ها به اندازه ی چند نانو است؛ در واقع نانوپوشش یک پوشش مومی است که به طور قابل توجه و وسیعی به عنوان پوشش محصولات غذایی مانند پنیر و سیب مورد استفاده قرار می گیرد. نانوپوشش های خوراکی دارای نانو موادی به اندازه ۵ نانومتر است که با چشم غیر مسلح قابل رؤیت نیستند، و در مقیاس نانو، ویژگیهای زیادی در صنایع بسته بندی مواد غذایی بوجود آورده اند. نقش اصلی نانوپوشش ها محافظت از مواد غذایی و همچنین زیبا سازی سطوح بسته بندی شده است. از نانوپوشش های خوراکی در انواع مختلفی از مواد غذایی مثل؛ گوشت، سبزیجات، میوه ها، پنیر، آبنبات، شکلات، سیب زمینی سرخ شده و محصولات نانوایی استفاده شده است. به طور کلی نانوپوشش ها بیشتر برای جلوگیری از عبور گاز ها، رطوبت و چربی استفاده می شوند (Wesley, Raja et al. ۲۰۱۴، Keshwani, Malhotra et al. ۲۰۱۵). نانوپوشش ها؛ پوشش های آنتی باکتریال فاقد میکروب کش های شیمیایی هستند و در مقابل مواد شیمیایی، قلیایی و حرارت مقاوم بوده دارای انعطاف هستند. در واقع نانوپوشش ها لایه ظریفی هستند که منشاء آلی یا غیر آلی دارند و کار آنها جلوگیری از نفوذ و همچنین مهاجرت می باشند که در صنایع بسته بندی این پدیده سبب افزایش خصوصیات کمی و کیفی محصولات غذایی می شود. نانو پوششهایی که در ساختار آنها از موادی مانند تیتانیوم دی اکسید برای ضد عفونی کردن فتوکاتالیستی استفاده شده است (Thangavel and S ۲۰۱۴) به عنوان لایه محافظ شیمیایی عمل کرده و نقش اصلاح کننده ی سطح بازی می کند (Wyser, Adams et al. ۲۰۱۶).

تکنولوژی بیوسنسور، یک گزینه انتخابی مهم در بخش کشاورزی و صنایع غذایی است که برای اطمینان از کیفیت و ایمنی غذا با روش های مقرون به صرفه و سریع، کنترل محصولات و فرآیندها و تشخیص گازها در غذاهای بسته بندی شده به منظور یکپارچگی مواد بسته بندی شده به کار می رود (Thangavel and S ۲۰۱۴). در ساخت بیوسنسور ها از انواع مختلفی از نانومواد استفاده می شود که نانوذرات طلا یکی از آن ها می باشد، این مواد مزایای دیگری مانند اندازه مناسب، هزینه پایین، پاسخ سریع، دقت و حساسیت ایجاد می کنند. هدف از به کار بردن این مواد در سیستم های بسته بندی مواد غذایی شناسایی نانوذرات آزاد شده در مواد غذایی بسته بندی شده در مدت زمان کم می باشد، از دیگر کاربردهای آنها می توان به بهبود حساسیت و قابلیت تشخیص ترکیبات شیمیایی، باکتری ها، ویروس ها و مواد سمی اشاره کرد (Singh and Ikram ۲۰۱۷). این مواد می توانند بر کیفیت و طراوت مواد غذایی در طول نگهداری و شرایط بهداشتی آن نظارت کنند (Singh and Thangavel and S ۲۰۱۴, Dimitrijevic, Karabasil et al. ۲۰۱۵, Ikram ۲۰۱۷). نانوسنورها به عوامل محیطی مانند درجه حرارت، رطوبت، میزان اکسیژن، عوامل میکروبی و پاتوژن ها واکنش نشان می دهند و اطلاعات مفیدی را به تولید کنندگان و مصرف کنندگان در مورد شرایط نگهداری از مواد از نظر دما، تاریخ انقضا و... ارائه می دهند (Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷).

۴-۴) نانومواد

نانو مواد بسیاری در مقیاس صنعتی در مواد غذایی مختلف استفاده می شود (EA ۲۰۱۶). که از آن جمله می توان به نانورس ها، نانوذرات نقره، همچنین اکسید روی، دی اکسید سیلیسیم، دی اکسید تیتانیوم و... اشاره نمود. نقره، تیتانیوم دی اکسید، اکسید روی از مهم ترین مواد فلزی و اکسید فلزی هستند که در نانوکامپوزیت ها برای بسته بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می گیرند. در ادامه به معرفی چند مورد از این ذرات اشاره شده است (Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷).

۱-۴-۴) نانوذرات دی اکسید تیتانیوم

دی اکسید تیتانیوم در اندازه کوچک حدود ۱۰۰ نانومتر یا کمتر به عنوان بهبود دهنده مواد غذایی و ضد میکروبی در بسته بندی مواد و ظروف ذخیره سازی استفاده می شود (EA ۲۰۱۶). از ویژگیهای حضور دی اکسید تیتانیوم در ساختار بسته بندی می توان به افزایش قدرت مکانیکی و کمک به فرآیند بسته بندی اشاره نمود. این ماده نه تنها از پلاستیک ها در برابر اشعه ماوراء بنفش محافظت می کند؛ بلکه باعث تولید شدن اکسیژن فعال (اکسیژن نوزاد) در حضور اشعه ماوراء بنفش شده و به این ترتیب موجب تجزیه و تخریب میکروارگانیسم های بیماری زا می شود (Thangavel and S ۲۰۱۴, EA ۲۰۱۶). نانوذرات دی اکسید تیتانیوم از پرکاربردترین نانوذرات نیمه رسانا هستند که خواصی مانند آبدوستی، فتوکاتالیستی، جاذب نور ماوراء بنفش و آنتی باکتریال داشته برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم های مختلف از قبیل باکتری های گرم منفی و گرم مثبت و قارچ ها، به عنوان مواد افزودنی و ضد میکروبی برای مواد غذایی و ظروف ذخیره سازی در ساختار نانوکامپوزیت های پلیمری به کار رفته در بسته بندی استفاده می شود (Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷, Singh and Ikram ۲۰۱۷). برای مثال فیلم های بسته بندی که توسط دی اکسید تیتانیوم پوشش داده شده، برای کاهش آلودگی اشرفیا کلیفرم در سطح مواد غذایی استفاده شده است (Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷).

یکی از نانوموادى که به دلیل داشتن خواص ضد میکروبی در صنایع غذایی استفاده می‌شود نانوکامپوزیت های نقره می باشند (He and Hwang ۲۰۱۶). از نقره به عنوان یک ماده ضد میکروبی در صنایع غذایی و آشامیدنی به مقدار زیادی استفاده می‌شود؛ این ماده به دلیل غیر قابل نفوذ بودن نسبت به اکسیژن و رطوبت، از رشد باکتری ها و کپک ها در بسته بندی جلوگیری می‌کند و سبب افزایش ماندگاری محصول و عدم تغییر در ویژگی های ظاهری و خواص فیزیکی آن می‌شود. به خاطر خاصیت ضد باکتریایی و ضد بو بودن نانونقره، آن ها در صنایع بسته بندی مواد بهداشتی موارد استفاده فراوانی دارند (Thangavel and S ۲۰۱۴). چون این ماده خاصیت کاتالیزوری دارد، از آن در جذب و از بین بردن برخی مواد در صنایع بسته بندی استفاده می‌شود، به عنوان مثال، اتیلن که توسط خود میوه ها و سبزیجات تولید می‌شود، باعث رسیدن سریع آنها و کاهش زمان ماندگاری آنها می‌شود. در بسته بندی این نوع مواد غذایی برای جذب و تجزیه اتیلن و در نتیجه افزایش ماندگاری آنها از نانوذرات نقره در ساختار بسته بندی استفاده می‌شود (Singh and Ikram ۲۰۱۷). این نانو ذرات به صورت مخلوط با دیگر نانو مواد برای افزایش و بهبود ویژگی‌های مواد بسته بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به عنوان مثال مخلوط نقره با تیتانیوم دی اکسید و نانولوله های کربنی باعث افزایش خاصیت ضد میکروبی نقره در برابر اشرفیاکلیفرم و اسپورباسیلوس سرئوس می‌گردد (Berekaa ۲۰۱۵, Keshwani, Malhotra et al. ۲۰۱۵). در این فرآیند نانوذرات نقره، یون های نقره را آزاد می‌کند که توانایی اتصال به دیواره سلول های باکتری را دارد که در نهایت منجر به غیر فعال شدن آنزیم ها منجر می‌شود (Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷). به دلیل کم بودن اطلاعات در مورد اثرات این نانوذرات بر روی سلامت انسان و تاثیر آن بر اکوسیستم، نانوذرات به طور مستقیم به مواد غذایی و بسته بندی اضافه نمی‌شود (EA ۲۰۱۶). یکی دیگر از کاربرد های نانوذرات نقره، استفاده از آن‌ها به صورت نانوکامپوزیت می‌باشد. خواص فیزیکی و شیمیایی این مواد به گونه ای است که باعث به وجود آمدن گونه های اکسیژن فعال بر روی آن می‌گردد. در نتیجه موجب تنش اکسیداتیو (عامل اکسید شدن) و صدمه به سلولها می‌شود (He and Hwang ۲۰۱۶). بیونانوپلیمرهایی وجود دارند که از ترکیب ترکیبات طبیعی مانند نشاسته یا کیتوزان با نانوذرات نقره ساخته می‌شوند. استفاده از آن ها در بسته بندی مواد، خواص ضد باکتریایی خوبی به عنوان مثال در برابر باکتری هایی مانند اشرفیاکلیفرم و استاپیلیکوس آرتوس از خود نشان داده‌است (Rossi, Passeri et al. ۲۰۱۷). از کاربرد های دیگر نانوذرات نقره، استفاده از آن ها به صورت ژئولیت نقره است. فعالیت ضد میکروبی ژئولیت نقره به دلیل توانایی نقره در تولید گونه های اکسیژن اتمی است که مرگ سلول ها را در پی دارد (Berekaa ۲۰۱۵).

۳-۴-۴) نانوذرات اکسید روی

نانوذرات اکسیدهای فلزی مختلف مانند اکسید روی، اکسید منیزیم، نقره، آهن و... در صنایع بسته بندی کاربرد دارند (Wyser, Berekaa ۲۰۱۵), (Adams et al. ۲۰۱۶). در این میان یکی از پرکاربردترین اکسیدهای فلزی اکسید روی می‌باشد. این ترکیب سفید رنگ بوده و ساختار ورتزیتی داشته و پایداری مکانیکی بالایی دارد. دامنه‌ی کاربرد اکسید روی در زمینه های نانو به علت خواص پیروالکترونیک، پیروالکترونیک و نیمه هادی بودن وسیع می‌باشد. این ترکیب به علت زیست سازگار بودن، فعالیت در برابر اشعه ماوراء بنفش و خاصیت ضد باکتریایی خوب کاربرد های زیادی در زمینه پزشکی دارد (Berekaa ۲۰۱۵, Agriopoulou ۲۰۱۶).

نانوکامپوزیت های پلیمری یک سیستم دو فازی محسوب می شوند. این مواد از دو پلیمر آلی و معدنی که خود از لایه های سیلیکات است به وجود آمده اند. (EA ۲۰۱۶). نانوذرات رس به دلیل در دسترس و کم هزینه بودن و فرآیند پذیری بالا بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. از پرکننده های بی اثر مانند خاک رس، سیلیکات، نانوذرات سیلیس و... در نانوپلیمر ها استفاده می شود که نتیجه ی آن سبکی، استحکام، مقاومت در برابر حرارت و نفوذ ناپذیری در برابر گازها را می توان اشاره کرد (Berekaa ۲۰۱۵). به طور یقین، می توان گفت نانوذرات رس که در بسته بندی مواد غذایی به کار می روند؛ مهم ترین کامپوزیت ها هستند (EA ۲۰۱۶). این نانوکامپوزیت ها خود به دو دسته تقسیم می شوند: ۱) نانو کامپوزیت های درونی (۲) ساختارهای چند لایه با پلیمرهای متناوب (Agriopoulou ۲۰۱۶). از یو نانوکامپوزیت هایی که با مواد غیر معدنی مانند خاک رس ترکیب شده اند برای بسته بندی مواد غذایی استفاده می کنند. یکی از دلایل عمده و مزیت استفاده از این مواد سازگاری آن ها با محیط زیست است. (Omanovic-Miklicanin, Maksimovic et al. ۲۰۱۶). از جمله پلیمرهای زیستی که بر این اساس ساخته شده اند می توان پلی آمید، نایلون، پلی الفین، پلی استایرن و... را نام برد (Berekaa ۲۰۱۵). از ترکیب پلیمر و نانورس می توان در بسته بندی های غذاهای گوناگون مانند فرآورده های گوشتی، پنیر، غلات و آبمیوه و... استفاده کرد.

۵) خواص ضد میکروبی

عمده ترین کاربرد نانوتکنولوژی در بسته بندی مواد غذایی خاصیت ضد میکروبی آن هاست. استفاده از نانوتکنولوژی امید های فراوانی برای دست یابی به مواد غذایی با قابلیت های ایمنی بالا و افزایش زمان نگهداری و در نهایت ایجاد غذایی سالم تر را فراهم کرده است. به طور کلی هدف از بسته بندی مواد غذایی جلوگیری از فساد میکروبی و از بین رفتن مواد مغذی آن ها و در نتیجه افزایش زمان نگهداری مواد غذایی است. (Wyser, Adams et al. ۲۰۱۶). یکی از اثرات مخرب مواد غذایی بیماری های عفونت زاست که در اثر تماس با مواد غذایی به وجود می آید که منشا اولیه ی آن شیر است. بنابراین؛ از بین بردن باکتری ها در بسته بندی مواد غذایی یکی از موضوعات دارای اهمیت در روال فرآیندهای تولید؛ پردازش، حمل و نقل و همچنین ذخیره سازی مواد غذایی به شمار می آید؛ استفاده از نانومواد به دلیل خواص ضد میکروبی آنها سبب افزایش عمر مفید مواد غذایی شده است (He and Hwang ۲۰۱۶).

۶) نتیجه گیری

بسته بندی مواد غذایی یکی از مراحل مهم در تولید مواد غذایی است که اهمیت آن در ماندگاری و طول عمر مفید مواد غذایی بر کسی پوشیده نیست. در این بین استفاده از نانوتکنولوژی در بسته بندی مواد غذایی جایگاه ویژه ای دارد و روز به روز به ارزش آن افزوده می شود. اصل مهم و اساسی استفاده از این روش، حفظ ایمنی مواد غذایی است که در این راستا باید موضوعات مهمی از قبیل نوع بسته بندی (مانند هوشمند، فعال و بهبود یافته بودن) و میزان خواص ضد میکروبی آن (تعیین نوع نانوذرات مناسب برای دست یابی به خاصیت ضد میکروبی مورد نظر) مد نظر قرار گیرد. شایان ذکر است در بسته

بندی مواد غذایی از این مواد به عنوان ضد عفونی کننده، افزایش مقاومت در برابر نور و حرارت و جلوگیری از حمله انواع میکروارگانیسم ها و پاتوژن ها استفاده می شود در آخر اذعان به این نکته لازم است که، بسته بندی مواد غذایی و توجه به کیفیت آن در کنار توجه به مسئله زیست سازگاری مواد به کار رفته یک اولویت تعیین کننده بوده و نقش تعیین کننده ای در افزایش کیفیت مواد غذایی، کاهش مصرف مواد خام اولیه، کاهش ضایعات مواد غذایی، حفظ سلامت و شادابی فردی و اجتماعی و در نتیجه حفظ منابع ملی برای آیندگان دارد. به این منظور نانو مواد و استفاده از آنها در صنعت بسته بندی مواد غذایی فناوری جدیدی است که جایگاه خود را در این صنعت پیدا نموده و با رشد روز افزونی در حالت پیشرفت و توسعه می باشد. بنابراین ضروری است و پیشنهاد می گردد که صنایع مختلف غذایی در کنار تمام فعالیتهای تولیدی خود بخشی از سرمایه و وقت خود را برای تحقیق در افزایش و بهبود کیفیت بسته بندی محصولات خود با استفاده از تکنولوژی های مدرن صرف کنند و به این ترتیب نقش خود را در حفظ منابع ملی برای نسل آیندگان ایفاء نمایند.

منابع

- Agriopoulou, S. (۲۰۱۶). "Nanotechnology in Food Packaging." EC Nutrition ۱۱۳۷-۱۱۴۱.
- Berekaa, M. M. (۲۰۱۵). "Nanotechnology in food industry: Advances in food processing, Packaging and Food Safety." International Journal of Current Microbiology and Applied Science ۳۴۵-۳۵۷.
- Dimitrijevic, M., et al. (۲۰۱۵). "Safety aspects of nanotechnology applications in food packaging." Procedia Food Science ۵۷-۶۰.
- EA, H. (۲۰۱۶). "Nano-biotechnology breakthrough and food-packing industry- A Review " Microbial Biosystems Journal ۵۰-۶۹.
- He, X. and H.-M. Hwang (۲۰۱۶). "Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and assessment." Journal of Food and Drug Analysis I-II.
- Keshwani, A., et al. (۲۰۱۵). "Advancements of Nanotechnology in Food Packaging " World Journal of Pharmacy And Pharmaceutical Sciences ۱۰۵۴-۱۰۵۷(۰۴).
- Omanovic-Miklicanin, E., et al. (۲۰۱۶). "Application of nanotechnology in food packaging." ResearchGate.
- Pal, m. (۲۰۱۷). "Nanotechnology: A New Approach in Food Packaging." Journal of Food: Microbiology, Safety & Hygiene.
- Rossi, M., et al. (۲۰۱۷). "Nanotechnology for Food Packaging and Food Quality Assessment." Advances in Food and Nutrition Research.
- Singh, P. and S. Ikram (۲۰۱۷). "Nanotechnology in Food Packaging: An Overview " Journal of Advanced Materials ۱۹-۲۲.

Thangavel, G. and T. S (۲۰۱۴). "Nanotechnology in food industry-A review." International Journal of ChemTech Research ۴۰۹۶-۴۱۰۱.

Vahedi, Habib, et al (۲۰۱۵). "Investigation Factors affecting Migration Phenomenon from Plastic Packaging to Food Stuff" Journal of Clinical Excellence ۱۰۷-۱۲۰.

Wesley, S. J., et al. (۲۰۱۴). "Review on-Nanotechnology Applications in Food Packaging and Safety." International Journal of Engineering Research ۶۴۵-۶۵۱.

Wyser, Y., et al. (۲۰۱۶). "Outlook and Challenges of Nanotechnologies for Food Packaging." Packaging Technology and Science.