



کاربرد نانو فناوری در بسته بندی مواد غذایی

سال اول ■ شماره ۴



www.icanano.ir



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فهرست مطالب

۴	مقدمه
۶	بسته بندی مواد غذایی
۷	بسته بندی با خواص بهبود یافته
۹	بسته بندی فعال
۱۰	بسته بندی هوشمند
۱۲	بسته بندی بر پایه مواد زیستی
۱۴	نانومواد پایه نشاسته
۱۵	نانومواد پایه سلولز
۱۶	نانومواد پایه کیتوسان
۱۷	مسائل ایمنی و محیط زیستی نانوفناوری در بسته بندی
۱۸	نتیجه گیری و چشم انداز آینده

گردآورانگان

مینا شاکری دانشجوی دکتری نانومواد- دانشگاه تربیت مدرس کارشناس پلتفرم پلاسمای سرد مرکز صنعتی سازی نانوفناوری کاربردی

ایمیل: shakeri.mina.70@gmail.com

لینکدین: <https://www.linkedin.com/in/minashakeri>



نیکی دادگری کارشناسی ارشد مهندسی مواد و متالورژی گرایش شناسایی و انتخاب مواد- مهندسی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر کارشناس پلتفرم نانوالیاف مرکز صنعتی سازی نانوفناوری کاربردی

ایمیل: ndadgari@gmail.com

لینکدین: <https://www.linkedin.com/in/niki-dadgari-a71628137>





۱. مقدمه

امروزه نانوفناوری و استفاده از آن در صنایع غذایی و بسته بندی به عنوان یکی از موضوعات مهم در صنایع به شمار می رود. بسته بندی های مواد غذایی که به کمک نانوساختارها تولید شده اند، عمدتاً طول عمر قفسه^۱ بالاتری نسبت به محصولات مشابه دارند و در تولید آنها از موادی برای جلوگیری کاهش کیفیت غذا استفاده شده است. اخیراً تقاضا برای محصولات نانومتری به طور چشمگیری در کشورهای اتحادیه اروپا افزایش یافته است. میزان درآمد به دست آمده از نانومواد در سال ۲۰۱۵ حدود ۲/۵ میلیون دلار بوده و پیش بینی می شود این رقم تا سال ۲۰۲۲ به ۹ میلیون دلار برسد.

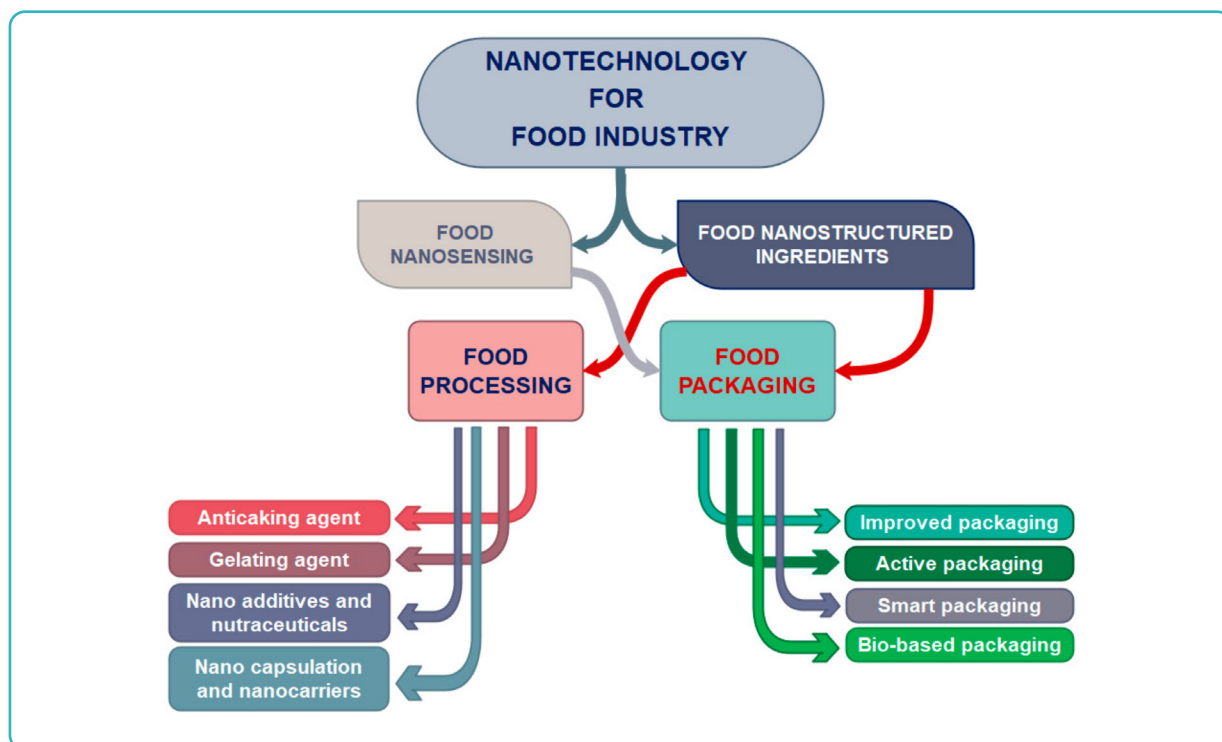
بسیاری از این مواد حاوی عناصر ضروری هستند، برخی از آنها غیر سمی هستند که می توانند در فشارها و دماهای بالا پایدار باشند. بهبود خواص نانومواد باعث توسعه آنها و همچنین افزایش عمر قفسه و تازگی مواد غذایی، بهبود طراحی محصولات و حفظ محیط زیست به دلیل استفاده از بسته بندی های تجزیه پذیر شده است.

با استفاده از نانوفناوری می توان بهبودهای قابل توجهی در سبک زندگی ایجاد کرد. نانومواد می توانند به توسعه محصولات بهبود یافته، ثروت، سلامتی و کیفیت شرایط بیفزایند. علاوه بر این، استفاده از نانومواد می تواند تأثیرات ناشی از آن بر محیط زیست را نیز کاهش دهد. با این وجود، استفاده از فناوری نانو در بسته بندی مواد غذایی هنوز در مرحله ابتدایی است. استفاده از نانومواد کاربردی مختلف می تواند موجب بهبود مواد برای بسته بندی، توسعه و کاربرد این نانومواد شود و در حال حاضر در صنعت بسته بندی مواد غذایی نیز در حال افزایش است.

با استفاده از فناوری نانو، نانوذرات را می توان در قالب یک نانو فیلم که می تواند نفوذپذیری و خروج گازهای خاصی را از بسته بندی با هدف کاهش غلظت، افزایش دهد. گازهای مضر مانند دی اکسید کربن (CO_2) یا اکسیژن (O_2) که تأثیر منفی روی ماندگاری مواد غذایی دارند و همچنین می تواند به عنوان مواد مانع برای جلوگیری از فساد توسط میکروبها استفاده شود.

از آنجایی که پلیمرهای غیر زیست تخریب پذیر پرمصرف ترین مواد در صنایع بسته بندی مواد غذایی می باشد و تهدیدی جدی برای انسان و محیط زیست به شمار می روند، تحقیقات علمی نیز بر سنتز پوشش های خوراکی متمرکز شده است که به عنوان بیونانوکامپوزیت ها و یا ماتریکس برای ترکیب مواد ضد میکروبی استفاده می شوند. با استفاده از بیومواد، ممکن است استفاده از مواد بسته بندی متداول کاهش یابد و عمر مفید و کیفیت نگهداری میوه و سبزیجات افزایش یابد. همچنین مشکل عظیم تولید زباله ممکن است با این راه حل، مرتفع شود. با این حال، استفاده از بیومواد در بسته بندی مواد غذایی هنوز بسیار محدود است.

کاربرد فناوری نانو در صنایع غذایی را می توان به دو گروه عمده تقسیم کرد که در شکل ۱ مشخص است: نانوحسگر مواد غذایی و مواد نانوساختار مواد



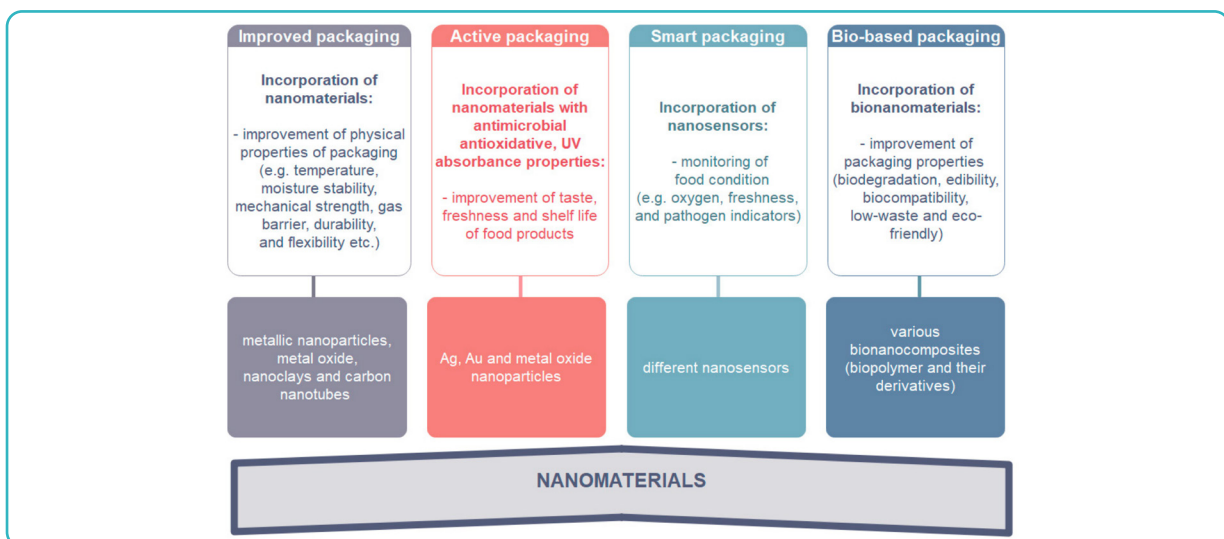
شکل ۱- کاربردهای نانوفناوری در صنایع غذایی

در زمینه فرآوری مواد غذایی، نانوساختارها و مواد نانوساختار را می‌توان برای موارد زیر استفاده کرد: (الف) افزودنی‌های غذایی و حامل‌ها برای رسانش هوشمند مواد مغذی، برای بهبود ارزش غذایی مواد غذایی، (ب) عوامل ضد انجماد. برای بهبود قوام غذا و جلوگیری از تشکیل توده، (ج) عوامل ژل کننده برای بهبود بافت غذا و (د) نانوکپسول‌ها و نانوحامل‌ها. برای محافظت از عطر، طعم و سایر مواد موجود در غذا. به طور کلی در حوزه استفاده از فناوری نانو در بسته بندی مواد غذایی، بسته بندی بهبود یافته، بسته بندی فعال، بسته بندی هوشمند و بسته بندی مبتنی بر مواد زیستی مورد توجه قرار می‌گیرد.



۲. بسته بندی مواد غذایی

بسته بندی مواد غذایی یکی از حیاتی ترین مراحل از نظر ایمنی مواد غذایی است. هدف از بسته بندی مواد غذایی در درجه اول جلوگیری از فساد و آلودگی، افزایش حساسیت با فعال کردن فعالیت آنزیم ها و کاهش وزن مواد غذایی است. در غذاهای ترکیبی، معمولاً جزء زیست فعال به دلیل محیط نامناسب تخریب و غیرفعال می شود و در نتیجه ماندگاری محصول کوتاه می شود. استفاده از مواد نانوساختار یا اصلاح شده با نانوذرات، روشی امیدوارکننده برای افزایش و تضمین ماندگاری یک محصول غذایی است. بسته بندی مواد غذایی را می توان با استفاده از نانومواد کاربردی از نظر فیزیکوشیمیایی، مانند پایداری دما و رطوبت، خواص ممانعتی، استحکام مکانیکی، دوام و انعطاف پذیری بهبود بخشید. بسته بندی را می توان با استفاده از نانومواد با عملکرد فعال، به عنوان مثال، ضد میکروبی، آنتی اکسیدان، محافظ اشعه ماوراء بنفش و غیره (بسته بندی فعال)، و یا استفاده از نانوحسگرها با عملکرد هوشمند برای تشخیص گازها و مولکولهای ریز آلی بهبود بخشید. بسته بندی بهبود یافته مبتنی بر مواد زیستی مانند زیست تخریب پذیری، زیست سازگاری، بسته بندی با زیاله کم و سازگار با محیط زیست نیز می تواند با استفاده از بیونانومواد به دست آید. پلیمرهای پلاستیکی تجزیه ناپذیر که معمولاً به عنوان بسته بندی های متداول عمل می کنند، ممکن است با بسته بندی های زیستی، از جمله بسته بندی های زیست تخریب پذیر و بسته بندی های زیست سازگار جایگزین شوند. بهبود خواص بسته بندی مواد غذایی بر اساس نانومواد کاربردی در شکل ۲ ارائه شده است.

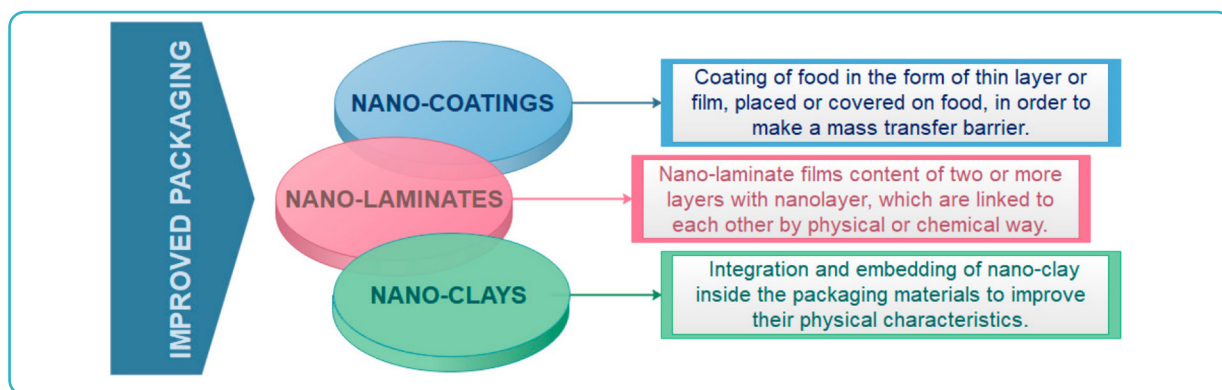


شکل ۲ - دسته بندی انواع مختلف بسته بندی مواد غذایی با استفاده از نانومواد



۳. بسته بندی با خواص بهبود یافته

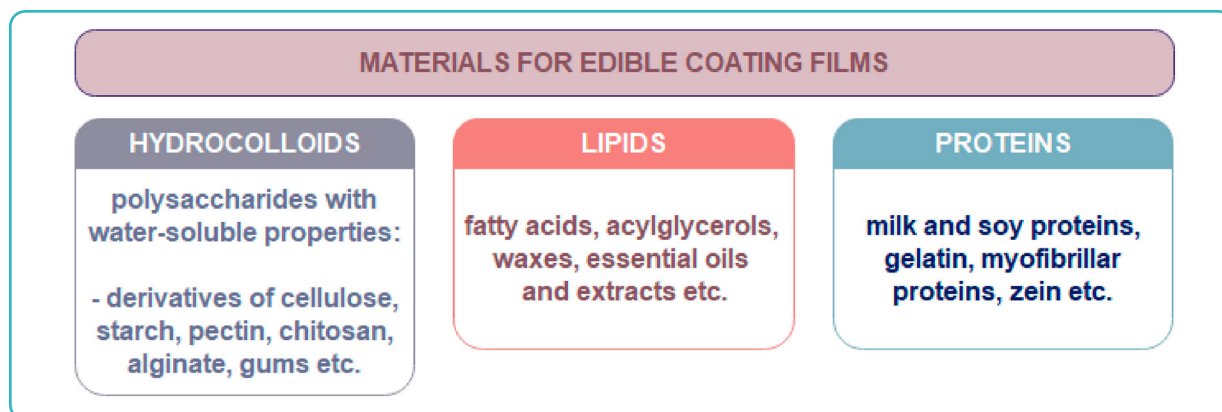
هدف اساسی بسته بندی های مواد غذایی با ترکیب نانومواد استفاده از آنها در مواد پلیمری برای افزایش خواص مکانیکی و فیزیکی مانند عدم نفوذپذیری گاز، مقاومت در برابر دما و رطوبت، استحکام مکانیکی و انعطاف پذیری می باشد. پیشتر از این نیز از موادی مانند نانورس در صنایع مختلف نوشیدنی و روغن، که در آن نسبت نانوذرات مانند خاک رس کامپوزیت های نانو ذرات تا ۵ درصد (وزنی/وزنی) است، استفاده می شود. این نانومواد خواص نفوذپذیری گازها مانند اکسیژن و دی اکسید کربن را تا ۸۰-۹۰٪ کاهش می دهند. در تحقیقی مشاهده شد که استفاده از رس دز پلیمر اتیلن-وینیل الکل (منجر به کاهش خواص کششی و شفافیت نوری به دلیل تشکیل تجمع های رس می شود. با افزودن تنها ۳ درصد (وزنی/وزنی) خاک رس، اکسیژن (۵۹ درصد) و سد بخار آب (۹۰ درصد) فیلم های نانوکامپوزیت در مقایسه با پلیمر متداول بهبود می یابند. یکی از تحقیقات بیان می کند که افزودن ۴٪ نانورس موجب افزایش خواص عدم نفوذپذیری پلی استایران تا ۵۱٪ می شود. روش های مختلف استفاده از نانوفناوری در بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳ - روش های نانوفناوری برای بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی بسته بندی

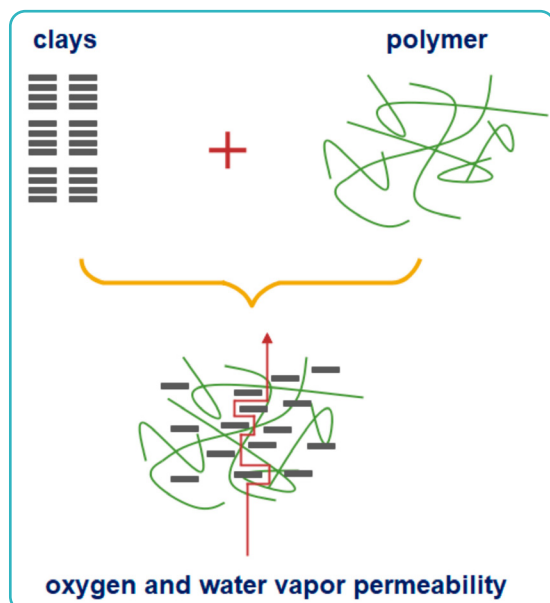
نانومواد مناسب برای بسته بندی مواد غذایی مزایای زیادی نسبت به مواد معمولی و متداول دارند. رایج ترین روش استفاده از نانوفناوری برای بهبود بسته بندی مواد غذایی، فرآیند پوشش دهی در مقیاس نانو است. اشکال مختلفی از پوشش مواد غذایی مانند لایه نازک یا فیلم ها را می توان برای پوشاندن مواد غذایی و جلوگیری از کاهش وزن آنها در نظر گرفت. همانطور که در شکل ۴ نیز مشخص است، این پوشش ها می توانند خوراکی باشند و به طور مستقیم روی غذا استفاده شوند؛ در حالی که پوشش های غیرخوراکی نقش یک محافظ را ایفا می کنند و جزئی از غذا به شمار نمی آیند. کاربرد نانو پوشش های خوراکی (پوشش های نازک حدود ۵ نانومتر) را می توان در صنعت فرآوری گوشت، صنعت کشاورزی

(برای حفاظت از میوه، محصولات سبزیجات)، صنعت پنیر و نانوائی در نظر گرفت که برای بهبود طعم و رنگ استفاده می شود و همچنین در مجاورت مواد غذایی به عملکرد آنزیم های آنتی اکسیدانی و ترکیبات ضد قهوه ای شدن محصولات کمک کنند. نانورس به دلیل خواص مکانیکی، حرارتی و عدم نفوذپذیری و هزینه کم، به عنوان یکی از نانومواد مناسب برای بسته بندی مواد غذایی مورد استفاده و مطالعه قرار می گیرند. جاذب های مختلف موادی مانند پلی الکترولیت های طبیعی (پروتئین ها، پلی ساکاریدها)، لیپیدهای باردار (فسفولیپیدها، سورفکتانت ها) و ذرات کلونیدی (میسل، وزیکول، قطرات) می توانند برای تشکیل لایه های مختلف برای بسته بندی مواد غذایی استفاده می شود.



شکل ۴ - مواد مورد استفاده در بسته بندی های خوراکی

پلیمرهای زیستی برای تهیه فیلم های زیست تخریب پذیر برای بسته بندی مواد غذایی باید قابل تجدید باشند، همچنین ارزان باشند و در صورت امکان از ضایعات تولید شوند. در میان مواد مناسب برای تهیه فیلم های زیست سازگار، پلی ساکاریدها مانند سلولز، کیتوسان، نشاسته، پکتین، آلژینات، کاراگینان، پولولان و کفیران بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته اند. این مواد می توانند پوششی تشکیل دهند که خاصیت بازدارندگی خوبی در برابر انتقال اکسیژن و کربن دی اکسید دارند. استحکام کششی آنها تقریباً مشابه پلیمرهای مصنوعی مانند فیلم های پلی اتیلنی است. ترکیب پلی ساکاریدها با سایر مواد برای بهبود خواص بازدارندگی و مکانیکی لایه های پوشش برای مواد غذایی، در حال حاضر بیشتر مورد مطالعه قرار می گیرد. معمولاً افزودن روان کننده ها (آب دوست برای افزایش و آبگریز برای کاهش نفوذپذیری بخار آب) برای تولید فیلم های مبتنی بر پروتئین و پلی ساکاریدها انجام می شود. روان کننده ها عملکرد مکانیکی را بهبود می بخشند، باعث کاهش کشش، سختی، چگالی، و ویسکوزیته مواد می شوند و علاوه بر این، انعطاف پذیری زنجیره پلیمری و همچنین مقاومت در برابر شکستگی را بهبود می بخشند. نرم کننده های رایج مورد استفاده در این حوزه شامل پلی ال ها، سلولزها، لیپیدها و سایر مواد طبیعی هستند. نانوکامپوزیت های پلیمری با ایجاد یک هم افزایی بین ماتریس پلیمری و قیمت نانورس، می توانند مثال خوبی برای بهبود خاصیت عدم نفوذپذیری باشند. در این بسته بندی ها، عمر قفسه افزایش می یابد و وزن سبک، مقاومت به حرارت از سایر خصوصیات آن است. در شکل ۵ مشخص است که نقاط تماس بین زنجیره های پلیمری به طور کامل با نانورس پوشانده شده است و به این صورت عمر بسته بندی افزایش یافته و از فساد غذا جلوگیری می شود. در حال حاضر استفاده از کامپوزیت های زیستی با الیاف طبیعی بسیار مورد توجه قرار می گیرد. این بسته بندی ها دوستدار محیط زیست هستند؛ از طرفی عملکرد ضعیف آنها در تحمل تنش یکی از نقاط ضعف آنها به شمار می رود. از مواد مورد استفاده در این زمینه می توان به فیلم های سلولزی و نشاسته ای، آلجینات، نانورس و نانوذرات نقره و تیتانیوم اشاره کرد.

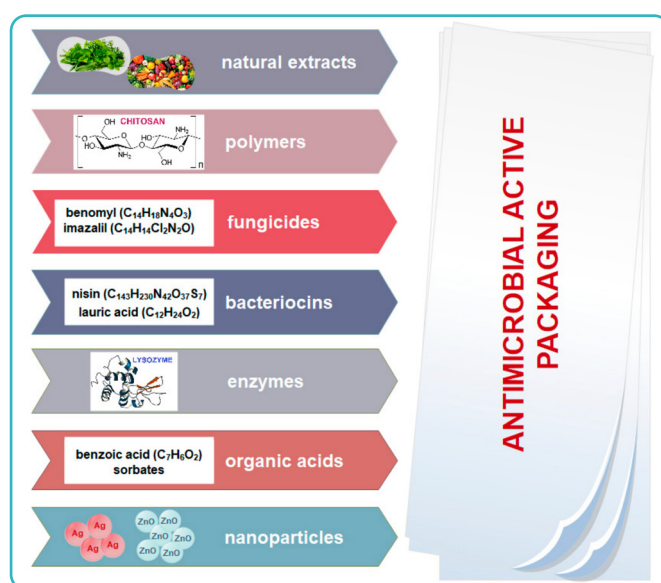


شکل ۵ - استفاده از نانورس برای افزایش بازدارندگی ماتریس پلیمری

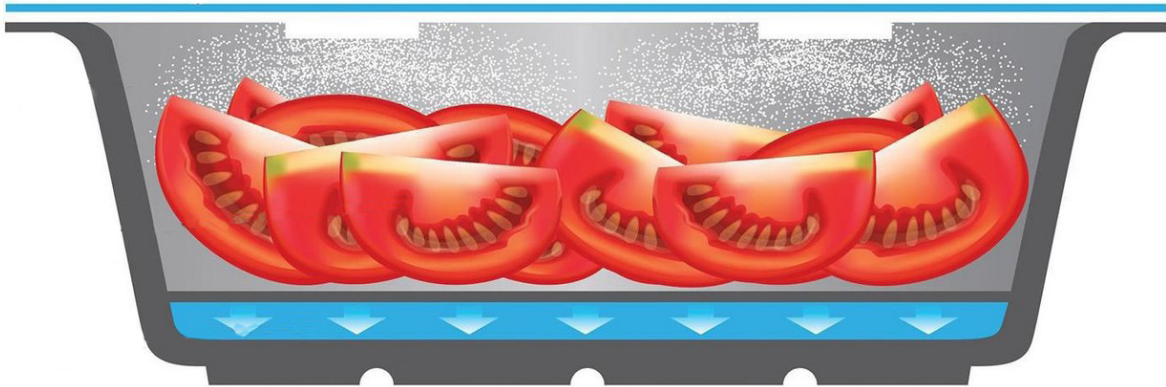


۴. بسته بندی فعال

حدوداً یک سوم از مواد غذایی مورد استفاده توسط انسان‌ها دور ریخته می‌شود و باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی می‌شود. به علاوه مشکلاتی برای سلامتی انسان نیز در این مسیر ایجاد می‌شود. بسته بندی فعال از روش‌هایی است که با کاهش هدررفت غذاها، به جلوگیری از این موضوع کمک می‌کند. این کار با کاهش استفاده از پلیمرهای متداول مانند پلی اتیلن، پلی پروپیلن و پلی اتیلن ترفتالات و همچنین کمک به به دام اندازی اکسیژن و آب محیط اتفاق می‌افتد. به دام اندازنده‌های متداول اکسیژن، اتیلن، بخار آب و کربن دی اکسید محیط را حذف می‌کنند و مانع از فساد میوه‌ها و سبزیجات و رشد میکروب‌ها روی آنها می‌شوند. بسته بندی‌های ضد میکروب از انواع این بسته بندی است که با موادی مانند نانوذرات نقره و روی، مواد طبیعی و فلزات و موادی از این دست تولید می‌شود.

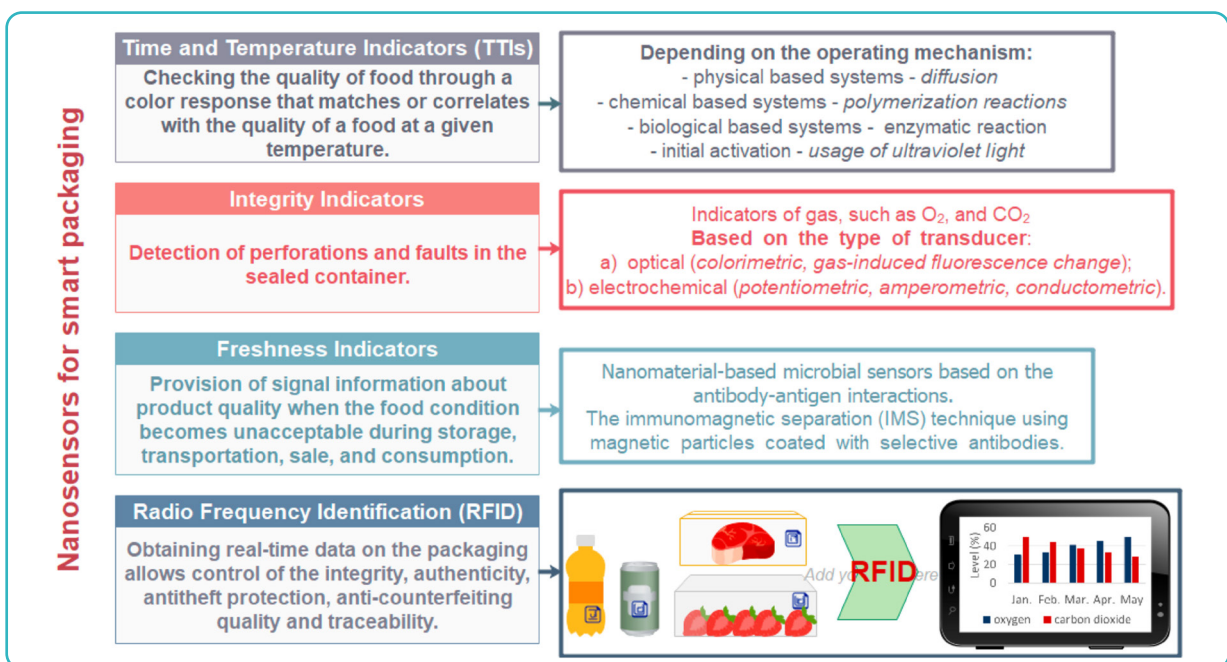


شکل ۶- مواد ضد میکروب مورد استفاده در بسته بندی فعال



۴. بسته‌بندی هوشمند

بهبود بسته‌بندی غذایی به شکلی که عملکرد هوشمندی داشته باشد با استفاده از نانوذرات جهت نظارت بر پیشرفت شیمیایی، بیوشیمیایی، و حتی میکروبی داخل غذا و محیط اطراف محصول قابل انجام است. بنابراین، پاتوژن‌ها و نانوسنسورهای گازی مشخص می‌تواند برای تشخیص فساد مواد غذایی بکار رود. به دلیل خواص نوری ویژه و سطح واکنش بالای نانومواد همچون نانوذرات فلزی یا نانوکریستال‌های فوتونیک، عملکرد بالاتری در مقایسه با آشکارسازهای کالریمتریک قدیمی از خود نشان می‌دهند. آشکارساز نوری در مقایسه با باقی نانوسنسورها به دلیل استفاده ساده و راحت آن بیشتر در بازار تجاری حضور دارد. با استفاده از نانوسنسورها، پاسخ به تغییرات پارامتر داخلی و خارجی مواد غذایی و/یا در محیط پیرامونی انجام می‌شود و اطلاعات حاصل به مصرف کننده جهت اطمینان از کیفیت و ایمنی غذا ارسال می‌شود. بنابراین، نانومواد متفاوتی با هدف بهبود و ارتقاء عملکرد بسته بندی استفاده می‌شوند.



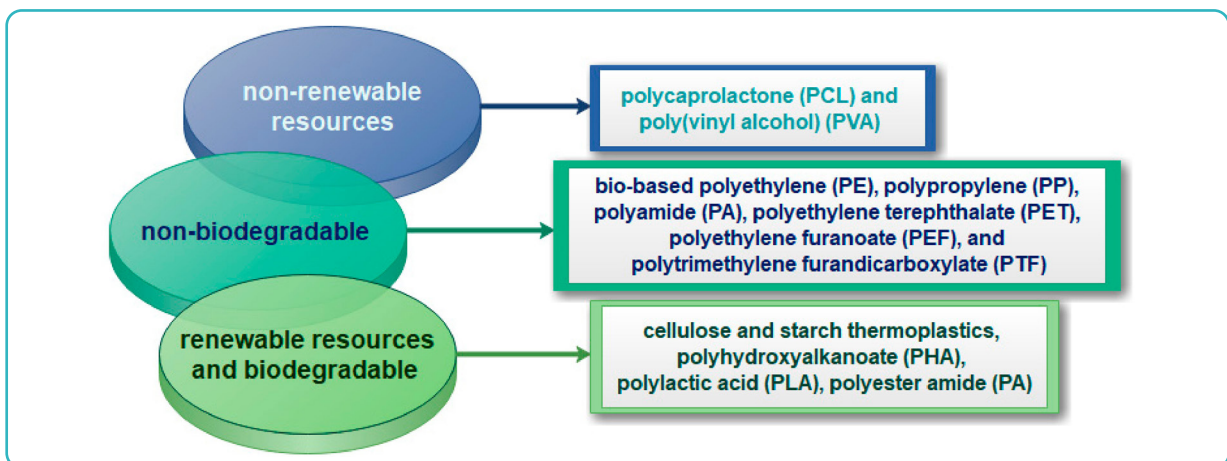
شکل ۷- نانوحسگرها در بسته بندی فعال مواد غذایی

نانوسنسورها پتانسیل بالایی در شناسایی، تشخیص، و ارزیابی سریع میکروارگانیسم‌های پاتوژن، مواد در حال فساد، و پروتئین‌های حساسیت‌زا دارند. نانوسنسورهای دست‌ساز در بسته‌بندی هوشمند جهت آنالیز غذا (تشخیص سموم، مواد شیمیایی، و پاتوژن‌های غذا) بکار می‌روند. زمانی که بسته‌بندی مواد غذایی با نانوسنسورهایی که به رطوبت، تشکیل گاز، یا تغییرات دما حساس هستند تجهیز شوند می‌توانند به عنوان مثال گازی که بر اثر فساد غذا تشکیل شده را تشخیص دهد و این تشخیص را با تغییر رنگ بسته‌بندی برای مصرف‌کننده آشکار کند. بسته‌بندی مواد غذایی حاوی نانوسنسورها به راحتی می‌تواند برای نظارت همزمان تازگی غذا، و کاهش الزامات تشخیص عمر محصول استفاده شود. چرا که نانوسنسورها می‌توانند به نشانگرهای شیمیایی، پاتوژن‌ها، و سموم در غذا پاسخ دهند. حسگر زیستی دستگاهی است که دارای عناصر سنجش زیستی متصل به یک مبدل است. آنالیزی که این حسگر شناسایی و اندازه‌گیری می‌کند ممکن است کاملاً شیمیایی یا حتی غیرآلی باشد، اگرچه ترکیبات بیولوژیکی هم ممکن است هدف آنالیزکننده قرار بگیرد. تنها تفاوت کلیدی در این است که عناصر شناسایی طبیعی زیستی دارند. حسگرهای زیستی نانو نتیجه ترکیب حسگرهای زیستی و فناوری نانو هستند. از کاربردهای متنوع حسگرهای زیستی نانو در حوزه بسته‌بندی مواد غذایی می‌توان به یافتن سموم و میکروب‌ها در مواد غذایی اشاره کرد که با موادی از قبیل نانولوله‌های کربنی، نانوذرات طلا و نانوذرات پایه آهن انجام می‌شود. علاوه بر این، حسگرهای نانو می‌توانند به عنوان حسگر کیفیت مواد غذایی در شناسایی مواد شیمیایی، آفت‌ها و ترکیبات ناپایدار مواد غذایی بکار روند.



۵. بسته‌بندی بر پایه مواد زیستی

نوع دیگری از بسته‌بندی مواد غذایی، بسته‌بندی پایه زیستی یا زیست-شیمیایی است که استفاده از این نوع بسته‌بندی روز به روز افزایش پیدا کرده است. بنابراین، انتظار می‌رود در سال‌های پیش رو بازار پلاستیک‌های پایه زیستی و/یا زیست تخریب پذیر مانند پلی اتیلن ترافتالات، پلی بوتیلن ساکسیلنت، و پلی لاکتیک اسید به شکل قابل توجهی افزایش پیدا کند. ظرفیت تولید جهانی پلاستیک‌های زیستی در سال‌های پیش رو بیش از ۱۵ درصد افزایش پیدا خواهد کرد، یعنی از حدود ۲/۱۱ میلیون تن در سال ۲۰۱۹ به ۲/۴۳ میلیون تن در ۲۰۲۴ خواهد رسید. مواد بسته‌بندی پایه زیستی در مقایسه با بسته‌بندی پلاستیک‌های رایج بیشتر دوستدار و حامی محیط زیست هستند. علاوه بر این، مواد زیستی بین ماده غذایی و محیط پیرامونش حفاظتی ایجاد می‌کند که از کاهش کیفیت ماده غذایی مانند آلودگی توسط میکروارگانیسم‌ها، تغییرات در شرایط گازی، و رطوبت نسبی محیط جلوگیری می‌کند. همچنین این مواد می‌توانند با استفاده از میکروارگانیسم‌های زنده تخریب شوند. به طور کلی، این مواد دوستدار محیط زیست هستند و به طور کامل به کربن دی‌اکسید، آب و توده زیستی تخریب می‌شوند. نانومواد مورد استفاده در بسته‌بندی پایه زیستی از منابع تجدید پذیر تولید می‌شوند، در نتیجه با سوزاندن مواد پایه زیستی می‌توان انرژی ذخیره کرد. مسیرهای گوناگونی در دهه گذشته جهت تولید مواد پایه زیستی توسعه پیدا کرده است. مواد پایه زیستی می‌توانند از توده‌های زیستی تجدیدپذیر یا منابع غیرتجدیدپذیر تولید شوند و زیست تخریب پذیر یا غیرزیست تخریب پذیر باشند.



شکل ۸ - مواد زیستی مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی

پلیمرهای زیست تخریب پذیر براساس منشاشان به سه دسته تقسیم می شوند: ۱) پلیمرهایی که حاصل توده های زیستی هستند مانند (پلی ساکاریدها، پلی نوکلئوتیدها، پلی پپتیدها، پروتئین ها و غیره)، ۲) پلیمرهایی که از مونومورهای زیستی یا ترکیبی از توده های زیستی و مواد شیمیایی-نفی تهیه شده اند مانند (پلی لاکتیک اسید یا پلی استر زیستی)، ۳) پلیمرهایی که توسط میکروارگانیسم ها تهیه شده اند مانند (سلولزهای باکتریایی، پلی هیدروکسی بوتیریت، زانتان و غیره). مشکلی که پلیمرهای زیست تخریب پذیر دارند گران بودن این دسته از پلیمرها در مقایسه با پلیمرهای پایه نفتی است. با این حال، به دلیل خواص منحصر به فرد این مواد، کاهش هزینه نهایی و در نظر گرفتن فاز طول عمر این مواد مورد انتظار است. از نظر مقیاس تولید، تبدیل محصول نهایی و موارد مربوط به لجستیک بهتر خواهد شد و تخمین زده می شود که قیمت مواد پلیمری پایه زیستی کاهش پیدا خواهد کرد.

علاوه براین، استفاده از فناوری نانو در آماده سازی / اصلاح پلیمرهای زیستی فرصت جدیدی برای بهبود خصوصیت های فیزیکی و شیمیایی پلیمرهای زیستی و کاهش اثر قیمت فراهم می کند. در حال حاضر، نانوکامپوزیت های زیستی رایجی که برای بسته بندی مواد غذایی استفاده می شود نشاسته و مشتقات آن همچون پلی لاکتیک اسید (PLA)، پلی هیدروکسی بوتیریت (PHB)، پلی بوتیلن ساکسینیت (PBS)، و پلی استر آلیفاتیک، کیتوسان، پروتئین ها، و سلولز است. بنابراین، پلیمرهای نانوکامپوزیت زیستی می تواند در کنار مواد دیگر جهت بهبود بسته بندی زیست-شیمیایی و بسته بندی حاوی عملکرد فعال استفاده شود.

از این بسته بندی ها می توان به بسته بندی های بر پایه نشاسته، مواد سلولزی و کیتوسان اشاره کرد.



۶. نانومواد پایه نشاسته

نشاسته ارزان، در دسترس، تجدیدپذیر، زیست تخریب پذیر است و قابلیت تشکیل فیلم را دارا است. بنابراین، نشاسته پلیمر زیستی آینده داری برای کاربرد در بسته بندی مواد غذایی است، اما در شکل بومی خود نشاسته دارای خواص ضعیف سدکنندگی، حساسیت به آب، و تردی است. استفاده از نشاسته در ترکیب با دیگر مواد جهت کاهش ضعف پلیمرهای طبیعی باعث افزایش استفاده از این ماده در صنایع مختلف به ویژه صنعت بسته بندی شده است. بهبود خواص مکانیکی، محافظت در برابر اشعه فرابنفش و آب نشاسته با کمک نانوذرات مختلفی همچون تیتانیوم اکسید، اکسید روی، گرافن، و PMMA در ساختار پلیمر نشاسته امکان پذیر است. به عنوان مثال اثر اکسید گرافن با غلظت های مختلف در عملکرد فیلم کامپوزیتی نشاسته/ پلی وینیل الکل / اکسید گرافن مورد مطالعه قرار گرفت. اضافه شدن اکسید گرافن (غلظت بهینه ۲ میلی گرم بر میلی لیتر) باعث بهبود خواص مکانیکی، عبوری، و نفوذ بخار آب به فیلم کامپوزیتی شد. خواص فیلم های آنتی باکتریال مورد استفاده در بسته بندی نانو در برابر E.Coli و S.aureus با استفاده از روغن و نانو ورق های گرافن اکسید تهیه شدند و خواص نوری و ضد اشعه UV دارند.



۷. نانومواد پایه سلولز

سلولز به دست آمده از زیست توده لیگنوسلولوزی به دلایل زیستی و ذات زیست تخریب پذیر آن بسیار مورد توجه قرار می گیرد. کاربردهای بالقوه زیادی در زمینه بسته بندی مواد غذایی با استفاده از انواع مختلف نانوسلولز مانند نانوفیبریل های سلولزی، نانوبلورها، نانوسلولز باکتریایی و نانومواد هیبریدی مبتنی بر نانوسلولز پیشنهاد شده است. نانوالیاف سلولزی، نانومواد سازگاری با محیط زیست هستند که پتانسیل بالایی در بسته بندی

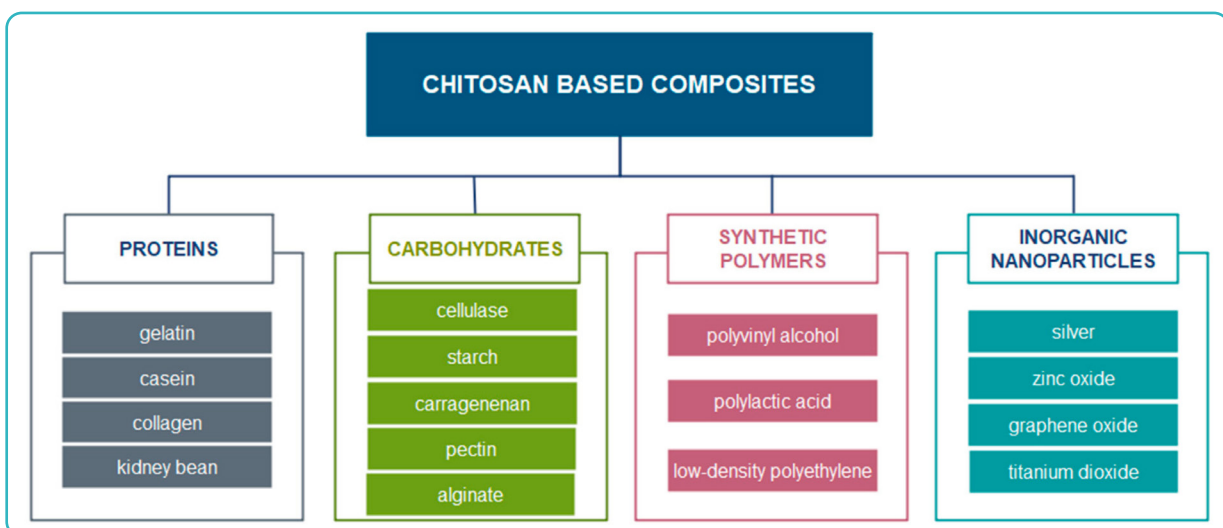
مواد غذایی دارند و همچنین از نظر اقتصادی به دلیل کاهش هزینه های تولید مورد توجه قرار می گیرند. از نانوذرات سلولز اغلب برای تقویت پلیمرها در بسته بندی استفاده می شود. مواد مختلفی مانند آلجینات، کیتوسان، پلی کاپرولاکتون، گلوکومانان، پکتین و غیره به عنوان یک ماتریس، با نانوذرات سلولز با تکنیک های مختلف ترکیب شده اند که منجر به تولید کامپوزیت های متنوع شده است. ساختار نانومقیاس و سطح ویژه بالای سلولز، منجر به ایجاد خواص چشمگیری در نانوکامپوزیت های سلولزی از نظر مکانیکی، زیستی تخریب پذیری، نوری و بازدارندگی شده است. نانوذرات سلولز در مقادیر بسیار کم خواص مکانیکی کامپوزیت های پلیمری را بهبود می بخشد؛ در مقابل تعداد بیشتر نانوذرات اضافه شده باعث تجمع و در نتیجه تضعیف خواص مکانیکی ضعیف می شود.





۸. نانومواد پایه کیتوسان

کیتوسان یکی از پلی ساکاریدهای مورد توجه صنایع مختلف است و دومین پلی ساکارید فراوان است که می توان آن را از منابع تجدید پذیر زیادی به دست آورد. با این حال، خواص ضعیف مکانیکی، حرارتی و بازدارندگی آن در مقایسه با پلیمرهای متداول، اشکال اصلی آن به شمار می رود. با استفاده از فناوری نانو، می توان عملکرد کامپوزیت تشکی شده از ماتریس کیتوسان با نانوذرات را بهبود بخشید. بنابراین، در حال حاضر، فیلم های کیتوسان به طور فزاینده ای به عنوان بسته بندی برای حفظ کیفیت غذاهای کنسرو شده استفاده می شوند. کیتوسان فعالیت ضد میکروبی بالایی در برابر طیف وسیعی از عوامل بیماری زا و میکروارگانیسم های فاسد کننده از جمله قارچ ها و باکتری های گرم مثبت و گرم منفی از خود نشان داده است. به طور کلی، کیتوسان با وزن مولکولی کمتر (کمتر از ۱۰ کیلو دالتون) فعالیت ضد میکروبی بیشتری نسبت به انواع دیگر کیتوسان دارد. همچنین کیتوسان هایی که فرآیند داستیلاسیون^۲ بیشتر در آنها انجام شده است، خاصیت ضد میکروبی بیشتری دارند. دو مکانیسم به احتمال برای بررسی فعالیت ضد میکروبی کیتوسان وجود دارد: (الف) اتصال کیتوسان به دیواره سلولی باکتری با بار منفی، که منجر به اختلال در سلول و در نتیجه نفوذپذیری غشا می شود، همانندسازی DNA منجر به مرگ سلولی می شود و (ب) عمل کیتوسان به عنوان در عامل دام اندازنده که می تواند عناصر فلزی را ردیابی کند و در نتیجه سموم ایجاد شده منجر به مهار رشد میکروبی می شود.



شکل ۹ - کامپوزیت های بر پایه کیتوسان مورد استفاده در بسته بندی مواد غذایی



۹. مسائل ایمنی و محیط زیستی نانوفناوری در بسته بندی

نانوفناوری یک حوزه به سرعت در حال توسعه است و نانومواد از اهمیت بالایی از نظر فنی و اقتصادی برخوردار هستند. در صنعت بسته بندی مواد غذایی، به طور کلی اثرات مواد نانوکامپوزیت و نانوذرات بر سلامت انسان، کمتر مورد مطالعات قرار گرفته است. مجاورت سیستم های غذایی با نانومواد، نگرانی هایی را در مورد سلامت انسان و حیوان ایجاد می کند. استفاده از نانومواد در کاربردهای نانوحسگر یا بسته بندی مواد غذایی می تواند منجر به حرکت نانومواد در بدن انسان شود و یا این حرکت از طریق استنشاق، نفوذ پوست یا بلع رخ دهد. برخی از مطالعات انجام شده امکان سمیت نانوذرات را ادعا کرده اند؛ با این حال، به نظر می رسد سمیت به نوع و اندازه نانوذرات بستگی دارد. مشهودترین نگرانی که در این میان وجود دارد، مسیر تماس نانومواد به بدن انسان در پس از بلع و مصرف مواد غذایی است. بنابراین، خواص دستگاه گوارش مانند pH، وجود مولکول های فعال سطحی مختلف، الکترولیت ها، آنزیم های دستگاه گوارش، میکروبیوتای روده و نیروهای مکانیکی بر جذب نانومواد تاثیرگذارند و باعث تغییر در خواص و حالت تجمع نانوذرات می شوند. به طور کلی مشخص است که برای استفاده از نانومواد در بسته بندی مواد غذایی باید پروتکل های معین و کنترل شده ای در نظر گرفته شود.



۱۰. نتیجه گیری و چشم انداز آینده

استفاده از نانومواد در زمینه های مختلف به شدت در حال افزایش است و تحقیقات جاری در بسته بندی مواد غذایی نشان می دهد که فناوری نانو گزینه های مختلفی را در این حوزه ارائه می کند. امروزه با توجه به تقاضای روزافزون برای انواع و ارقام غذاهای عجیب و غریب، بهبود بسته بندی مواد غذایی بر اساس نانومواد کاربردی با هدف دستیابی به غذای سالم و خوشمزه با خواص مکانیکی، حرارتی و بازدارندگی بالا، بیشتر مورد توجه قرار می گیرد و در نتیجه ارائه بسته بندی ایمن تر کالا، در آینده به طور فزاینده ای در صنعت پیشرفت خواهد کرد. همچنین استفاده از نانوحسگرها، اطلاعات بصری در مورد وضعیت غذای داخل بسته بندی و تازگی آن در اختیار مصرف کننده قرار خواهند داد. با این حال، برای درک بهتر مزایا و معایب نانوفناوری، نیاز به تحقیق و توسعه بیشتر است. در نتیجه لازم است، در این مسیر مواردی از قبیل سلامت جانداران زنده و همچنین منابع کره زمین مانند کربن، آب و خاک نیز در نظر گرفته شود.



پینوشت

1. Shelf life
2. Deacetylation

منابع و مآخذ

1. Primožič, Mateja, Željko Knez, and Maja Leitgeb. "[Bio] Nanotechnology in Food Science—Food Packaging." *Nanomaterials* 11.2 (2021): 292.

