نشریه علمی

تحقیقات در علوم مهندسی سطح و نانو مواد

سال ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲ ۱۵

مروری بر تکنولوژی و کاربرد بسته‌بندی‌های نانو و هوشمند در ماندگاری مواد غذایی

محمد ولایت‌زاده

گروه ایمنی صنعتی، موسسه آموزش عالی کاسپین، قزوین، ایران.

چکیده

نانوتکنولوژی به تولید و استفاده از موادی با ابعاد نانو مقیاس در زمینه‌های مختلف علم می‌پردازد. نانومواد به دلیل ابعاد نانومقیاس دارای نسبت سطح به حجم بالایی هستند که در مقایسه با جزء ماکرو آن‌ها خواص بسیار منحصر به فرد و خاصی به آن‌ها می‌دهد. نانوتکنولوژی بر چندین جنبه از صنایع غذایی، از نحوه رشد مواد غذایی گرفته تا نحوه بسته بندی آن، تأثیر می‌گذارد. شرکت‌ها در حال توسعه نانومواد‌ی هستند که در طعم و ایمنی غذا و فواید سلامتی و نوع بسته‌بندی و ماندگاری تفاوت ایجاد می‌کند. محصولات نانو برای بسته‌بندی مواد غذایی در حال حاضر در حال توسعه هستند. نانوحسگرها در بسته‌بندی‌های پلاستیکی می‌توانند گازهای خارج شده از مواد غذایی را در هنگام فاسد شدن و تغییر رنگ بسته‌بندی تشخیص دهند تا به شما هشدار دهد که غذا خراب شده است. فیلم‌های پلاستیکی در حال ساخت هستند که به مواد غذایی اجازه می‌دهد مدت بیشتری تازه‌تر بمانند. بسته‌بندی بخش مهمی از محصول است و یک ماده بسته‌بندی کامل باید استحکام، مانع و ویژگی-های عملکردی مطلوبی داشته باشد. بسته‌بندی مبتنی بر نانو مزایای متعددی نسبت به روش‌های بسته‌بندی مرسوم دارد و مواد بسته‌بندی بهتری را با استحکام و مانع بهتر ارائه می‌دهد. فناوری نانو فرصت های فوق العاده‌ای را برای پیشرفت‌های نوآورانه در بسته‌بندی مواد غذایی ارائه می‌دهد. استفاده از فناوری نانو مزایای بهبود عملکرد را از نظر موانع، خواص مکانیکی و فیزیکی-شیمیایی بسته‌بندی به همراه دارد که منجر به حمل ایمن مواد غذایی و افزایش عمر مفید می‌شود. با این حال، تحقیقات بیشتری باید در این زمینه انجام شود زیرا بسیاری از کاربردها در مرحله نوپایی هستند. علاوه بر این، مطالعات سم‌شناسی و مهاجرت نیز باید به طور گسترده برای اطمینان از ایمنی مواد غذایی انجام شود.

واژه‌های کلیدی: *بسته‌بندی‌های نوین، بسته‌بندی هوشمند، فناوری‌نانو، مواد غذایی*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۳

An overview of the technology and application of nano and smart packaging in the shelf life of food

Mohammad Velayatzade

Department of Industrial Safety, Caspian Institute of Higher Education, Qazvin, Iran.

Abstract

Nanotechnology deals with the production and use of materials with nanoscale dimensions in various fields of science. Due to their nanoscale dimensions, nanomaterials have a high surface-to-volume ratio, which gives them very unique and special properties compared to their macro components. Nanotechnology affects several aspects of the food industry, from how food is grown to how it is packaged. Companies are developing nanomaterials that make a difference in food taste and safety, health benefits, and packaging type and shelf life. Nano products for food packaging are currently being developed. Nanosensors in plastic packaging can detect gases released from food as it spoils and change the color of the packaging to warn you that the food has spoiled. Plastic films are being developed that allow food to stay fresher for longer. Packaging is an important part of the product, and a perfect packaging material must have good strength, barrier and performance characteristics. Nano-based packaging has several advantages over conventional packaging methods and offers better packaging materials with better strength and barrier. Nanotechnology offers tremendous opportunities for innovative developments in food packaging. The use of nanotechnology brings the benefits of improved performance in terms of barriers, mechanical and physico-chemical properties of packaging, which leads to safe transportation of food and increased shelf life. However, more research needs to be done in this area as many applications are in their infancy. In addition, toxicology and migration studies should also be conducted extensively to ensure food safety.

Keywords: *New packaging, smart packaging, nano technology, food*

Received: 25/04/2023

Accepted: 03/06/2023

نویسنده مسئول: محمد ولایت‌زاده

نشانی: قزوین، گروه ایمنی صنعتی، موسسه آموزش عالی کاسپین

پست الکترونیکی : mv.5908@gmail.com

۱. مقدمه

نانوتکنولوژی یک تکنولوژی قدرتمند در بکارگیری طبیعت در سطح اتم و مولکول بوده و بر روی خصوصیات، سنتز و دستکاری ساختار زیستی و غیر زیستی کمتر از ۱۰۰ نانومتر متمرکز شده است. در صنعت مواد غذایی، بسته‌بندی یکی از عوامل مؤثر در حفظ کیفیت و ایمنی غذا می‌باشد. استفاده از نانو کامپوزیت‌ها در ساختار پلیمرهای بسته‌بندی غذایی موجب بهبود خواص نگهداری پلیمرها می‌شود. کارایی بالای نانوذرات و نانولوله‌ها زمینه بکارگیری پلیمرهای زیست تجزیه پذیر را در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی فراهم نموده است [۱،۲]. برگزاری همایش‌هایی با موضوع فناوری نانو، راه‌اندازی کنسرسیوم‌هایی برای مواد غذایی بهتر و سالم‌تر، همچنین افزایش آگاهی مردم از طریق رسانه‌ها، مؤید تأثیرگذاری فناوری نانو بر صنایع غذایی است. انواع کاربردهای نانو در این زمینه شامل بسته‌بندی‌های هوشمند، مواد نگهدارنده و مواد خوراکی تعاملی[1] است که به مصرف کنندگان اجازه می‌دهد مواد غذایی را با توجه به ذائقه و نیاز غذایی مورد نظرشان تغییر دهند. بیشتر تولید کننده‌های بزرگ مواد غذایی مانند Nestle، Kraft، Heinz و Unilever برنامه‌های تحقیقاتی مشخصی در این زمینه دارند تا بتوانند سهم بازار خود را در دهه‌های آینده حفظ کنند. این بدان معنا نیست که مواد غذایی به طور اتمی تغییر پیدا کنند و یا با نانوماشین‌ها تولید شوند، زیرا امکان تولید غذاهای مولکولی با کمک نانو ماشین‌ها فعلاً عملی نیست.

فنّاوری نانو در بسته‌بندی غذا، یک پدیده در حال ظهور است که طی آن مواد بسته‌بندی برای بهبود ویژگی‌های حفاظتی، ممانعت کنندگی، مقاومت به حرارت و زیست تخریب - پذیری در مقایسه با پلیمرهای معمول دستکاری می‌شوند. این مواد همچنین برای گسترش سطوح ضد قارچی و ضد میکروبی و نشان دادن تغییرات ضد میکروبی و بیوشیمیایی فعالیت می‌کنند. صنعت بسته‌بندی غذا این پتانسیل را دارد که بیش‌ترین سهم بازار فنّاوری نانو را جذب کند. یکی از وظایف آن بهبود کیفیت و عمر نگه داری محصولات گوشتی از طریق ویژگی‌های ممانعت کنندگی و نوع اجزای در اندازه نانو (نانو کامپوزیت) [۳] زیست فعال داخل یا روی فیلم می‌باشد. نانوکامپوزیت یک نوع ماده جامد چند فازی است که با ذرّات در مقیاس نانو، فیبرها یا صفحات کوچک هستند که با ویژگی‌های مکانیکی و شیمیایی بهتری نسبت به کامپوزیت‌های معمول تهیه می‌شوند [٤].

فناوری نانو، طراحان را قادر می‌سازد ساختار عناصر بسته-بندی مواد غذایی را در مقیاس مولکولی تغییر دهند. از طریق افزایش ذرات نانو، می‌توان بطری‌ها و بسته‌بندی‌هایی با مقاومت نسبتا کم، عملکرد گرمایی و مکانیکی کمتر و جذب کم مواد فرّار و اکسیژن تولید کرد. این مشخصه‌ها می‌توانند سبب افزایش ماندگاری و حفظ رنگ محصول شوند؛ به ویژه استفاده از «نانوذرات نقره» در ظروف بسته‌بندی، به علت غیر قابل نفوذ بودن نسبت به اکسیژن و رطوبت، می‌تواند از رشد باکتری‌ها و کپک‌ها در بسته جلوگیری کند و در نتیجه، سبب افزایش ماندگار محصول و تغییر نکردن ویژگی‌های ظاهری و فیزیکی آن شود. ترکیبات نانویی که در بسته‌بندی‌ها به کار رفته‌اند، گاهی دارای خواص ضدمیکروبی هستند و در نتیجه خود بسته‌بندی، به‌عنوان یک عامل ضدمیکروب ایفای نقش می‌کند. پیش‌بینی می‌شود که در آینده، از ترکیبات نانویی دیگری مانند نانو اکسیدمنیزیم، نانو اکسیدمس، نانو دی-اکسیدتیتانیوم و نانولوله‌های کربنی نیز، در بسته‌بندی ضد-میکروبی مواد غذایی استفاده شوند. اما تاکنون، ثابت شده است که نانو ذرات نقره، کارآمدترین ضدمیکروب در مقابله با باکتری‌ها و ویروس‌ها هستند [٥،٦].

در تحقیقاتی که در مصر باستان انجام پذیرفت، مشخص شد که نوع رنگ به کار رفته بر روی ظروف سفالی یافته شده، از نوعی ذرات نانویی تشکیل شده است. این نوع رنگ را بر روی شیشه‌هایی که در برخی از ساختمان‌های باستانی به کار رفته بود نیز پیدا کرده‌اند. فناوری نانو را می‌توان به عنوان یاری رسان آینده صنایع بسته‌بندی به خصوص در دو زمینه بسته‌بندی مواد غذایی و کشاورزی به حساب آورد. فناوری نانو این توانایی را به بشر بخشیده است تا عمق ذرات، تا

[1] Interactive

حد مولکول، اتم و حتی ذرات کوچک‌تر از اتم را بشناسد و قادر باشد با انجام تغییراتی در این ذرات غیرقابل دسترسی، آنها را به صورت دلخواه خود تغییر داده و مورد استفاده قرار دهد. نکته‌ای که این فناوری را برای دانشمندان امروزی جالب توجه کرده و آن را به عنوان مرکز جدید توجه دانشمندان مختلف درآورده است، کاربرد فوق‌العاده وسیع این فن‌آوری در تمامی صنایع و حیطه‌های فعالیت خلق شده توسط بشر است. شاید باور این موضوع کمی برای مردم عادی و حتی برخی از دست‌اندرکاران این علم سخت و یا حتی غیرممکن باشد ولی از فناوری نانو حتی می‌توان در زمینه ساخت لوازم موسیقی نیز کمک گرفت [۷،۸]. تا سال-های قبل کمتر از ٤٠ محصول بسته‌بندی مبتنی بر نانو در بازار وجود داشت، ولی این میزان در حال حاضر به بیش از ٤٠٠ محصول افزایش یافته است. طبق این مطالعه در حال حاضر روندهای عمده بازار شامل بهبود کیفیت بسته‌بندی‌ها برای افزایش دوام مواد غذایی، کارکردهای آنتی باکتریال و هوشمند ساختن بسته‌بندی‌ها است. حجم بازار محصولات بسته‌بندی مبتنی بر فن‌آوری نانو از ۱۵۰ میلیون دلار در سال ۲۰۰۲ به ۹۸۰ میلیون دلار در سال ۲۰۰٦ افزایش یافته است. صنعت بسته‌بندی مواد غذایی به طور فزاینده‌ای در حال توسعه بوده و به سمت کارکردهای چندگانه حرکت می‌کند. نانوحسگرهای استفاده شده در بسته‌بندی، مصرف کننده را قادر می‌سازد تا از کیفیت مواد غذایی داخل بسته‌ها آگاه شود. حسگرها، اطلاعاتی درباره وضعیت محتویات داخل بسته‌ها از جمله فاسد شدن آنها در اختیار مصرف کننده قرار می-دهند. کشورهای چین و تایوان بخش قابل توجهی از بازار بسته‌بندی مبتنی بر فن‌آوری نانو را به خود اختصاص داده و رقبای خود را در این عرصه با چالش مواجه کرده‌اند [۹،۱۰]. تمایل به کاهش قیمت نانو مواد باعث افزایش اقبال عمومی به کاربردهای فناوری نانو خواهد شد. در حال حاضر تولید نانومواد و نانو لوله‌ها کاملا گران است. علاوه بر این، دسترسی به تمام خواص یک نانو ماده به آن سادگی که محققان ادعا کرده‌اند، نیست. تاکنون دسترسی به ٦٠ درصد خواص مورد نظر از بهترین نتایج علمی بوده است. همچنین جوهرهای هوشمند کاربردهای مختلفی در بسته‌بندی پلاستیکی دارند. جوهرهای هوشمند بعد از چاپ و خشک شدن، اطلاعاتی درباره بسته‌بندی و محتوای آن به ما خواهند داد. آنها می‌توانند هم به صورت بیرونی، مثلا برای دادن اطلاعاتی در مورد دمای بستر (جوهرهای ترموکرومیک) و هم به صورت درونی، مثلا برای دادن اطلاعاتی در مورد گاز موجود در بسته‌بندی اتمسر تغییر یافته استفاده شوند [۳،۱۱]. دانشمندان دانشگاه استراد کلاید انگلستان نیز توانسته‌اند جوهر آبی رنگی بسازند که بر پایه حلالی بازگشت‌ناپذیر است. این جوهر چنانچه در معرض نور ماورای بنفش قرار گیرد، تمام رنگ خود را از دست داده، نسبت به اکسیژن حساس می‌شود. این جوهر تنها زمانی رنگ اصلی خود را باز می‌یابد که در معرض اکسیژن قرار گیرد. این پدیده در تصمیم‌گیری به خریداران کمک می‌کند و آنها را متوجه تازه بودن یا نبودن بسته‌بندی مواد غذایی می‌نماید. این جوهر آشکارساز و بازگشت‌ناپذیر اکسیژن که بر پایه حلال است، از نانوذرات نیمه‌هادی فوتوکاتالیست، رنگ احیاکننده و محلول در حلال، افزودنی احیاکننده با قدرت متوسط و پلیمر تشکیل شده است [۱۲،۱۳].

در این مقاله کاربردهای بسته‌بندی نانو در صنایع غذایی (شامل نانو کامپوزیت‌ها در بسته‌بندی، بسته‌بندی فعال و ضدمیکروب، بسته‌بندی هوشمند و زبان الکترونیکی، بسته-بندی نانو و انتقال گازها، پوشش‌های خوراکی، بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر، بررسی ریسک‌ها و مخاطرات مربوط به بسته‌بندی نانو و بازار محصولات نانو) مورد بحث قرار می-گیرد.

۲. معرفی فناوری نانو

نانوفناوری یکی از جدیدترین علومی است که در آینده زندگی انسان را دگرگون خواهد ساخت. یکی از مهمترین زمینه‌های تاثیر گذاری فناوری نانو در زندگی انسان، صنعت مواد غذایی است که به دلیل احتیاج روزمره و دائمی انسان به غذا هرگونه تغییر و تحولی در آن نقش به سزایی در تغییر کیفیت زندگی انسان خواهد داشت. نانوفناوری و علم نانو از پتانسیل قوی برای بهبود اقتصاد و استانداردهای زندگی

بشر برخودار است و کاربرد آن در حوزه‌های مختلف از جمله ساخت مواد، الکترونیک و رایانه، پزشکی و بهداشت، امنیت ملی و دفاعی روز به روز بیشتر می‌شود. مهمترین ابزار نانو فناوری ساخت نانو مواد است که در شاخه‌های مختلف علوم از جمله علوم غذا کاربرد دارند. از جمله کاربردهای نانو مواد در علوم غذا و صنایع غذایی، می‌توان به بسته‌بندی، تولید غذاهای ملکولی، برچسب گذاری و پایش، افزودنی-های غذایی، غذاهای دارای انتشار مخصوص در بدن و روکش کردن آنزیم‌ها اشاره نمود.

۲. ۱. بسته‌بندی‌های فعال

انواع بسته‌بندی‌های فعال حاوی موادی با عملکردی خاص هستند و شبیه به بسته‌بندی‌هایی که از ورود اکسیژن و فساد غذا جلوگیری می‌کنند، می‌باشند. این نوع بسته‌بندی شامل جایگزینی نانو مواد به جای پلی وینیل استات و پلی وینیل الکل در ظروف بسته‌بندی مقوایی و استفاده از بطری‌های پلاستیکی ساخته شده از مواد نانوکامپوزیت و استفاده از لایه‌های پلاستیکی ضد قارچ و ضد باکتری که دارای طول عمر بیشتری نیز هستند، می‌باشند [۱۴،۱۵].

۲. ۲. بسته بندی‌های هوشمند

بسته بندی‌های هوشمند به تغییرات محیط واکنش نشان می-دهند. تولید بسته‌بندی‌هایی که توانایی بازتاب گرما از یک بستنی یخی را داشته، می‌توانند آن را از ذوب شدن در یک محیط گرم حفظ کنند، تولید بسته‌بندی‌هایی که می‌توانند خود را ترمیم کنند، بسته بندی‌هایی که می‌توانند در شرایط خاص، خواصشان را تغییر دهند مانند بسته‌بندی‌هایی که بتوانند فاسد شدن شیر را با تغییر رنگ نشان دهند، از انواع بسته‌بندی‌های هوشمند هستند[۱۶،۱۷].

۳. کاربرد فناوری نانو

فناوری نانو به تکنیک طراحی، توصیف، تولید و کاربرد ساختار و ابزار سیستم‌ها در مقیاس نانو اطلاق می‌شود. علم نانو تکنولوژی یکی از دانش‌های نوین و روش‌های جدیدی است که برای ایجاد تحول و نوآوری در صنعت بسته‌بندی مد نظر قرار گرفته است. هدف استفاده از دانش نانو بهبود کیفیت و کارایی مواد بسته بندی، آگاه ساختن مصرف کننده از پارگی‌ها و سوراخ‌های کوچک و ترمیم آن با توجه به شرایط محیطی می‌باشد. یکی از مهمترین زمینه‌های تاثیرگذاری نانوفناوری در زندگی انسان، علم غذا است که به دلیل احتیاج روزمره و دائمی انسان به غذا هرگونه تغییر و تحولی در آن نقش به سزایی در تغییر کیفیت زندگی انسان خواهد داشت. فناوری نانو می‌تواند در مواردی مانند افزایش مقاومت به نفوذ در پوشش‌ها، افزایش ویژگی‌های دیواره (مکانیکی، حرارتی، شیمیایی و میکروبی)، افزایش مقاومت در برابر گرما، گسترش ضدمیکروب‌های فعال و سطوح ضدقارچ کارساز باشد. فناوری نانو علاوه بر بسته‌بندی، تأثیر زیادی روی گسترش مواد غذایی کاربردی و تعاملی دارد؛ موادی که به نیازهای بدن پاسخ داده، می‌توانند در رسانش مواد غذایی مؤثر باشند [۱۸،۱۹].

٤. اهمیت فناوری نانو

امروزه بسیاری از کشورهای جهان به توانایی فناوری نانو در صنایع غذایی پی‌برده‌اند و در حال سرمایه گذاری قابل توجهی در این راه هستند. موسسه استاندارد مواد غذایی انگلستان تحقیقاتی برای دستیابی به توانایی استفاده از فناوری نانو در غذا و مشخصاً بسته‌بندی مواد غذایی ترتیب داده است. همزمان دولت این کشور نیز بودجه بیشتری برای تحقیق و توسعه در زمینه غذاهای کاربردی، سیستم‌های رسانش مواد غذایی و شیوه‌های بهینه‌سازی ظاهر غذا مانند رنگ، مزه و غلظت در نظر گرفته است. با افزایش تأثیرات فناوری نانو بر صنایع غذایی و ورود این محصولات به بازار مصرف، اهمیت سلامت این دسته از مواد غذایی بیشتر مطرح می‌شود [۲۰].

۵. فناوری نانو در بسته بندی

امروزه بسته‌بندی و پالایش مواد غذایی یکی از عمده‌ترین زمینه‌هایی است که بصورت هوشمند در آمده‌اند و این بدان معنا است که این بسته‌ها به شرایط محیطی واکنش نشان می‌دهند یا در صورت خراب و سوراخ شدن خود را تعمیر و ترمیم می‌کنند و یا حتی مصرف کننده را نسبت به وجود

آلودگی و یا حضور عوامل بیماری‌زا در بسته، آگاه می‌سازند. در حال حاضر پژوهشگران هلندی در زمینه بسته‌بندی‌های هوشمند یک گام به جلو برداشته‌اند. آن‌ها بسته‌بندی‌هایی را طراحی کرده‌اند که به محض شروع فساد در ماده غذایی داخل بسته، از خود ماده نگهدارنده آزاد می‌کند. این نوع بسته‌بندی که آزاد شدن به دستور نام دارد توسط یک سوییچ زیستی، که به روش نانو فناوری ساخته شده فعال می‌شود. مواد بسته‌بندی ضدمیکروب نیز از دیگر دستاوردهای نانو فناوری در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی است و حتی در آینده می‌توان مواد ضدمیکروب را بصورت مستقیم، به فیلم-های بسته‌بندی وارد نمود. همچنین با استفاده از لایه نانو کامپوزیتی می‌توان تعامل اکسیژن خارج از بسته‌بندی را با غذا کاهش و یا طعم دهنده‌ها و نگهدارنده‌های غذا را افزایش داد. با استفاده از نانو حسگرها می‌توان عوامل بیماری‌زا، تغییرات دمایی، ترشح را در داخل بسته تشخیص داد [۲۱،۲۲].

٦. فناوری نانو و بسته‌بندی مواد غذایی

با علم به قابلیت‌های فناوری نانو امید است بتوان سیستم‌های فعلی فرآوری مواد غذایی را تغییر داده، محصولاتی مطابق با فرهنگ تغذیه سالم به بازار عرضه کرد. محققان همچنین امیدوار هستند بتوانند با استفاده از مواد افزودنی، کیفیت مواد غذایی و هضم و جذب غذا را در بدن افزایش دهند. اگرچه بعضی از این اهداف دور از انتظار به نظر می‌رسد، اما امروزه صنایع بسته‌بندی از فناوری نانو در محصولات خود کمک می‌گیرند. پیشرفت در بسته‌بندی هوشمند برای افزایش عمر مفید محصولات غذایی، هدف بسیاری از شرکت‌هاست. فناوری نانو می‌تواند در مواردی مانند افزایش مقاومت به نفوذ در پوشش‌ها، افزایش ویژگی‌های دیواره (مکانیکی، حرارتی، شیمیایی و میکروبی)، افزایش مقاومت در برابر گرما، گسترش ضد میکروب‌های فعال و سطوح ضد قارچ کارساز باشد. چشم‌اندازهای مالی فناوری نانو، صنایع بسته-بندی را پر رونق نشان می‌دهد. سهم بازار این صنعت در سال ۲۰۱۰ به ۷/۳ میلیارد دلار رسیده است. با این وجود، صنعت بسته‌بندی هوشمند از آنچه پیش بینی شده بود جلوتر رفته و نشانه‌های تکامل آن به خوبی پیداست [۲۲،۲۳].

۷. ماندگاری مواد غذایی بسته بندی شده

نانوکامپوزیت‌ها بسیار سبک هستند و به دلیل خواص ممانعت کنندگی‌شان، برای بسته‌بندی ماءالشعیر بسیار مناسب هستند. از نانوکامپوزیت‌های خاک رسی نیز می‌توان برای تولید مواد اولیه بطری‌های ماءالشعیر استفاده کرد. مهم-ترین خصوصیت این مواد، بازدارندگی آنان از خروج گاز دی‌اکسیدکربن در این نوشیدنی‌هاست. استفاده از فناوری نانو خروج دی‌اکسیدکربن را در این نوشیدنی‌ها به حداقل می‌رساند. قابل توجه است که تولیدکنندگان ماءالشعیر و نوشیدنی‌های تخمیری سال‌هاست به دنبال ممانعت کننده‌ای می‌گردند که این گاز را در داخل بطری‌ها برای مدت زمان طولانی نگهداری نماید.

یکی دیگر از موارد استفاده نانو در صنعت تولید نوشیدنی‌ها که می‌توان آن را یک معجزه بزرگ نام نهاد، تسترهای نانو هستند که می‌توان از آن‌ها در تست طعم و مزه انواع نوشیدنی‌ها سود برد. در حقیقت این وسیله یک زبان الکترونیکی است. البته نانو هدایای دیگری نیز برای صنعت بسته‌بندی مواد غذایی به همراه داشته است که شاید مهم‌ترین آنها فیلم‌های نانو باشد. این فیلم‌ها قادرند باعث افزایش زمان ماندگاری محصول تولید شده شوند و به این ترتیب به محیط‌زیست نیز کمک می‌کنند زیرا محصول با زمان ماندگاری بیشتر یعنی هدر رفت کمتر مواد. به علاوه به دلیل ضخامت اندک این فیلم‌ها، از انعطاف‌پذیری بالاتری نسبت به فیلم‌های معمولی برخوردار هستند. این نازکی در شفافیت این فیلم‌ها نیز موثر بوده و به زیبایی محصول نیز کمک می-کنند. البته نازکی فیلم‌های نانو، به این معنی نیست که آنها از مقاومت و استحکام مناسبی برخوردار نیستند بلکه از فیلم-های معمولی نیز محکم‌تر هستند. این فیلم‌های نانویی در برابر گرمای محیط، مقاومت بالاتری داشته و برای پرکنی داغ نیز بسیار مناسب هستند [۱،۱۰،۱۲].

از دیگر مزایای این فیلم‌ها مقاومت در برابر ضربه است. واضح است که همین فیلم‌ها به تنهایی موفق شده اند بسیاری از خواسته‌های دست اندرکاران بسته‌بندی را یک جا برآورده سازند و حتی از آن نیز فراتر رفته و به نگرانی‌های زیست محیطی نیز پاسخ داده است و در صرفه‌جویی در مصرف انرژی نیز نقش مهمی ایفا نموده است. یکی دیگر از موارد کاربرد نانو در ممانعت‌کنندگی استفاده از پوشش‌های اکسید-آلومینیوم در مقیاس‌های نانو است که بسیار شبیه به اکسید-سیلیس بوده اما از ممانعت‌کنندگی بهتری برخوردار است. از دیگر هدایای نانو، برای صنعت بسته‌بندی می‌توان به انواع حس‌گرهای تولیدی این صنعت اشاره نمود. یکی از معروف‌ترین و کارآمدترین این حسگرها، حسگرهای RFID هستند که کمک بسیار زیادی به جلوگیری از فاسد شدن مواد غذایی بر روی قفسه فروشگاه‌ها و داخل یخچال منازل می‌کند. فیلم‌های متالایز از دیگر دست آوردهای نانو است. این فیلم‌ها با این که از چند لایه مختلف و در نهایت از یک لایه فلز تشکیل شده‌اند، تنها ٤٠ تا ٥٠ نانومتر ضخامت دارند و به راحتی می‌توان از آنها به عنوان جایگزین فیلم‌ها و ورقه-های فویل آلومینیوم استفاده کرد. این فیلم‌های متالایز از خواص ممانعت‌کنندگی بسیار مطلوبی برخوردار هستند و می‌توان آنها را در بسته‌بندی موادی که به اکسیژن حساس هستند، به کار برد. یکی از دست آوردهای نانوکلای‌ها[1] هستند. این نوع خاک رس به راحتی در بخش‌های مختلف تولید فیلم قابل استفاده است و از آن می‌توان به عنوان یک بازدارنده بسیار مطلوب در صنایع نوشیدنی سود برد. راندمان بالای نانوکلای‌ها شاید بارزترین ویژگی آن باشد. اگر تنها ۱۰ درصد از مواد تشکیل دهنده یک فیلم از نانوکلای‌ها باشد تا ۷۵ درصد خاصیت بازدارندگی در آن محصول ایجاد می-نماید. به علاوه از سختی مناسبی نیز برخوردار است. یکی از شاهکارهای نانوکلای‌ها، خاصیت اشتعال ناپذیری آن می-باشد. پلاستیک از اشتعال‌پذیری بالایی برخوردار است که با استفاده از نانوکلای‌ها به عنوان یک لایه پوشش دهنده، می-توان این خاصیت را از پلاستیک گرفت و ایمنی آن را تا حد بسیار بالایی افزایش داد. از نانوکلای‌ها می‌توان حتی در تولید درب پوش‌ها نیز استفاده نمود و برای انواع مایعات نوشیدنی و غیر نوشیدنی مناسب می‌باشد. کاربرد نانو در بسته‌بندی‌های اکتیو (فعال) نیز کاملا مشهود است زیرا در این بسته‌بندی‌ها، مهم‌ترین نگرانی در مورد جذب و مصرف اکسیژن است. به علاوه خاصیت ضدمیکروبی نیز برای این نوع بسته‌بندی بسیار مهم است که محصولات نانو به خوبی به این نیاز پاسخ می‌دهند. مهم‌ترین نگرانی موجود در صنعت بسته‌بندی، نگرانی‌های زیست‌محیطی است[٢٤].

حسگرهای دمایی و اکسیژن برای رفع چنین نگرانی‌هایی طراحی شده‌اند. حسگرهایی نیز برای اعلام فساد باکتریایی و یا سمی، طراحی و تولید شده‌اند. این حسگرها را می‌توان مانند برچسب‌های RFID به صورت مجزا از بسته‌بندی تولید نمود و یا آنها را داخل فیلم‌های مختلف بسته‌بندی و به عنوان بخشی از فیلم تولید کرد. این فیلم‌ها با تغییرات اسیدی رخ داده در غذا، تغییر رنگ داده و فساد محصول را اعلام می‌نمایند. این نوع حسگرها را می‌توان بر روی انواع بسته-بندی و حتی بسته‌بندی‌های کاغذی و فلزی چاپ نمود. رنگ، پس از فاسد شدن محتوی بسته‌بندی، قابل تغییر است. از دیگر حسگرها که برای اعلام فساد از آنها استفاده نمی-شود، حسگرهای رسیدگی انواع میوه‌جاتی است که به صورت نارس بسته‌بندی می‌شوند تا وقتی به دست مصرف-کننده می‌رسد، رسیده باشد و زود فاسد نشود. حسگرهای RFID دو نوع هستند. یک نوع از این برچسب‌ها خود دارای باتری بوده و فرستنده امواج دارند که البته بسیار گران قیمت هستند و به نوع فعال مشهور هستند اما نوع غیرفعال آنها انرژی را از محیط می‌گیرد و نیاز به باتری ندارد به همین دلیل از قیمت پایین‌تری برخوردار است. مواد چسبی تولید شده با استفاده از فناوری نانو از خاصیت خشک شوندگی سریعی برخوردار هستند و ثبات بیشتری در برابر مایعات دارند. میزان چسب مورد استفاده بسیار ناچیز است و ضخامت چسب مصرفی در حدود ۵۰ نانومتر است [۳].

[1] Nanoclay

۸. نانو روکش‌ها در بسته‌بندی

بیشتر پوشش‌هایی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، اصطلاحا خاموش هستند، یعنی تنها قابلیت اعمال خاصیت اولیه خود را دارند، بدون این که توانایی سازگاری با محیط و اصلاح خواص در اثر تغییر شرایط محیط را داشته و یا بتوانند عیب‌ها و نقایص بالقوه مانند مشکلات خوردگی را به کاربر اطلاع دهند. پوشش‌هایی مبتنی بر فن‌آوری نانو، امکان دسترسی به قابلیت‌های چند منظوره را فراهم می-نمایند؛ بدین معنی که می‌توانند حداقل دو ویژگی همزمان مانند مقاومت بالا در برابر خوردگی و آب‌گریزی یا ابر آب-گریزی (در زوایای تماس ۱۰۰ تا ۱۷۰) را داشته باشند. محصولات نانوکامپوزیتی عموما به شکل پرکننده‌هایی در شبکه‌های پلیمری همانند پلی پروپیلن، پلی‌آمیدها، پلی-استایرن، پلی‌متیل متاکریلات و پلی‌آنیلین در صنایع بسته-بندی به کار می‌روند. نانوکامپوزیت‌ها به دلیل خواص حرارتی، مقاومت و رسانایی بهبود یافته، در حال حاضر برای بسته‌بندی نوشابه‌های غیرالکلی، مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نانو مواد مقاوم کننده مانند نانولوله‌ها، کربن سیاه با ابعاد نانومتری، سیلیکا، کربنات کلسیم، اکسیدها، الیاف کربنی و تالک به عنوان افزودنی در مخلوط‌های پلیمری به کار می‌روند. کامپوزیت‌های ساخته شده مبتنی بر نانومواد رسی به عنوان مقاوم‌های حرارتی و لایه‌های عایق گاز در بسته‌بندی مواد غذایی و نوشیدنی کاربرد دارند. نانوکامپوزیت‌های رسی جالب‌ترین زمینه نوآوری در عرصه کامپوزیت‌ها بوده و احتمالا طی ۱۰ تا ۱۵ سال آینده بیشترین سهم بازار را در اختیار خواهند داشت[۲،۲۵] . برچسب زنی هوشمند و کاربردهای مشابه برای صنایع غذایی و بسته‌بندی می‌تواند استقبال مشتری، رتبه و کیفیت محصول را افزایش داده و برای فروش آن لاین مفید واقع شود. فناوری نانو همچنین می‌تواند برای پیاده‌سازی پروتکل‌های رهگیری به منظور ارتقای کیفیت و سلامت صنایع غذایی مورد استفاده قرار گیرد. هم اکنون فن آوری نانو در حوزه وسیع و در حال گسترشی از کاربردها به کار گرفته شده است. پیش‌بینی می-شود حجم بازار صنعت چاپ رنگی در سطح جهان بیش از ۳۰۰ میلیارد دلار باشد و به نظر می‌رسد با کنار گذاشتن تکنیک‌های مرسوم چاپ بتوان ارزش این بازار را بالاتر برد. برای تولید عکس‌های با کیفیت، لازم است نقاط رنگی دارای اندازه‌های ۵۰ میکرومتر و یکنواختی کمتر از ۲+ – درصد باشند. دقت مطلق باید از ۲۰ بهتر باشد و این امر وقتی اتفاق می‌افتد که حجم هر قطره جوهر به اندازه ۳ پیکولیتر و جرم آن ۱۰ نانوگرم باشد، در غیر این صورت بعضی تصاویر غیرحقیقی وجود خواهد داشت. اکثر چاپگرها از روش‌های الکترونیکی و نرم‌افزاری گوناگونی استفاده می‌کنند و پیچیدگی آنها به قدری زیاد است که به هوشمندترین ابزارهای افشانه‌ای در سطح جهان تبدیل شده اند. امید خیلی زیادی برای تولید مواد بسیار ریز (نه فقط جوهر) برای ترسیم روی سطوح وجود دارد که در صورت عملی شدن منجر به تولید طیف گسترده‌ای از محصولات و ابزارهایی (از باطری‌های خورشیدی گرفته تا قرص‌های دارویی) خواهد شد که تا امروز به ویژه با قیمت‌های مشابه با هیچ روش دیگری قابل حصول نبوده‌اند. با کسب موفقیت در چاپگرهای جوهرافشان روزی فرا خواهد رسید که ابزارهای جوهرافشان همتراز با سایر کاربردها مخصوصا در صنعت الکترونیک قرار خواهند گرفت. با انجام تحقیقات وسیع برای فهم بهتر رازهای شیمیایی و فیزیکی قطره‌های جوهرافشان، در آینده عرصه‌های تحت تاثیر این فن‌آوری، صرفا محدود به تصور دانشمندان و مهندسان خواهد شد [۱۸،۲۶].

۹. روکش‌های انسدادی

نوشیدنی‌های خاصی همانند ماءالشعیر سال‌های متمادی در بطری‌های پلی اتیلن عرضه نمی‌شدند. نفوذپذیری بالای این مواد نسبت به اکسیژن منجر به کاهش عمر قفسه‌ای این نوشیدنی‌ها می‌شد. سیلیکای لایه‌ای می‌تواند نفوذ اکسیژن را تا حد زیادی کاهش دهد.

۹. ۱. استحکام کششی ـ ضربه ای

افزودن اجزای نانومقیاس به کامپوزیت‌ها استحکام کششی و ضربه‌ای آنها را افزایش می‌دهد. تاکنون بیشترین مقاومت کششی در نانولوله‌های کربنی مشاهده شده است. بنابراین

انتظار می‌رود این مواد اهمیت بسیار زیادی در آینده داشته باشند.

۹. ۲. مقاومت در برابر آتش

ثابت شده است که افزودنی‌های نانو همچون نانوذرات می‌توانند به عنوان عوامل ضد آتش در پلیمرها به کار رفته و یا عملکرد عوامل ضد آتش فعلی را بهبود بخشند.

۹. ۳. محافظت در برابر آتش

روکش‌هایی از فیلم‌هایی که مانعی قوی در برابر نفوذ گاز ایجاد کرده، انعطاف‌پذیر و شفاف بوده و در مقابل ترک خوردگی مقاوم باشند، اولویت بالایی برای بسته‌بندی‌های پلاستیکی محسوب می‌شوند[۲٤].

۹. ٤. حفاظت در برابر اشعه ماورای بنفش

یکی از خطرات بالقوه مهم برای ارگانیسم‌ها، مواد آلی و سیستم‌های رنگی، قرار گرفتن در معرض تابش‌های پرانرژی ماورای بنفش A و B است. در نتیجه جاذب‌های ماورای بنفش مبتنی بر ذرات ریز دی‌اکسیدتیتانیوم ارایه شده و کارایی خود را نشان داده‌اند. هم خود رنگدانه‌های معدنی و هم روکش آلی، تاییدهای قانونی لازم را دارا بوده و در نتیجه این محصولات می‌توانند بدون هیچ مشکلی در بسته‌بندی‌های مواد غذایی مورد استفاده قرار بگیرند [۲۳،۲۷] .

۱۰. روکش‌های ضد باکتری

برای حل مشکلات روزافزون سلامتی و ماندگاری مواد غذایی و حفاظت از عناصر حساس مدارهای نمایشگرها، یک روکش انسدادی چند منظوره روی فیلم‌های پلاستیکی مورد نیاز است[۲۸]. برای ایجاد ویژگی‌های سدی (نفوذپذیری پایین‌تر در برابر اکسیژن و آب)، فعالیت ضد-میکروبی و ویژگی‌های مکانیکی و اپتیکی بهبود یافته، روکش‌ها باید عملکرد بهتری از خود نشان دهند. می‌توان از تغییر سطحی و یا روکش‌های نانوکامپوزیتی برای ایجاد سطوح نچسبی که می‌توانند ذرات خاص را هدف‌گیری کنند، استفاده کرد. فن‌آوری روکش‌های انسدادی موجود روی فیلم‌های پلیمری را می‌توان به طور تقریبی به دو دسته طبقه‌بندی کرد: مبتنی بر فشار اتمسفر و مبتنی بر خلا فناوری‌های اتمسفری شامل اعمال یک رنگ لاکی روی سطح و سپس پخت آن توسط حرارت، اشعه ماورای بنفش یا اشعه الکترونی می‌باشد. روکش‌های مبتنی بر خلاء را می‌توان از آلومینیوم یا (برای بسته‌بندی‌های شفاف) از اکسیدهای فلزی معدنی تولید کرد. روکش‌های پیچیده‌تر به طور معمول ترکیبی از این دو نوع روکش هستند. حدود ۵۰ درصد از بازار بسته‌بندی غذایی پلی پروپیلنی، از روکش‌های پلی وینیلیدین کلراید (PVdC) شفاف استفاده می‌کنند. این ترموپلاستیک شفاف و تقریبا بی‌رنگ نفوذپذیری بسیار پایینی در برابر گازها داشته و در نتیجه بو و طعم را خیلی بهتر از نوع قبلی خود (PVC) محافظت می‌کند. با این حال نگرانی‌های زیست‌محیطی PVdC موجب شده است که مواد دیگری همچون ترکیبات چند لایه از رنگ‌های لاکی و روکش‌های اکسیدفلزی توسعه یابند؛ اما این فناوری‌ها پیچیده بوده و تولید آنها گران است [۲۷،۲۹] .

۱۱. کاهش ضایعات بسته‌بندی با استفاده از فناوری نانو

شرکت فرانسوی دانون که در زمینه مواد غذایی و نوشیدنی فعالیت می‌کند، در یک پروژه تحقیقاتی که می‌تواند به تولید پلاستیک‌های محکم‌تر و کاهش ضایعات کمک نماید، مشارکت می‌کند. هدف این پروژه که با همکاری دانشگاه کویین و بلفاست و سرمایه گذاری ۲/۵ میلیون یورویی دولت انگلیس آغاز شده است، کاهش استفاده از مواد خام و بهبود عملکرد پلیمرهاست. محققان امیدوارند از طریق فن‌آوری نانو به این کارکردها دست یابند. هدف اصلی این پروژه تجاری‌سازی نمونه تولید شده و استفاده از آن در صنعت است. در حال حاضر صنعت پلیمر سالانه در حدود ۱۸ میلیارد یورو برای اقتصاد انگلیس درآمد ایجاد می‌کند و نانوکامپوزیت‌ها در سال‌های اخیر رویکرد کاملا جدیدی را در این حوزه ایجاد کرده‌اند [۱۱،۳۰]. متخصصان مواد در دانشگاه شفیلد هالام با همکاری ۳۵ سازمان تحقیقاتی و دانشگاه‌هایی از ۱۳ کشور اروپایی در حال انجام پروژه‌ای موسوم به Sustainpack برای کاهش اثرات زیست محیطی

ضایعات بسته‌بندی هستند. این پروژه که در نوع خود یکی از بزرگ‌ترین پروژه‌های تحقیقاتی این حوزه به شمار می‌رود، یک برنامه تحقیقاتی چهارساله و با بودجه تقریبی ۳۶ میلیون یورو است که هدف آن توسعه عناصر بسته‌بندی کاملا زیست سازگار است. این پروژه به دنبال توسعه بسته‌بندی‌های مبتنی بر الیاف است. برای تحقق این هدف از کاربردها و راهکارهای فن‌آوری نانو و زیست فن‌آوری برای ایجاد ارزش افزوده به مشتریان و مصرف کنندگان استفاده می‌شود. این پروژه به دنبال تشویق استفاده گسترده از محصولات بسته‌بندی طبیعی سنتی با تولید عناصر بسته‌بندی کاملا تجزیه‌پذیر و قابل بازیافت با استفاده از پلیمرهای زیستی و کاغذ است. افزایش استفاده از مواد طبیعی برای تولید بسته‌بندی‌های ضد آب منجر به کاهش چشمگیر میزان انرژی مورد نیاز برای تولید بسته‌ها از طریق کاهش تولید بسته‌بندی‌های مبتنی بر محصولات پتروشیمی می‌شود. پیش‌بینی می‌شود که پروژه مذکور به مواد بسته‌بندی قابل بازیافت مبتنی بر استانداردهای صنعت، تا سال ۲۰۱۵ دست یابد [۱۸،۲۰].

۱۲. نتیجه‌گیری

نانومواد به طور فزاینده‌ای در طیف وسیعی از کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بر اساس تحقیقات فعلی بسته‌بندی مواد غذایی، فناوری نانو قادر است گزینه‌های مختلفی را برای بهبود بسته‌بندی مواد غذایی بر اساس عملکرد نانومواد، از بسته‌بندی مبتنی بر زیست تا بسته‌بندی هوشمند/فعال، ارائه دهد. مفهوم بسته‌بندی مواد غذایی در آینده به دلیل افزایش تقاضا برای انواع و اقسام غذاهای عجیب و غریب و در نتیجه ارائه بسته‌بندی ایمن‌تر کالاها در صنعت به طور فزاینده‌ای پیچیده خواهد شد. فناوری نانو، که برای پردازش بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود، امکان بهبود قابل توجهی در خواص مواد بسته‌بندی را فراهم می‌کند، اما برای درک دقیق نقش نانوتکنولوژی در مواد بسته‌بندی مواد غذایی، به ویژه از نظر مزایا و معایب، به تحقیق و توسعه بیشتری نیاز است. برای بهبود کیفیت و ایمنی غذا از طریق ترکیب نانوذرات در غذاها و مواد بسته‌بندی در حال بررسی است و در نتیجه بهبود کیفیت مواد غذایی مانند سالم‌تر، خوشمزه‌تر و مغذی‌تر کردن آن را ممکن می‌سازد. علاوه بر این، با گنجاندن نانومواد مناسب، خواص مکانیکی، بازدارنده و حرارتی مواد بسته‌بندی را می‌توان به طور قابل توجهی بهبود بخشید و ماندگاری و ایمنی مواد غذایی را افزایش داد. فیلم‌های ضدمیکروبی اصلاح شده سطحی ساخته شده از نانوسلولز با عوامل ضدمیکروبی معدنی یا آلی یکپارچه دارای فعالیت ضدباکتریایی فوق العاده قوی در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی هستند. نتیجه این تحقیق دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی است و بنابراین آن را به یک نامزد امیدوارکننده برای صنعت بسته‌بندی مواد غذایی تبدیل می‌کند. تحقیقات روی نانو مواد در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، مسیر جدیدی از مواد نانوکامپوزیتی کارآمد، مقرون‌به‌صرفه و بادوام را برای بهبود کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی هموار خواهد کرد. با این حال، با وجود مزایای نانو مواد در بسته‌بندی مواد غذایی و محصولات غذایی، نگرانی فزاینده‌ای در مورد ایمنی و خطرات احتمالی ناشی از مهاجرت نانوذرات از مواد تماسی به مواد غذایی و محصولات غذایی وجود دارد. اثرات این امر بر ایمنی و رفاه انسان مانع از رشد بازار نانو بسته‌بندی مواد غذایی و محصولات غذایی شده است. در پایان، برای پیشرفت در استفاده از نانومواد در بسته‌بندی مواد غذایی، باید به مشکلات پذیرش مصرف کننده، فناوری‌های ساخت بسته‌های نانو، هزینه‌ها و تنظیم بسته‌های مواد غذایی و محصولات غذایی با مواد نانو نگاه درستی داده شود. همچنین، آینده مواد غذایی و محصولات غذایی با بسته‌بندی نانو به ارتباط بین ذینفعان مانند دولت‌ها، سازمان‌های نظارتی، محققان و تولیدکنندگان برای تعیین مسائل ایمنی و سلامت مصرف کننده مرتبط با استفاده از بسته‌بندی نانو در مواد غذایی و محصولات غذایی بستگی دارد.

مرجع‌ها

[۱] ح. افشاری، «فناوری نانو و صنایع غذایی»، *اولین همایش کاربرد فناوری نانو در کشاورزی، موسسه تحقیقات نهال و بذر*، کرج، ایران. ۱۳۸۵.

[۲] م. بوالحسنی و م. سوداگر، «افزایش ارزش و کیفیت محصولات شیلاتی با استفاده از نانوتکنولوژی»، *دومین همایش دانشجویی علوم شیلاتی*، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۳۹۱.

[3] S. S. Ray, M. Bousmina, "biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: *In greening the 21st century materials world*", progress in materials science, **50,** (2005). 962-1079.

[٤] س. امینی هرندی، «بسته بندی نانو در گوشت»، *مجله علوم و فنون بسته بندی*، **۲** (۱۳۹۰): ٤۹-٤۰.

[٥] ح. میرزایی و ن. کریمی «نانوفناوری در صنعت غذا». مجله فناوری و توسعه صنعت بسته بندی، **٦** (۱۳۸۹) ٤٤-٤۳.

[٦] ر. اسدی خوانساری و م.ر، دهقانی فیروز آبادی. «معرفی مواد کاغذی و مقوایی نوین در بسته بندی محصولات صنایع غذایی»، *مجله علوم و فنون بسته بندی*، **٤** (۱۳۹۲) ٥۷-٤٦.

[۷] ا. عادلی، «*اصول بازاریابی و بسته‌بندی آبزیان*»، انتشارات هنر تا بی نهایت، چاپ اول، تهران. ۱۳۸۷.

[۸] ا. عادلی، «بسته بندی فرآورده های شیلاتی» *مجله فناوری و توسعه صنعت بسته بندی*، **٦** (۱۳۸۹): ٥۳-٥۰.

[۹] س. شمال نصب، «نقش فناوری نانو در بسته‌بندی مواد غذایی» *اولین کنفرانس فناوری نانو در محیط‌زیست*، اصفهان، ۱۳۸۵.

[۱۰] پ. صمدی و ا. امامی فر، «فناوری نانو و بسته‌بندی مواد غذایی». *اولین کنفرانس فناوری نانو در محیط زیست*، اصفهان، ۱۳۸۵.

[11] A .Ashfaq, N .Khursheed, S. Fatima, Z. Anjum, K.Younis ,Application of nanotechnology in food packaging: Pros and Cons. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2022 .

[۱۲] ن. کریمی، «معرفی و کاربرد پوشش های خوراکی در بسته بندی». *فصلنامه علوم و فنون بسته بندی*، **۲** (۱۳۹۰): ۳۹-۳۲.

[۱۳] م. ولایت‌زاده، و م. بی ریا، «اهمیت و جایگاه بسته بندی فرآورده های دریایی با فیلم های انعطاف پذیر و پوشش های خوراکی». *دومین همایش بین المللی خلیج فارس: چالش‌ها و فرصت‌ها*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر. ۱۳۹۲.

[۱٤] ن. حر یدالهی و ن. علی نژاد، «فیلم ها و پوشش های خوراکی پروتئینی»، *دومین سمینار ملی امنیت غذایی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه. ۱۳۹۱.

[۱٥] غ. مصباحی و م. حبیبی، «استفاده از بسته‌بندی‌های فعال برای گوشت و محصولات گوشتی». *مجله فناوری و توسعه صنعت بسته بندی*، **۷** (۱۳۹۰): ٤۰-۳٤.

[۱٦] و. شیخ زاده، ع. محمدی ثانی، و م. بخشی، «تکنولوژی بسته بندی هوشمند و کابردهای متداول آن در بسته بندی محصولات گوشتی». *دومین سمینار ملی امنیت غذایی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه. ۱۳۹۱.

[۱۷] ا.رنگریز، ، ع. رمضانی مقدم ملسکامی، ف. سروری، و ن. قاسمی میرزایی، «بسته بندی ضدمیکروبی و هوشمند: تحولی نوین در صنایع غذایی»، *اولین سمینار ملی امنیت غذایی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه، ۱۳۹۰.

[۱۸] ش. داود و س.ش ، علوی. «بررسی بسته بندی مواد غذایی نانو پلیمری و سلامت مواد غذایی»، *همایش ملی آلاینده های کشاورزی و سلامت غذایی*، چالش‌ها و راهکارها، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین استان خوزستان، اهواز، ۱۳۹۲.

[۱۹] م. مرادپور، و س. صباحی، بسته‌بندی مواد غذایی با استفاده از فناوری نانو، *اولین همایش ملی علوم و فناوری نانو*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۱۳۹۱.

[۲۰] س. سالاری و ل. منصوری نژند، «کاربرد فناوری نانو در بسته‌بندی‌های نوین مواد غذایی»، *دومین همایش تخصصی پلیمرهای پیشرفته در بسته بندی مواد غذایی*، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، تهران، ۱۳۹۲.

[۲۱] م. گرجیان و ب. تقی پور، «مروری بر کاربرد سیستم بسته بندی نوین در نگهداری محصولات شیلاتی». *دومین همایش دانشجویی علوم شیلاتی*، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۳۹۱.

[۲۲] ز. حاجی ابراهیمی فروشانی، «ایده های نو در بسته بندی مواد غذایی»، *همایش ملی آلاینده های کشاورزی و سلامت غذایی، چالش ها و راهکارها*، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین استان خوزستان، ۱۳۹۲.

[۲۳] م. ولایت زاده، ا. عسکری ساری و م. جواهری بابلی، «کاربرد بسته بندی نوین نانو و تحت خلاء در بسته بندی محصولات شیلاتی و آبزیان، *دومین سمینار ملی امنیت غذایی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه، ۱۳۹۱.

[24] M .Rossi, D. Passeri, A. Sinibaldi, M. Angjellari, E. Tamburri, A. Sorbo. L.Dini, Nanotechnology for food packaging and food quality assessment. *Adv Food Nutr Res,* **82** (2017) 149-204. [DOI:10.1016/bs.afnr.2017.01.002]

[۲٥] م. ولایت‌زاده، «مقایسه تاثیرات روش های بسته بندی های هوشمند و فعال در فرآوردهای گوشتی و آبزیان»، اولین همایش ملی میان وعده های غذایی، *پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی*، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ۱۳۹۳.

[۲۶] ف. هاشمی، «بسته‌بندی ضدمیکروبی مواد غذایی». *بیستمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی*، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۷ صفحه. ۱۳۹۰.

[۲۷] س.م. ایران منش، «پوشش ها و فیلم های خوراکی»، *مجله فناوری و توسعه صنعت بسته بندی*، **۵** (۱۳۸۸): ۳۲-۲۷.

[28] X. He, H. Deng, HM. Hwang, The current application of nanotechnology in food and agriculture. *Journal of food and drug analysis*. **1** (2019) 1-21.

[۲۹] ب. سیدرجبی، «نقش نانو ذرات در صنایع بسته بندی و بهداشت مواد غذایی»، *همایش ملی آلاینده‌های کشاورزی و سلامت غذایی، چالش‌ها و راهکارها*، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین استان خوزستان، اهواز، ۱۳۹۲.

[30] M. A.Cerqueira, A. A, Vicente , & L. M. Pastrana, Nanotechnology in food packaging: opportunities and challenges. *Nanomaterials Food Packag*, (2018) 1-11. [DOI:10.1293/tox.2017-0043]