

فناوری نانو عرصه‌ای نوین در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی

مهسا اسمعیل رمجی^{۱*}، صبا صباغ پور لنگرودی^۲

تاریخ دریافت مقاله: دیماه ۱۳۹۸

تاریخ پذیرش مقاله: شهریور ماه ۱۳۹۹

چکیده

فناوری نانو، علم مواد بسیار کوچک است که نقش به‌سزایی در تولید و بسته‌بندی مواد غذایی دارد؛ هم‌چنین به عنوان خلاقانه‌ترین روش مدرن با ارائه جدیدترین پیشرفت‌ها در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی در راستای بهبود ویژگی‌های مکانیکی، ممانعتی و حرارتی بسته‌بندی‌ها، شناسایی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و مولد فساد، افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی، کاهش ضایعات و هزینه‌ها، برطرف کردن مسائل زیست محیطی و هم‌چنین با معرفی بسته‌بندی‌های هوشمند، فعال و بهبود یافته با حفظ کیفیت مواد غذایی و جنبه‌های ایمنی آن نیز شناخته شده است؛ که درک عمومی جهت تحقق این پیشرفت‌های فناوری بسیار مهم خواهد بود. هم‌چنین با وجود مقدار اندکی از نانوذرات، تغییر خصوصیات مواد بسته‌بندی بدون تغییر قابل توجه در ویژگی‌های تراکم، شفافیت و فرآوری میسر می‌باشد. بنابراین در این مقاله مروری تلاش می‌شود تا بر پیاده‌سازی فناوری نانو به عنوان ابزاری توانمند در توسعه بسته‌بندی‌های غذایی در جهت بهبود کیفیت و ایمنی مواد غذایی متمرکز شود. امید است بتوان با بهره‌گیری از علم فناوری نانو، سیستم‌های بسته‌بندی کنونی مواد غذایی را اصلاح کرده و محصولاتی با کیفیت تغذیه‌ای مناسب‌تر و ایمن‌تر را روانه بازار جهانی نمود.

واژه‌های کلیدی

۱- مقدمه

فناوری نانو، بسته‌بندی مواد غذایی، بسته‌بندی هوشمند،

بسته‌بندی فعال، بسته‌بندی بهبود یافته

بسته‌بندی یکی از اصول عرضه کالا بوده و در طول سال‌ها تغییرات زیادی داشته که هم‌چنان در حال دگرگونی است. زمانی تنها محفوظ بودن یک محصول، بسته‌بندی محسوب می‌شد، در حالی که پس از مدتی مزیت‌های ماندگاری، زیبایی و چاپ‌پذیری نیز به آن افزوده شد [۱]. بسته‌بندی مواد غذایی به عنوان یک سیستم هماهنگ آماده‌سازی مواد غذایی جهت حمل‌ونقل، توزیع، ذخیره‌سازی، خرده‌فروشی و مصرف نهایی محصول، به منظور جلب رضایت مصرف‌کننده با هزینه مناسب تعریف می‌شود [۱۷]؛ از طرف دیگر صنعت بسته‌بندی یک بخش لازم و ضروری برای جامعه مدرن امروزی می‌باشد و در سطح تجاری، مواد غذایی فرآوری شده را نمی‌توان بدون بسته‌بندی مناسب، سالم و ایمن توزیع و ذخیره‌سازی کرد [۱۸]. سازمان بسته‌بندی جهانی

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور، مازندران، ایران.

* نویسنده مسئول: mahsa.ramajii@yahoo.com;

(mahsarmj@yahoo.com)

۲- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان، سمنان، ایران (saba.sabbaghpour@gmail.com).

می‌شوند [۴]. این مشکلات، زمینه ساز توسعه مواد بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر شده است. تقاضا برای پلیمرهای تجزیه‌پذیر و زیست سازگار به ویژه در بخش بسته‌بندی به سرعت رو به افزایش است که شدیداً به وسیله سیاست‌های مدیریت زیست محیطی مورد تشویق است. این پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر بر اساس منابع‌شان به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱- پلیمرهایی که به طور مستقیم از زیست توده استخراج می‌شوند.

۲- پلیمرهایی که به وسیله میکروارگانیسم‌ها یا باکتری‌های تغییر یافته به طور ژنتیکی تولید می‌شوند.

۳- پلیمرهایی که به وسیله سنتزهای شیمیایی کلاسیک با استفاده از مونومرهای با منشأ زنده قابل تجدید یا منابع مخلوط شده زیست توده و نفت تولید می‌شوند.

مواد بسته‌بندی تهیه شده از زیست پلیمرها دارای برخی خواص مفید می‌باشند و نگرانی‌های زیست محیطی را تحقق می‌بخشند؛ از طرف دیگر، استفاده از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر به عنوان مواد بسته‌بندی غذایی به دلیل عملکرد پایین نسبت به پلاستیک‌های سنتزی تاکنون محدود شده است. این محدودیت‌ها شامل: قدرت مکانیکی ضعیف، نفوذپذیری بالا نسبت به گازها و به خصوص بخار آب، مقاومت حرارتی پایین و مقاومت ضعیف به عملیات فرآیندی طولانی می‌باشد [۵]. در نتیجه جهت رفع مشکلات به وجود آمده در بسته‌بندی‌های پلاستیکی زیست تخریب‌پذیر، دانشمندان به سمت فناوری‌های نوین، به خصوص فناوری نانو رفتند. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی مختصری درباره کاربرد فناوری نانو در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی و اثراتی که این فناوری نوین و نانو مواد بر کیفیت و ایمنی مواد غذایی دارند می‌باشد.

۲- فناوری نانو در بسته‌بندی مواد غذایی

فناوری نانو به عنوان علم پیش روی بشر در کمتر از یک دهه گذشته پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است. به

(WPO) تخمین زد که بیش از ۲۵ درصد مواد غذایی به خاطر بسته‌بندی ضعیف و نامناسب به هدر می‌رود [۱۹]. بنابراین روشن است؛ بسته‌بندی مناسب می‌تواند مقدار زیادی از ضایعات غذایی را کاهش دهد. علاوه بر این، در حال حاضر تقاضای مصرف‌کننده برای محصولات غذایی مناسب و با کیفیت بالا تأثیر بسته‌بندی را افزایش داده است [۱۸]. در بسته‌بندی‌های فعلی استفاده از انواع شیشه، قوطی‌های فلزی، کاغذ و مقوا و مواد حاصل از ترکیبات پلاستیکی رایج می‌باشند. استفاده از شیشه، قوطی‌های فلزی، کاغذ و مقوا بنا به دلایلی از قبیل: وزن بالا، افزایش هزینه حمل‌ونقل، مقاومت پایین، یکنواختی کمتر ابعاد نسبت به سایر ظروف، خطرات جدی ناشی از وجود تکه و خرده شیشه یا فلز، احتمال خوردگی^۲ توسط مواد بسته‌بندی شده (در مورد فلزات)، باز نمودن درب و تقلب در آن، ایمنی پایین، قابلیت اشتعال بالا (در مورد کاغذ و مقوا) و برخی دلایل دیگر منجر به جایگزینی تدریجی با انواع بسته‌بندی‌های پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن ترفتالات، پلی‌وینیل کلراید، پلی‌وینیلیدن کلراید، اکریلونیتریل و پلی‌استایرن شده است [۲]. ولی از طرفی کاربردهای وسیع و تولیدات روز افزون پلاستیک‌ها و هم چنین تأثیرات مخرب آن‌ها بر روی محیط زیست به دلیل محدود بودن روش‌های دفع آن و مشکلاتی در بازیافت آن‌ها باعث تشدید نگرانی‌ها گردیده است. سوزاندن پلاستیک سبب آلودگی و سمی شدن هوا می‌گردد. هم چنین منابع نفتی محدود بوده و در حال کاهش هستند [۳] و از همه مهم‌تر می‌توان به پدیده مهاجرت مواد آلاینده خطرناک و سرطان‌زا مانند: باقی‌مانده کاتالیست‌ها، پرواکسیدهای آلی، نمک‌های فلزی و مونومرهایی که در فرمولاسیون مواد پلاستیکی استفاده شده‌اند از بسته‌بندی به داخل مواد غذایی اشاره نمود که باعث کاهش امنیت غذایی و تغییر طعم

1- World Packaging Organisation

۲- خوردگی فرآیندی شیمیایی است که در آن فلزات به اعداد اکسایش اصلی خود می‌رسند. در حقیقت، خوردگی فلزات یک واکنش اکسایش و کاهش است که در آن، فلز توسط محیط و مواد شیمیایی اطراف خود اکسید می‌شود.

خصوص در زمینه صنایع غذایی و بسته بندی جایگزینی فناوری نانو به جای کاربردهای سنتی هر روز توسعه بیشتری از خود نشان می دهد [۶].

مفهوم فناوری نانو (۱۹۵۹) توسط ریچارد فاینمن^۱، متخصص کوانتوم^۲ نظری و دارنده جایزه نوبل در نشست سالیانه انجمن فیزیک آمریکا مطرح شد. این فناوری، علم مواد بسیار کوچک با اندازه هایی در ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر می باشد که با چشم غیر مسلح دیده نمی شوند. در این فناوری با توجه به اندازه ذرات، در خواص فیزیکی و شیمیایی تغییر ایجاد می گردد که باعث ایجاد طیف گسترده ای از کاربردها می شود [۲]. غیر قابل انکار است که فعال ترین منطقه در توسعه پژوهش های علم نانو و مواد غذایی، صنعت بسته بندی است. ارزش بازار جهانی صنعت بسته بندی غذا و نوشیدنی مبتنی بر نانو در سال ۲۰۱۳ میلادی، ۶/۵ میلیارد دلار بوده است که انتظار می رود با نرخ رشد ترکیبی ناخالص سالیانه ۱۲/۷ درصد در دوره زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰، ارزش آن تا سال ۲۰۲۰ میلادی به ۱۵ میلیارد دلار افزایش یابد [۷]. هم چنین این فناوری نوین امیدهای بسیاری برای دستیابی به بسته بندی مواد غذایی با قابلیت های ایمنی و نگهداری بیشتر و در نهایت؛ غذای سالم تر ایجاد می کند. کلید دستیابی به پیشرفت های آینده در حوزه نانو، بسته بندی های قابل انعطاف هوشمند، فعال و بهبود یافته (نانوکامپوزیت ها) هستند. نانوذرات در نانوکامپوزیت های پلیمری و پلیمری زیستی سطح ویژه بالایی نسبت به ذرات در اندازه میکرو دارند. همین سطح ویژه بالا موجب بهبود برهم کنش بین پلیمر و نانوذرات می شود و دستیابی به ویژگی های مناسب را ممکن می سازد [۸].

۱-۲- بسته بندی فعال

بسته بندی فعال، نوع جدیدی از بسته بندی مواد غذایی است که با روش های سنتی مقایسه می شود [۶]. در واقع بسته بندی با غذا و محیط اطراف ارتباط برقرار می کند و

نقشی پویا و فعال در حفظ مواد غذایی دارد. در بسته بندی های فعال از یک سری جاذب ها و رهاسازها استفاده می کنند. این بسته بندی ها نسبت به شرایط داخل بسته تغییرات فعالانه می دهند؛ این تغییرات منجر به افزایش عمر نگهداری محصول، ایمنی، بهبود خواص حسی و حفظ کیفیت محصول در مدت زمان نگهداری و کاهش هزینه ها می شوند [۸]. بسته بندی های ضد میکروبی نوعی بسته بندی فعال می باشند که در آن ها به کمک یکسری عوامل ضد میکروبی که در تهیه ماده بسته بندی برای جلوگیری از رشد و کاهش میکروارگانیسم ها استفاده می شود و باعث افزایش زمان ماندگاری محصول می شوند [۲]. در این بین، استفاده از نانوذراتی مانند؛ نانوذرات نقره و مس، اکسیدهای فلزی و دی اکسید تیتانیوم و نانولوله های کربنی که در ارتباط مستقیم با غذا یا محیط اطراف آن خواص ضد میکروبی را نشان می دهند؛ متداول می باشند [۲]. نانوذرات کربن و MWNT^۳ در پلیمر بسته بندی قادر است بوی انتشار یافته درون بسته بندی را به خود جذب کند [۲۰]. بسته بندی فعال که بیشتر برای برنامه های ضد میکروبی توسعه یافته است، امیدهای زیادی را برای ایمنی، بهبود کیفیت محصول و عمر مفید محصولات غذایی ایجاد نموده است [۸ و ۳۲].

۲-۲- بسته بندی هوشمند

بسته بندی هوشمند شامل: برچسب هایی است که سلامت و تازگی محصول را در طول زمان^۴ (TTIs) نشان می دهد و هم چنین شامل، حسگرهای زیستی و برچسب های^۵ 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 بندی یا محیط اطراف بسته بندی نظارت

3- Multiwall Carbon Nanotube

4- Time-Temperature Indicators or Integrators

5- Radio Frequency Identification System

1- Richard Feynman

2- Quantum

حرارتی و رطوبتی پلیمرهای تشکیل شده از آنها می‌شوند [۸].

۳- کاربرد فناوری نانو در بسته‌بندی مواد غذایی

همان طور که گفته شد؛ فناوری نانو بیشترین کاربرد را در بسته‌بندی مواد غذایی دارد، زیرا آنها به صورت مستقیم به مواد غذایی اضافه نمی‌شوند و ساختار طبیعی ماده غذایی حفظ می‌شود. استفاده از فناوری نانو در بسته‌بندی مواد غذایی سبب محافظت از مواد غذایی در مقابل عوامل بیماری‌زا و گازهای مضر خواهد بود. از نانوحسگرها در تشخیص آلودگی و ارزیابی مواد بسته‌بندی شده و هم چنین محافظت مواد غذایی در مقابل اشعه ماورای بنفش استفاده می‌شود. از طرفی این فناوری موجب بهبود بسته‌بندی مواد غذایی و قابلیت‌های آن می‌شود و می‌توان برای تشخیص باکتری‌ها در داخل بسته‌بندی مواد غذایی از آن استفاده کرد که این کار باعث ایجاد طعم و کیفیت بهتر غذا، افزایش ایمنی و خصوصیات ممانعت‌کنندگی در برابر نفوذ گاز و رطوبت، افزایش طول عمر مفید و جلوگیری از فساد مواد غذایی می‌شود [۲].

۳-۱- نانو حسگرها

وظیفه اصلی بسته‌بندی دارای حسگر، آگاهی دادن از محیط درون بسته‌بندی، وضعیت و کیفیت محصول، تبادل اطلاعات با پایگاه داده‌های بیرونی و در اختیار قرار دادن اطلاعات برای تصمیم‌گیری‌های بعدی است. یک نوع از حسگرهایی که به این منظور استفاده می‌شود، حسگر زیستی می‌باشد. حسگرهای زیستی می‌توانند با روش‌هایی مانند: تغییر شیمیایی و حساس کردن برچسب‌های بسته‌بندی، تعبیه میکروقطعات (تراشه‌های هوشمند) یا قرار دادن عناصر نانو در درون برچسب یا خود بسته‌بندی ساخته شوند [۹]. حسگرهای زیستی، یک گزینه انتخابی مهم در بخش کشاورزی و صنایع غذایی است که برای اطمینان از کیفیت و ایمنی غذا با روش‌های مقرون به صرفه و سریع، کنترل محصولات، فرآیندها و تشخیص گازها در غذاهای بسته‌بندی شده به منظور یکپارچگی

کرد. این نوع از بسته‌بندی تولیدکننده، فروشنده و مصرف‌کننده را از وضعیت محصول در مورد شرایط غذا یا محیط اطراف آن آگاه ساخته و قابلیت شناسایی مواد شیمیایی، میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا و سموم مختلف را در مواد غذایی دارد [۲]. به عنوان مثال بسته‌بندی مواد غذایی به همراه نانو حسگرها یا نانو کپسول‌ها می‌تواند فساد ناشی از میکروارگانیزم‌ها را با تغییر رنگ مشخص کند؛ یا در مواقع مورد نیاز با آزاد کردن مواد نگهدارنده از فساد محصول غذایی جلوگیری کند [۶ و ۲۲]. در حال حاضر، بسته‌بندی هوشمند کاربردهای گسترده‌تری نسبت به بسته‌بندی فعال دارد [۶]. در واقع این نوع بسته‌بندی با نانو حسگرهای تخصصی و دستگاه‌های نانو عوامل محیطی مؤثر بر مواد غذایی را به تأخیر می‌اندازند و هم چنین راندمان انتقال اطلاعات در مورد رنگ، کیفیت و تازگی محصولات غذایی را در زمان توزیع افزایش می‌دهند [۲ و ۲۳]. بنابراین از فناوری نانو در ساخت بسته‌بندی‌های هوشمند جهت افزایش طول عمر محصول، تولید پلیمرهایی با ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی در برابر نفوذ گازها و رطوبت، ایجاد پوشش‌های کاربردی و... استفاده می‌شود [۲].

۳-۲- بسته‌بندی بهبود یافته

با وجود پیشرفت‌های فراوانی که در علم تغذیه به وجود آمده، هم چنان خطر عفونت با میکروارگانیزم‌ها مثل کپک، باکتری و ویروس وجود دارد که سلامت انسان را تهدید می‌کند. از آن جایی که به کار بردن مستقیم مواد ضد میکروبی در غذاها می‌تواند برای سلامت مصرف‌کنندگان مضر باشد؛ بسته‌بندی‌های ضد میکروبی از اهمیت زیادی برخوردار شده است. یکی از این بسته‌بندی‌ها، بسته‌بندی بهبود یافته است که شامل زنجیره‌های پلیمری به همراه ۵ درصد وزنی از نانوذرات و نانو کامپوزیت‌ها است که در محصولاتمانند: بطری‌های نوشیدنی گازدار، فیلم‌ها و روغن‌های خوراکی استفاده می‌شود [۲]. در واقع نانوذراتی که در بسته‌بندی‌های بهبود یافته به کار می‌روند، سبب افزایش انعطاف‌پذیری، افزایش ممانعت از ورود و خروج گازها و افزایش پایداری

محصولات بسته بندی شده به کار می رود [۲]. در ساخت حسگرهای زیستی انواع مختلفی از نانوذرات به کار می رود که نانوذرات طلا یکی از آنها می باشد، این مواد مزایایی از قبیل: 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 کوتاه 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. نانوحسگرها به عوامل محیطی مانند: درجه حرارت، رطوبت، میزان اکسیژن، عوامل میکروبی و میکروارگانیزم های بیماری زا واکنش نشان می دهند و اطلاعات مفیدی را به تولیدکنندگان و مصرف کنندگان در مورد شرایط نگهداری از مواد غذایی از نظر دما، تاریخ انقضا و... ارائه می دهند [۲].

۲-۳- نانوکامپوزیت ها

کامپوزیت به جسمی حجیم یا توده ای^۱ گفته می شود که در حالت کلی حداقل شامل دو ماده مجزا با ساختار مکمل باشد. در واقع کامپوزیت های پلیمری مخلوطی از پلیمرها و پرکننده های^۲ معدنی یا آلی با اشکال خاصی (الیافی، صفحه ای، کروی و ذره ای) می باشند. پرکننده ها بسته به اینکه چند بعد از آنها در مقیاس نانو است به سه دسته تقسیم می شوند؛ (۱) نانوذرات کروی یا اصطلاحاً نانوکره ها (مانند نانوذرات سیلیکای کروی) که در آنها هر سه بعد در مقیاس نانو می باشند. (۲) نانو لوله ها ساختارهای بلندی است که در آنها دو بعد در مقیاس نانو و بعد سوم در مقیاس بزرگ تری می باشد. (۳) و زمانی که تنها یک بعد از یک جزء سازنده در محدوده نانومتری باشد، کامپوزیت ها به عنوان نانوکامپوزیت های پلیمری شناخته می شوند [۲۴]. در نتیجه؛ نانوکامپوزیت به دسته خاصی از کامپوزیت ها گفته می شود که در آنها

حداقل یکی از سه بعد (طول، عرض یا ارتفاع) پرکننده در محدوده نانومتری باشد. در نانوکامپوزیت های پلیمری نسبت به کامپوزیت های معمولی برهم کنش بهتری بین ماتریس پلیمر و پرکننده وجود دارد. توزیع یکنواخت نانوذرات در ماتریس پلیمری موجب افزایش سطح تماس ماتریس و نانوذرات می شود که این اتفاق بهبود خواص مکانیکی، گرمایی و ممانعتی را در پی دارد. هر چه اندازه نانوذرات کوچک تر باشد، توزیع آنها در ماتریس پلیمری مشکل تر خواهد بود، زیرا نانوذرات بسیار ناپایدارند و تمایل زیادی به کلوخه شدن دارند و کلوخه ای شدن نانوذرات یک نقطه ضعف برای ماتریس پلیمری محسوب می شود [۸ و ۲۴]. نانوکامپوزیت ها در رأس ابداعات فناوری نانو، مرتبط با صنعت بسته بندی مواد غذایی قرار دارند. یک کمپانی ژاپنی، اولین شرکتی بود که استفاده تجاری از نانوکامپوزیت ها را در دستور کار خود قرار داد. این شرکت از خاک مونت موریلونیت^۳ که در مقیاس نانو تهیه شده بود، برای بالا بردن خواص مکانیکی و حرارتی نایلون استفاده کرد. هم چنین در صنعت بسته بندی مواد غذایی نیز استفاده از خاک مونت موریلونیت به عنوان جزء افزودنی نانو در جهت بهبود ویژگی های مکانیکی و استحکام بخشی، افزایش مقاومت در برابر حرارت و هم چنین بهبود ویژگی های ممانعت کنندگی در برابر عبور گازها به انواع پلیمرها از جمله پلی اتیلن، پلی استر، نایلون و حتی نشاسته (به عنوان یک پلیمر زیستی) در حال بررسی است. ورقه های پلاستیکی نانوکامپوزیتی این قابلیت را دارند که از نفوذ اکسیژن، دی اکسید کربن و رطوبت به داخل ظرف جلوگیری کنند. به این ترتیب، ظروفی که در ساختار آنها از ورقه های نانوکامپوزیت استفاده شده است، باعث افزایش ماندگاری ماده غذایی

1- Bulk

2- Fillers

3- Montmorillonite

۴- انواع نانو مواد تقویت کننده مورد استفاده در

نانو کامپوزیت ها و نانو کامپوزیت های زیستی

علاوه بر تقویت کنندگی و پشتیبانی نانومواد (به عنوان پرکننده)، نقش اصلی این مواد، بهبود خصوصیات ممانعت کنندگی و مکانیکی بسته بندی مواد غذایی می باشد. چندین نوع نانوماده مسئول این عملکردها در ساختار نانوکامپوزیت ها هستند. گاهی این نانومواد خواص هوشمندی یا فعال برای سیستم بسته بندی مواد غذایی مانند: فعالیت ضد میکروبی، غیرفعال سازی آنزیمی، حسگر زیستی و... را فراهم می کنند. هم چنین برخی ذرات می توانند دارای کاربردهای چندگانه و گاهی این کاربردها می توانند با یکدیگر، هم پوشانی داشته باشند؛ به عنوان مثال، برخی غیرفعال سازهای آنزیمی می توانند به عنوان یک ترکیب ضد میکروبی، جاذب های اکسیژنی و یا حسگرهای زیستی عمل کنند [۲۴]. این نانومواد که به عنوان پرکننده بی اثر در ساختار نانوکامپوزیت ها حضور دارند شامل: مواد معدنی مانند: خاک رس و نانوصفحات سیلیکات، نانوذرات سیلیس (SiO₂)، نانوذرات نقره و مس، نانولوله کربن، سلولز مبتنی بر نانوالیاف، کیتین و نانوذرات کیتوزان و سایر مواد معدنی می باشد [۷].

۴-۱- خاک رس و نانو صفحات سیلیکات

نانوذرات به عنوان مواد افزودنی جهت افزایش کارایی پلیمرها در بسته بندی های مواد غذایی شناخته شده اند، صنعت بسته بندی به طور خاصی توجه خود را روی ترکیبات جامد معدنی مانند: رس ها و صفحات سیلیکات، به دلیل در دسترس بودن آنها، کم هزینه بودن، بهبود آشکار خواص و توانایی عمل آوری نسبتاً ساده متمرکز کرده است [۲۴]. نانورس (مونت موریلونیت) متشکل از صفحاتی به ضخامت یک نانومتر و طول ۱۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر می باشد که موجب نسبت منظر^۱ بسیار بالای ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ در آنها می شود. نانورس به دلیل نسبت منظر بالا و سطح گسترده خود، که بیش از ۷۵۰ متر مربع بر گرم

می شوند و چنین ظروفي سبک، محکم و مقاوم به حرارت نیز هستند [۷]. نانوکامپوزیت ها را می توان با پلیمرهای ترموست و یا ترموپلاست (پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی آمیدها و...) تولید کرد. این مواد به شدت واکنش پذیر هستند و اغلب در بسته بندی مواد غذایی به کار می روند و به طور کلی، هدف از به کارگیری آنها افزایش مقاومت مکانیکی، کاهش وزن، افزایش مقاومت به حرارت، ممانعت بهتر در برابر گازها، اشعه UV و رطوبت، قابلیت بازیافت بهتر و محافظت بیشتر از محصول است [۸].

۳-۳- نانو کامپوزیت های زیستی

نانو کامپوزیت های زیستی علاوه بر داشتن ترکیبی با ابعاد نانو، دارای ترکیبات زیست تخریب پذیر بوده و در محیط به وسیله موجودات تجزیه کننده به ریزواحدهای خود تبدیل می شوند. از جمله پلیمرهای زیست تخریب پذیر می توان به موارد زیر اشاره کرد:

● **نشاسته و مشتقات آن:** پلیمرهای طبیعی مهمی هستند که معمولاً بعد از فشرده شدن، به ماده ای قابل ارتجاع با مقاومت مکانیکی کم و حفاظت کم در برابر اکسیژن و رطوبت تبدیل می گردند، اما ترکیب آنها با نانوذرات باعث می شود مقاومت کششی توسعه یابد و نفوذپذیری بخار آب کاهش پیدا کند [۸].

● **پلی استرهای زیستی:** طبقه مهم دیگری هستند که از مونومرهای زیستی شامل: پلی لاکتیک اسید، پلی کاپرولاکتون و ... تشکیل شده اند. قابلیت این پلیمرهای زیستی به عنوان پوسته و قالب دور مواد غذایی، آنها را به موادی جذاب در صنعت تبدیل کرده است. تنها مشکل آنها شکنندگی و خصوصیات ممانعت گازی ضعیف آنها است؛ برای غلبه بر این مشکل نیز از نانورس به عنوان پرکننده و پشتیبان استفاده می شود. بسته بندی باید بتواند از پری بیوتیک ها، پروبیوتیک ها و ویتامین های محفظه سازی شده در شرایط مناسب نگهداری کند؛ که این مواد زیستی قابلیت لازم برای این کار را دارند [۸].

می باشد، به طور مؤثری به عنوان یک پرکننده موجب تقویت خواص پلیمرها می شود [۱۰ و ۲۴]. در واقع رس را می توان به صورت نانولایه و با ضخامتی در مقیاس نانو به کار برد. این ذرات، پلاستیک را سبک، محکم و مقاوم به حرارت می کند و مانعی برای عبور گازها است. مواد معدنی آن اغلب مونت موریلونیت است و غالباً یک نانوماده تجاری به شمار می آید [۸]. پرکاربردترین تقویت کننده های نانو اندازه در پلیمرهای مورد استفاده در بسته بندی مواد غذایی، همین سیلیکات های لایه ای از نوع مونت موریلونیت می باشد؛ که در کنار هکتوریت^۱ و ساپونیت^۲ این توانایی را دارد که در ابعاد نانو به کار رفته و علاوه بر امتزاج با پلیمرهای هیدروکربنی^۳ با پلیمرهای زیستی و پلیمرهای زیست تخریب پذیر ترکیب شده و با ارتقاء خواص مکانیکی، حرارتی، الاستیسیته^۴ و مقاومت نفوذی این پلیمرها، محدودیت به کارگیری آن ها را در کاربردهای بسته بندی مرتفع ساخته و به لحاظ صنعتی نیز جایگزین مناسبی برای پلاستیک های موجود باشد [۶]. تاکنون مطالعات زیادی در راستای استفاده از نانوکامپوزیت های پلیمری خاک رس در بسته بندی مواد غذایی انجام شده است از جمله: امیر و کیلی نظامی و همکارانش (۱۳۹۲)، از نانوکامپوزیت های پلیمری خاک رس برای بسته بندی ماکارونی جوانه گندم استفاده کردند و تأثیر آن را بر زمان ماندگاری ماکارونی مورد بررسی قرار دادند. خاصیت نفوذناپذیری این نوع از بسته بندی، موجب کاهش ۸۵٪ نفوذپذیری اکسیژن شد. بنابراین کاربرد نانوذرات خاک رس در این نوع بسته بندی مواد غذایی سبب افزایش زمان ماندگاری تا حدود ۳ برابر نسبت به بسته بندی معمولی شد؛ بدون اینکه در محصول تغییرات شیمیایی رخ دهد [۱۱]. در تحقیق دیگری که توسط عبدالهی و همکارانش (۱۳۹۰) به منظور بررسی اثر افزودن نانوذرات رس بر خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم های زیست تخریب پذیر کیتوزانی انجام

پذیرفت؛ نانوکامپوزیت کیتوزان/ رس با افزودن نانوذرات مونت موریلونیت در سه سطح ۱، ۳ و ۵ wt% به ماتریس پلیمری کیتوزان به کمک روش همزدن حلالی تهیه گردید و در نهایت نتایج حاصل نشان داد که با افزودن نانوذرات رس به میزان ۳ درصد مقاومت کششی فیلم ها حدود ۲۰ درصد افزایش و نفوذپذیری به بخار آب حدود ۴۵ درصد کاهش پیدا کرد. هم چنین افزودن نانوذرات رس تا سطح ۳ درصد موجب کاهش درصد جذب آب در نانوکامپوزیت ها به میزان ۶۴ درصد گردید. بنابراین با توجه به نتایج این مطالعه به نظر می رسد که نانوکامپوزیت زیست تخریب پذیر کیتوزان/ رس پتانسیل های فراوانی جهت کاربرد در بسته بندی مواد غذایی دارد [۱۰].

۴-۲- نانوذرات نقره

یکی از نانوذراتی که به دلیل داشتن خواص ضد میکروبی در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می گیرد؛ نانوذرات نقره می باشند [۲]. نانوذرات نقره از پرکاربردترین و کارآمدترین نانوذرات فلزی در تولید فیلم های ضد میکروبی هستند و بر طیف وسیعی از باکتری های گرم مثبت، گرم منفی، قارچ، پروتوزوئرها و ویروس مؤثر است و به دلیل داشتن نسبت سطح به حجم بالا، با دیواره سلولی میکروارگانیسم ها به راحتی واکنش می دهد [۲۲ و ۲۴]. استفاده از این نانوذره در ظروف بسته بندی یک یا چند لایه به عنوان ماده افزودنی، به علت غیرقابل نفوذ بودن نسبت به اکسیژن و رطوبت می تواند از رشد باکتری ها و کپک ها در بسته بندی جلوگیری کند و در نتیجه سبب افزایش ماندگاری محصول و عدم تغییر در ویژگی های ظاهری و خواص فیزیکی آن شود. این ذرات دارای خلوص بالا، پراکندگی خوب و شکل شبه کره هستند [۸]. هم چنین به دلیل خاصیت کاتالیزوری آن، از این نانوذره در جذب و از بین بردن برخی مواد در صنایع بسته بندی استفاده می شود، به عنوان مثال گاز اتیلن که توسط میوه ها و

- 1- Hectorite
- 2- Saponite
- 3- Hydrocarboni
- 4- Elasticity

5- Phylum Protozoa

ضدباکتریایی زیاد نانوذره نقره ممکن است باعث از بین رفتن باکتری‌های مفید در بدن و اطراف ما شود [۸].

۴-۳- نانوذرات اکسید سیلیکون و اکسید نقره

این نانوذرات باعث بهبود خواص بازدارندگی در برابر اکسیژن، دی اکسید کربن و بهبود خواص مکانیکی بسته‌بندی می‌شوند. هم چنین دارای فعالیت ضد میکروبی، ضد قارچی و آنتی‌بیوتیکی هستند [۸].

۴-۴- نانوذرات دی اکسید تیتانیوم

نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در اندازه کوچک حدود ۱۰۰ نانومتر یا کمتر به عنوان بهبوددهنده مواد غذایی و ضد میکروبی در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود. این ماده نه تنها از پلاستیک‌ها در برابر اشعه ماورای بنفش محافظت می‌کند؛ بلکه باعث تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) در حضور اشعه ماورای بنفش شده و به این ترتیب موجب تجزیه و تخریب میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا می‌شود [۲]. نانوذرات دی اکسید تیتانیوم یکی از پرکاربردترین نانوذرات نیمه رسانا با ویژگی‌های خاص آبدوستی و فوتوکالیستی^۵ جاذب اشعه ماورای بنفش و آنتی‌باکتریال هستند و به طور گسترده‌ای در ساخت نانوکامپوزیت‌های پلیمری با هدف بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۸].

۴-۵- نانوذرات اکسید روی

یکی از پرکاربردترین اکسیدهای فلزی اکسید روی می‌باشد. این ترکیب سفید رنگ بوده و از خانواده ورتزیت^۶ می‌باشد و پایداری مکانیکی بالایی دارد. هم چنین دامنه کاربرد اکسید روی در زمینه‌های نانو به علت خواص پیزوالکتریک^۷، پیروالکتریک^۸ و نیمه رسانایی

5- Photo-Catalytic Activity

6- Wurtzite

۷- **پدیده پیزوالکتریک:** قابلیت است که برخی از مواد دارند که موجب تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی و بالعکس می‌شود. در واقع با اعمال فشار خارجی یک میدان الکتریکی در درون ماده ایجاد می‌شود.

۸- **پدیده پیروالکتریک:** پدیده‌ای است که در اثر دادن گرما به یک ماده، آن ماده الکتریسیته تولید می‌کند. در واقع تغییر دما، موقعیت اتمی

سبزی‌ها تولید می‌شود و در نتیجه باعث رسیدن سریع آن‌ها و کاهش زمان ماندگاری این محصولات می‌شود، در بسته‌بندی این نوع مواد غذایی برای جذب و تجزیه کردن گاز اتیلن و در نتیجه افزایش زمان ماندگاری آن‌ها از نانوذرات نقره در ساختار بسته‌بندی استفاده می‌شود [۲]. در راستای اثر ضد میکروبی نانوذره نقره در بسته‌بندی‌های مواد غذایی مختلف مطالعات زیادی توسط پژوهشگران صورت پذیرفته؛ که در این میان اینکورونتا^۱ و همکارانش (۲۰۱۱) تأثیر یک سیستم بسته‌بندی ضد میکروبی حاوی نانوذرات مونت‌موریلونیت نقره را بر روی کیفیت نوعی پنیر بررسی کردند. نتایج نشان داد که این سیستم بسته‌بندی فعال، به صورت قابل توجهی ماندگاری این پنیر را افزایش می‌دهد که این به دلیل توانایی کاتیون‌های نقره در کنترل تکثیر میکروبی است؛ بدون این که بر روی میکروب‌های اصلی و کارکردی لبنی و هم چنین ویژگی‌های حسی محصول اثر بگذارد [۲۵].

جوکار^۲ و همکارانش (۲۰۱۲) نانوکامپوزیت‌های با دانسیته پایین حاوی نانوذرات نقره را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که فیلم فعال تولید شده می‌تواند به صورت موفقیت‌آمیزی برای جلوگیری از رشد و تکثیر و هم چنین کاهش فعالیت باکتری‌های گرم منفی اشرشیاکلی و گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس استفاده شود. هم چنین کارایی ضد میکروبی نانوکامپوزیت حاوی نقره به غلظت نانوذرات نقره بستگی دارد، هر چند که غلظت بالای نانوذرات نقره ممکن است باعث تضعیف ویژگی‌های مکانیکی شود [۲۶]، اما با تمام این اوصاف؛ نانوذرات نقره گونه‌ای اکسیژن فعال^۳ (ROS) تولید می‌کنند که واکنش بین مولکول‌ها را افزایش می‌دهد و رادیکال‌های آزاد ایجاد می‌کند و در نهایت باعث آماس و آسیب رساندن به پروتئین‌ها، غشای سلولی و DNA^۴ می‌شود. هم چنین اثر

1- Incononato

2- Jokar

3- Reactive Oxygen Species

4- Deoxy Ribonucleic Acid

وسیع می‌باشد. این ترکیب به علت ایمن و زیست سازگار بودن، فعالیت در برابر اشعه ماورای بنفش و خاصیت ضد میکروبی قوی کاربردهای زیادی در زمینه پزشکی دارد [۲، ۲۴ و ۲۳]. در نتیجه این خصوصیات ویژه؛ اکسید روی می‌تواند زمینه‌های تحقیقاتی گوناگونی را در آینده ایجاد کند [۸].

۴-۶- نانو ذرات دی اکسید سیلیسیوم (سیلیکا)

دی اکسید سیلیسیوم یا سیلیکا فراوان‌ترین ماده سازنده پوسته زمین است. این ترکیب با فرمول شیمیایی SiO_2 ساختاری شبیه الماس دارد و ماده‌ای بلوری و سفید رنگ است. دمای ذوب و جوش آن نسبتاً زیاد است و در طبیعت به دو شکل بلوری و آمورف (بی‌شکل) یافت می‌شود. نانوکامپوزیت‌های حاوی نانوذرات دی اکسید سیلیسیوم نیز از جمله نانوکامپوزیت‌هایی است که نیاز به توسعه، تحقیق و مطالعات بیشتری دارند [۸].

۴-۷- نانو الیاف سلولز

سلولز به عنوان فراوان‌ترین پلیمر زیستی طبیعی و بسیار قوی است که از درختان، گیاهان و جلبک‌ها مشتق شده و یا توسط باکتری‌ها تولید می‌شود؛ هم چنین از واحدهای انیدرو-D-گلوکز تشکیل شده است که با پیوندهای گلیکوزیدی (β -1 \rightarrow 4) به یکدیگر متصل شده‌اند و دارای درجه پلیمریزاسیونی در حدود ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ برای زنجیره سلولزی می‌باشد. هر واحد انیدرو گلوکز یک زنجیر سلولز دارای سه گروه هیدروکسیل در موقعیت کربن دو، کربن سه و کربن شش می‌باشد که می‌تواند باعث تشکیل پیوندهای هیدروژنی شود. در اثر تشکیل این پیوندهای هیدروژنی ساختارهای نانومتری مختلفی به نام نانوفیبریل، فیبریل نخستین و نانوکریستال تشکیل می‌گردد. نانوسلولز مهم‌ترین نانوماده زیستی است که دارای ویژگی‌های ذاتی، از جمله ارزان بودن، فراوانی منابع آن، سطح ویژه زیاد، نسبت طول به قطر زیاد، دانسیته کم، مقاومت مکانیکی بالا، قابلیت

را در ساختار بلوری ماده کمی تغییر می‌دهد، به نحوی که وضعیت قطبی آن ماده تغییر می‌کند. این تغییر قطبی باعث افزایش ولتاژ می‌شود.

فصلنامه علمی علوم و فنون

بسته بندی

تجدیدپذیری و زیست تخریب‌پذیری و هم چنین نیاز به مصرف انرژی کمتر جهت تولید آن می‌باشد؛ که همه این ویژگی‌ها باعث می‌شود تا نانوالیاف سلولز بتواند به عنوان یک نانوماده جذاب برای تهیه نانوکامپوزیت‌های ارزان قیمت، سبک و مستحکم مورد توجه زیادی قرار گیرد [۱۳ و ۲۴]. نانوسلولز از طیف وسیعی از مواد اولیه مختلف نظیر چوب، ضایعات چوبی، ضایعات کشاورزی و سایر منابع قابل تولید است. هم چنین نانوالیاف سلولز یکی از انواع نانومواد سلولزی است که برای نخستین بار در دهه ۱۹۸۰ میلادی توریک^۱ و همکاران آن را از الیاف چوب تولید کردند [۱۳].

۴-۸- نانو لوله‌های کربنی

نانو لوله‌های کربنی که از صفحات کربن به ضخامت یک اتم و به شکل استوانه‌ای توخالی ساخته شده است در سال ۱۹۹۱ میلادی توسط سامیو ایجیما^۲ (از یک شرکت ژاپنی) کشف شد [۲۷]. در واقع نانو لوله‌ها به ساختارهایی اطلاق می‌شود که قطر آن‌ها تا حدود ۱۰۰ نانومتر باشد و آرایش اتم‌های کربن در دیواره این ساختار استوانه‌ای دقیقاً مشابه ساختار کربن در صفحات گرافیت است؛ در گرافیت شش ضلعی‌های منظم کربنی در کنار یکدیگر صفحات گرافیت را می‌سازند، این صفحات کربنی بر روی یکدیگر انباشته می‌شوند و هر لایه از طریق پیوندهای ضعیف واندروالسی^۳ به لایه زیرین متصل می‌شوند و هنگامی که صفحات گرافیت در هم پیچیده می‌شوند؛ نانو لوله‌های کربنی را تشکیل می‌دهند. در واقع نانو لوله‌های کربنی گرافیتی است که به شکل لوله درآمده است. نانو لوله‌ها به دو دسته تک جداره (SWNT^۴) و چند جداره (MWNT^۵) تقسیم می‌شوند [۲۴ و ۲۸]؛ که خواص منحصر به فرد آن از جمله مدول یانگ بالا و استحکام کششی بسیار خوب

1- Turbak

2- Iijima

3- Vander Waals Force

4- Single-Wall Nanotubes

5- Multi-Wall Nanotubes

میلادی به طور کامل کشف شد. کیتین با فرمول شیمیایی $(C_8H_{13}O_5N)_n$ نانوساختارهایی مشابه سلولز دارد. این نانوساختارها را با فرایندهای مختلف بالا به پایین^۲ نظیر هیدرولیز اسیدی، همگن سازی، سوپر آسیاب و ... می توان استحصال نمود. هم چنین این نانو ماده زیستی مهم به دلیل ویژگی هایی از جمله؛ فراوانی منابع، دانسیته کم، مقاومت مکانیکی بالا، قابلیت تجدیدپذیری و زیست تخریب پذیری و سطح ویژه بالا مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۱۳].

لو^۳ و همکارانش (۲۰۰۴) نانو الیاف کیتین تهیه شده به ابعاد ۵۰۰ نانومتر طول و ۵۰ نانومتر قطر را به ایزوله پروتئین سویا (SPI) ترموپلاستیک اضافه کردند و سپس اظهار داشتند که؛ نانو الیاف کیتین به طور قابل توجهی نه تنها ویژگی های کشسانی ماتریس پلیمری (استحکام کششی و مدول های الاستیک) را بهبود بخشید، بلکه باعث نفوذ ناپذیری و مقاومت بیشتر ماتریس نسبت به رطوبت شده است [۲۴ و ۲۹].

۴-۱۰- نانو ذرات کیتوزان

کیتوزان، پلیمری کربوهیدراتی است که در نتیجه حذف گروه استیل از ساختار کیتین (ترکیب عمده پوسته سخت پوستانی مانند خرچنگ و میگو که پس از سلولز دومین پلیمر زیستی فراوان در طبیعت می باشد)، به دست می آید [۱۵]. کیتوزان از نظر ساختاری زنجیره ای خطی از واحدهای تصادفی N-استیل D-گلوکز آمین و D-گلوکز آمین است که به وسیله پیوندهای گلیکوزیدی $\beta\text{-}1\rightarrow4$ به هم متصل شده اند. در واقع؛ شامل گروه های آمین در کربن C2 پس از داستیلاسیون^۴ در ساختار کیتین است و زمانی که درجه داستیلاسیون در کیتین بیشتر از ۶۰ تا ۷۰ درصد باشد آن را کیتوزان می نامند [۱۶]. اثرات ضد میکروبی، ضد سرطانی و کاهندگی کلسترول کیتوزان به اثبات رسیده است. هم چنین استفاده از کیتوزان در مواد غذایی به ویژه به علل زیست سازگاری

از یک طرف و طبیعت کربنی بودن نانو لوله ها (به خاطر این که کربن ماده ای است کم وزن، بسیار پایدار و ساده جهت انجام فرایندها که نسبت به فلزات برای تولیدات ارزان تر می باشد) باعث شده که در دهه گذشته شاهد تحقیقات مهمی در کارایی و پرباری روش های رشد نانو لوله ها باشیم. یکی از مهم ترین کاربردهای نانو لوله های کربنی افزودن آن ها به پلیمرهای زیست تخریب پذیر برای بهبود کارایی و خواص فیزیکی و شیمیایی نانوکامپوزیت های زیست تخریب پذیر می باشد [۱۴ و ۲۴].

اضافه نمودن نانو لوله های کربنی به پلیمرهای زیست تخریب پذیر علاوه بر بهبود خواص مکانیکی این پلیمرها، سبب کاهش نفوذ گاز و بخار آب در این پلیمرها می گردد. علاوه بر این، با انجام اصلاحات شیمیایی بر روی نانو لوله های کربنی می توان سازگاری آن ها را با زمینه پلیمری افزایش داد. ویژگی دیگری که در مورد نانو لوله های کربنی باید به آن اشاره نمود این است که اضافه نمودن مقادیر بسیار کم از آن به پلیمرهای زیست تخریب پذیر می تواند سبب افزایش زیست تخریب پذیری این کامپوزیت ها گردد. البته توجه به این نکته الزامی است که استفاده از نانو لوله های کربنی در بسته بندی مواد غذایی خیلی معمول نیست؛ چرا که احتمال ایجاد خطر مسمومیت از این مواد برای سلول های انسانی وجود دارد. با این وجود، هنوز مفید بودن استفاده از نانو لوله های کربنی برای بسته بندی در صنایع غذایی تحت مطالعه و بررسی قرار دارد [۱۴].

۴-۹- نانو الیاف کیتین

کیتین از فراوان ترین پلیمرهای زیستی بعد از سلولز می باشد. کیتین یک پلی ساکارید طبیعی است و به طور برجسته در پوسته سخت پوستانی مانند خرچنگ و میگو، کوتیکول حشرات و دیواره سلولی قارچ ها یافت می شود. تاریخچه کیتین به قرن ۱۹ برمی گردد که برای اولین بار در سال ۱۸۱۱ میلادی یک دانشمند فرانسوی به نام براکونات^۱ کیتین را از قارچ استخراج کرد و ساختار آن در سال ۱۹۵۰

2- Top-down

3- Lu

4- Deacetylation

1- Braconnot

بالا، تجزیه زیستی و بی‌طعم بودن و غیره رو به افزایش می‌باشد. خواص غیرسمی، زیست تخریب‌پذیری، آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی، نفوذ ناپذیری کیتوزان در برابر عبور اکسیژن نیز توسط محققان بسیاری گزارش شده است [۱۵]. نانوذره کیتوزان یک ماده طبیعی با خصوصیات فیزیکوشیمیایی عالی می‌باشد. نانوذره کیتوزان می‌تواند در چندین روش از جمله ژلاتینه شدن بر پایه کنش الکترواستاتیک بین یون گروه‌های آمین کیتوزان و گروه‌های پلی‌آنیون مثل تری‌پلی‌فسفات تهیه شود [۱۵]. مطالعه رمضانی^۱ و همکارانش (۲۰۱۵) در استفاده از نانوذرات کیتوزان به عنوان پوشش خوراکی برای حفظ کیفیت فیله ماهی کپور نقره‌ای نگهداری شده در شرایط یخچال نشان داد که هر دو پوشش کیتوزان و نانوذره کیتوزان برای حفظ فیله در طول نگهداری در یخچال مؤثر بود. با این حال نانوذره کیتوزان فعالیت ضد میکروبی بالاتری از کیتوزان در طول نگهداری به نمایش گذاشت [۳۰].

۵- ایمنی بسته‌بندی‌های نانویی مواد غذایی

فناوری نانو مانند هر فناوری جدیدی، مزایا و خطراتی را با خود به همراه دارد و نیاز است تا مصرف‌کنندگان به پذیرش فناوری‌های جدید اعتماد کنند. این امر به ویژه در صنایع غذایی که در آن نگرانی‌های مصرف‌کنندگان از ایمنی و سلامت مواد غذایی بیشتر است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بسیاری از نگرانی‌ها در مورد ایمنی نانومواد وجود دارد، زیرا اندازه آن‌ها ممکن است به نفوذ آن‌ها به سلول‌ها و باقی ماندن در سیستم بدن منجر شود. هم چنین اطلاعات علمی محدودی در مورد مهاجرت نانوذرات از مواد بسته‌بندی مواد غذایی به غذا و همین‌طور اثرات سمی آن‌ها وجود دارد [۷]. برخی از نانوذرات یافت شده دارای اثراتی مانند التهاب، فشار اکسایشی و نشانه‌هایی از تشکیل اولیه تومور بر بافت‌ها هستند [۳۱].

در این راستا تحقیقات بسیاری توسط محققان مختلف انجام پذیرفته به طوری که؛ سوئی^۲ و همکارانش (۲۰۰۵) نشان دادند که نانولوله‌های کربنی تک دیواره، تکثیر سلولی کلیه جنین انسان را مهار می‌کند و تأثیر منفی بر رشد سلول و عملکرد سلول دارد. این نانومواد بعید است که در صنایع غذایی استفاده شوند [۲۳]. مقامات ایمنی مواد غذایی اروپا^۳ دو مانع خاص را در ارزیابی خطر نانوذرات شناسایی کرده‌اند: (۱) دشواری در توصیف، تشخیص و اندازه‌گیری نانومواد (۲) نبودن اطلاعات کافی در داده‌های سم‌شناسی [۳۲]. برای شناسایی حضور نانومواد در مواد غذایی و مواد در ارتباط با مواد غذایی (FCMs)^۴، باید روش‌های آنالیز استاندارد یا آزمون‌های استاندارد تألیف شود. برخی از این آزمون‌های استاندارد توسط تیده^۵ و همکارانش (۲۰۰۸) مورد بحث قرار گرفته است [۳۳]. مانند اطلاعات در مورد انباشت نانوذرات در خوراک دام. نداشتن اطلاعات درباره اینکه نانومواد پس از جذب توسط بدن، به احتمال زیاد در کدام عضو تجمع پیدا می‌کنند، از دیگر موانع ارزیابی خطر است [۷]. عدم قطعیت‌های موجود برای ارزیابی خطر و قرار گرفتن نانومواد در معرض، پیامدها و محدودیت‌هایی را برای وضع قوانین مؤثر استفاده از نانومواد به همراه دارند. ولی روشن است که فناوری‌های جدید، اگر به درستی مدیریت و تنظیم شوند، می‌توانند نقش محوری در بهبود توسعه محصول و روند توسعه به نفع سلامت و تندرستی انسان داشته باشند [۷].

۶- نتیجه‌گیری

فناوری نانو به عنوان علمی نوین امکانات بالقوه‌ای را برای بهبود کیفیت و امنیت مواد غذایی، ثبات و پایداری و

2- Cui

3- European Food Safety Authority (EFSA)

4- Food Contact Materials

5- Tiede

1- Ramezani

- هم چنین ایمنی آن‌ها فراهم آورده است. بیشترین کاربرد فناوری نانو در حوزه بسته‌بندی و تشخیص و شناسایی عوامل بیماری‌زایی مواد غذایی می‌باشد. این دانش به دلیل تغییر در ساختار مولکولی پوشش‌ها و بهبود ویژگی‌های آن‌ها سبب تحولی شگرف در صنایع بسته‌بندی شده است. در صنعت غذایی، بسته‌بندی‌های اولیه به بسته‌بندی‌های نوین و هوشمند در جهت افزایش زمان ماندگاری و عمر مفید مواد غذایی، بهبود در ویژگی‌های مکانیکی، حرارتی، ممانعت‌کنندگی و ضد میکروبی بسته‌بندی‌ها تغییر یافته‌اند تا بتواند جوابگوی روند جهانی، پیشرفت فناوری و نیازهای مشتری باشند. شایان ذکر است؛ بسته‌بندی مواد غذایی و توجه به کیفیت آن در کنار توجه به مسئله زیست سازگاری مواد به کار رفته در آن یک اولویت تعیین‌کننده بوده و نقش به‌سزایی در افزایش کیفیت مواد غذایی، کاهش ضایعات و هدر رفت مواد غذایی و در نتیجه حفظ منابع ملی برای نسل آیندگان دارد، بدین منظور فناوری نانو و استفاده از آن در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی جایگاه ویژه خود را در این عرصه پیدا نموده و با رشد روز افزونی در حالت پیشرفت و توسعه در بازار جهانی می‌باشد، اما نکته قابل توجهی که از آن نمی‌توان چشم‌پوشی کرد مسئله ایمنی بسته‌بندی‌های نانویی می‌باشد؛ که این موضوع هنوز مورد تحقیق و بررسی‌های گسترده می‌باشد و نیاز به تحقیقات بیشتری در جهت تمرکز بر روی حرکت نانومواد مختلف از بسته‌بندی به داخل مواد غذایی و اثرات مخرب آن‌ها بر سلامتی بشر لازم و ضروری می‌باشد.
۱. اسدی خوانساری، ر.، دهقانی فیروزآبادی، م. ر. (زمستان ۱۳۹۲)، «معرفی مواد کاغذی و مقوایی نوین در بسته‌بندی محصولات صنایع غذایی»، فصلنامه علمی- ترویجی علوم و فنون بسته‌بندی، سال چهارم، شماره شانزدهم. ۵۷-۴۶.
 ۲. حسینی صدر، ص.، سبلان وند، ص.، ولیزاده، ر. (پاییز ۱۳۹۶)، «کاربرد نانوتکنولوژی در
۱. بسته‌بندی مواد غذایی»، پویس در آموزش علوم پایه، دوره سوم، شماره سوم. ۵۱-۴۱.
 ۳. جلیلی، ف.، جعفری، س. م. (زمستان ۱۳۹۰)، «پلیمرها و پلاستیک‌های بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر بر پایه نشاسته»، فصلنامه علوم و فنون بسته‌بندی، سال دوم، شماره هشتم. ۵۳-۳۸.
 ۴. واحدی، ح.، کبارفرد، ف.، آزادبخت، م.، بابایی، ز.، خالقی، ف. (پاییز ۱۳۹۴)، «بررسی عوامل مؤثر بر پدیده مهاجرت از بسته‌بندی‌های پلاستیکی به مواد غذایی»، مجله تعالی بالینی، آموزشی- پژوهشی، دوره چهارم، ویژه نامه ایمنی غذا از مزرعه تا سفره. ۱۲۰-۱۰۷.
 ۵. داورپناه، ز.، کرامت، ح.، همدی، ن.، شاهدی، م.، بهزاد، ط. (پاییز ۱۳۹۳)، «خواص فیلم میکروکامپوزیت زئین حاوی مونت موریلونیت اصلاح شده»، فصلنامه علوم و فناوری‌های نوین غذایی، سال دوم، شماره ۵. ۵۶-۴۹.
 ۶. جعفری زاده مالگیری، ه.، قازجهانیان، م. ع. (تابستان ۱۳۹۲)، «استفاده از نانوذرات سیلیکایی مونت‌موریلونیت (MMT) در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی»، فصلنامه علمی- ترویجی علوم و فنون بسته‌بندی، سال چهارم، شماره چهاردهم. ۸۱-۷۰.
 ۷. محمدی، ن.، حسین زاده اقدم، و. (بهار ۱۳۹۴)، «ایمنی بسته‌بندی‌های نانویی مواد غذایی»، شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو (INLN)، ۱-۰۱.
 ۸. لیاقتی، ل.، عزیزی، م. ح.، جوکار، م. (دی ماه ۱۳۹۱)، «کاربرد نانو کامپوزیت‌ها در صنایع بسته‌بندی و مواد غذایی»، ماهنامه فناوری نانو، سال یازدهم، شماره ۱۰، پیاپی ۱۸۳. ۱۸-۱۴.
 ۹. مطهری، س. ز. (پاییز ۱۳۹۲)، «بیوسنسور بر پایه نانو ذرات طلا در بسته‌بندی هوشمند»، ارائه شده در بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، ۷ تا ۹ آبان ۱۳۹۲. دانشگاه شیراز.
 ۱۰. عبدلهی، م.، رضایی، م.، فرزی، غ. ع. (بهار ۱۳۹۰)، «تهیه و ارزیابی خصوصیات نانو

- ماهنامه فناوری نانو، سال سیزدهم، شماره ۱۲،
پیاپی ۵۲-۵۵.
17. Coles R., McDowell D., Kirwan M. J., (2003). **“Introduction”**. In: Coles R., McDowell D., Kirwan M. j (eds) Food Packaging Technology. Boca Raton. FL: CRC Press. 1-31.
 18. Shin, J. and Selke, S. E. M., (2014), **“Food Packaging, In: Food Processing: Principles and Applications, Second Edition. Edited by Stephanie Clark,”** Stephanie Jung and Buddhi Lamsal, Published by John Wiley & Sons, Ltd. 249-273.
 19. World Packaging Organization (WPO), (2009). Packaging is the Answer to World Hunger.
 20. Del Nobile M. A., Cannarsi M., Altieri C., Sinigaglia M., Favia P., Lacoviello G., D’Agostino R., (2004). **“Effect of Ag-containing Nano-composite active packaging system on survival of Alicyclobacillus acidoterrestris”**. Journal of Food Science, Vol. 69, NO. 8, E379-E383.
 21. Wesley S. J., Raja P., Raj A. A. S., Tirouchelvamae D., (2014). **“Review on- Nanotechnology applications in food packaging and safety”**. International Journal of Engineering Research, Vol. 3, NO. 11, 645-651.
 22. Wei H., Yan Jun Y., Ning Tao L., Li Bing W., (2011). **“Application and safety assessment for nano-composite materials in food packaging”**. Chinese Science Bulletin, Vol. 56, NO. 12, 1216-1225.
 23. Cui D., Tian F., Ozkan C. S., Wang M., Gao H., (2005). **“Effect of single wall carbon nanotubes on human HEK293 cells”**. Toxicology Letters, Vol. 155, 73-85.
 24. Azeredo H. M. C. de., (2009). **“Nanocomposites for food packaging applications”**. Food Research International, Vol. 42, 1240-1253.
 25. Inconato A. L., Conte A., Buonocore G. G., Del Nobile M. A., کامپوزیت زیست تخریب پذیر کیتوزان/ نانورس جهت کاربرد در بسته بندی مواد غذایی»، نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران، جلد ۷، شماره ۱. ۷۱-۷۹.
 ۱۱. وکیلی نظامی، ا.، افشین پژوه، ر.، امینی، م.، سعادت مند، ا. (پاییز ۱۳۹۲)، «استفاده از نانوکامپوزیت های پلیمری خاک رس در بسته بندی ماکارونی جوانه گندم و تأثیر آن بر زمان ماندگاری»، ارائه شده در بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، ۷ تا ۹ آبان ۱۳۹۲. دانشگاه شیراز.
 ۱۲. بیگ محمدی، ف.، پیغمبر دوست، س. ه.، حساری، ج.، آزاد مرد دمیچی، ص.، پیغمبر دوست، س. ج. (تابستان، ۱۳۹۴)، «بسته بندی برگ سویا در فیلم های نانوکامپوزیتی بر پایه پلی اتیلن سبک تلفیق شده با نانو ذرات فلزی»، فصلنامه فناوری های نوین غذایی، سال دوم، شماره ۸. ۱-۹.
 ۱۳. آلبوغیش، ح.، خدانظری، آ. (۱۳۹۷)، «مقایسه تأثیر پوشش های کیتوزان و نانوکیتوزان غنی شده با عصاره چای سبز (Camellia sinensis L.) بر کیفیت ماهی گیش درخشان (Carangoides coeruleopinnatus) طی نگهداری در یخچال»، مجله علمی شیلات ایران، سال بیست و ششم، شماره ۵. ۹۵-۱۱۰.
 ۱۴. مفتاحی، م. (مرداد ماه ۱۳۹۴)، «نانو کامپوزیت های زیست تخریب پذیر برای بسته بندی مواد غذایی»، ماهنامه فناوری نانو، سال چهاردهم، شماره ۵، پیاپی ۲۱۴-۱۶.
 ۱۵. ایزی، ص.، یوسفی، ح.، مشکور، م.، رسولی، د. (۱۳۹۷)، «مقایسه خواص نانو کاغذ تهیه شده از نانو الیاف سلولز و نانو الیاف کیتین»، نشریه پژوهش های علوم و فناوری چوب و جنگل، جلد بیست و پنجم، شماره سوم. ۶۱-۷۲.
 ۱۶. تکتاز، ف. (اسفند ماه ۱۳۹۳)، «کیتوزان؛ نانو حاملی مناسب برای انتقال داروهای ضد آکزیمر»،

33. Tiede K., Boxall A. B., Tear S. P., Lewis J., David H., Hasselov M., (2008). **“Detection and characterization of engineered nanoparticles in food and the environment”**. Journal of Food Additives and Contaminants: Part A, Vol. 25, NO. 7, 795-821.

آدرس نویسنده

مازندران- تنکابن- بلوار شهید شیرودی- خیابان
شهید سلیمانی- خیابان شهید مرتضوی- بن
بست شقایق- طبقه اول- کد پستی:

۴۶۸۱۹۷۸۱۹۷

- (2011). **“Agar hydrogel with silver nanoparticles to prolong the shelf life of Fior di Latte cheese”**. Journal of Dairy Science, Vol. 94, NO. 4, 1697-1704.
26. Jokar M., Abdul Rahman R., Ibrahim N. A., Abdullah L. C., Tan C. P., (2012). **“Melt production and antimicrobial efficiency of low-density polyethylene (LDPE)-silver nanocomposite film”**. Food Bioprocess Technol, Vol. 5, 719-728.
27. Tian F., Cui D., Schwarz H., Estrada G. G., Kobayashi H., (2006). **“Cytotoxicity of single-wall carbon nanotubes on human fibroblasts”**. Toxicology in Vitro, Vol. 20, 1202-1212.
28. Sayes C. M., Liang F., Hudson J. L., Mendez J., Guo W., Beach J. M., Moore V. C., Doyle C. D., West J. L., Billups W. E., Ausman K. D., Colvin V. L., (2006). **“Functionalization density dependence of single-walled carbon nanotubes cytotoxicity in vitro”**. Toxicology Letters, Vol. 161, 135-142.
29. Lu Y., Weng L., Zhang L., (2004). **“Morphology and properties of soy protein isolate thermoplastics reinforced with chitin whiskers”**. Biomacromolecules, Vol. 5, NO. 3, 1046-1051.
30. Ramezani Z., Zarei M., Raminnejad N., (2015). **“Comparing the effectiveness of chitosan and nanochitosan coatings on the quality of refrigerated silver carp fillets”**. Food Control, Vol. 51, 43-48.
31. Carlson C., Hussain S. M., Schrand A. M., Braydich-Stolle L. K., Hess K. L., Jones R. L., Schlager J. J., (2008). **“Unique cellular interaction of silver nanoparticles: size-dependent generation of reactive oxygen species”**. The Journal of Physical Chemistry B, Vol. 112, NO. 43, 13608-13619.
32. European Food Safety Authority (EFSA). (2009). Dopted on 10 February 2009. Available from http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_lo cale-1178620753812_1211902361968.htm (accessed February, 2010).