مقاله ترویجی

مروری بر پوشش‌های بسته‌بندی نانو و نقش آن‌ها در کنترل کیفیت مواد غذایی

سیده فاطمه سید ریحانی [۱]، حامد اهری [۲×]

تاریخ دریافت مقاله: آبان ماه ۱۳۹۸

تاریخ پذیرش مقاله: بهمن ماه ۱۳۹۸

چکیده

فنّاوری نانو را می‌توان در صنایع غذایی برای تولید، فرآوری، ذخیره و کنترل کیفیت مواد غذایی استفاده کرد. نانومواد بر خلاف مواد ریز در مقیاس معمولی، به دلیل داشتن ویژگی‌های نوین می‌توانند با ارائه بافت، رنگ و ظاهر جدید، کیفیت حسی غذاها را بهبود بخشند. از نانوفنّاوری برای طراحی نانو حسگرها، تشخیص اجزای مضر در غذاها و سامانه بسته‌بندی هوشمند استفاده می‌شود، زیرا شناسایی آلودگی مواد غذایی را با سرعت و حساسیت بسیار بالا امکان‌پذیر ساخته است. بسته‌بندی‌های هوشمند و فعّال سبب نوآوری‌های بسیاری برای صنعت غذا و سایر صنایع در آینده است. با استفاده از فنّاوری نانو، با بهبود خواص مکانیکی، ضدمیکروبی و ممانعت‌کنندگی، بسته‌بندی جدیدی فراهم می‌شود که ماندگاری مواد غذایی را افزایش می‌دهد. این مقاله به ارائه یک مرور کلی در مورد طبقه‌بندی، روش‌های مقدماتی و مسائل ایمنی نانومواد در صنایع غذایی می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی

نانومواد، بسته‌بندی فعال[۳]، بسته‌بندی هوشمند[۴]، کنترل کیفیت، ماندگاری

۱- مقدمه

با توجّه به سبک زندگی پیچیده و شلوغ مصرف‌کننده در جامعه مدرن، تولیدکنندگان مواد غذایی تلاش می‌کنند تا سامانه‌های بسته‌بندی کاربردی با ویژگی‌های سهولت استفاده نهایی را توسعه دهند. بسته‌بندی باعث مهار و محافظت از محصولات غذایی در برابر شرایط نامطلوب خارجی و داخلی مانند: بخار آب، میکروارگانیسم‌ها، گازها، بوها، گرد و غبار، شوک مکانیکی، ارتعاشات در هنگام توزیع و حین نگهداری می‌شود. در سامانه‌های

۱- پسادکتری صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران(far.reihani@gmail.com).

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

(× نویسنده مسئول:dr.h.ahari@gmail.com)

3- Active Packaging

منظور از بسته‌بندی فعال، بسته‌بندی‌هایی است که در طول زمان نگهداری محصول، فعال بوده و با توجّه به وضعیت محصول، با ایجاد تغییرات و با وارد کردن یا حذف موادی از فضای بسته، موجب حفظ، بهبود کیفیت و یا افزایش عمر ماندگاری محصول(مثلاً فرآورده‌های گوشتی) می‌شوند.

4- Intelligent Packaging

بسته‌بندی‌های هوشمند این توانایی را دارند که مؤثر و بی‌عیب بودن سامانه‌های بسته‌بندی فعال را کنترل کرده و در مورد آن اطّلاع‌رسانی کنند. این بسته‌بندی‌ها شرایط و وضعیت غذای بسته‌بندی شده را بررسی کرده و اطّلاعاتی را در مورد کیفیت غذای بسته‌بندی شده در ضمن انبارداری، توزیع و فروش در دسترس قرار می‌دهند.

بسته‌بندی پیشرفته، تقویت این کارکردها از طریق مکانیسم‌های تعاملی بر پایه فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی ممکن می‌گردد. در واقع، سامانه‌های بسته‌بندی هوشمند با توجّه به عملکردهای ارتباطی و بازاریابی دارای کارکردی پیشرفته هستند؛ به عنوان مثال، ارائه بازخورد پویا به مصرف‌کننده در مورد کیفیت واقعی محصول یکی از نتایج استفاده از بسته‌بندی هوشمند است. از سوی دیگر، بسته‌بندی فعال بر محافظت و نگهداری مواد غذایی از طریق برخی مکانیسم‌های فعال شده توسط عوامل درونی یا بیرونی متمرکز است[۱]. امروزه استفاده از فنّاوری نانو در صنعت باعث تحولات چشمگیری در ارائه محصولات شده و صنایع بسته‌بندی نیز از این تحول و پیشرفت بی‌بهره نبوده است. فنّاوری نانو، یک علم کاملاً میان رشته‌ای است که شامل استفاده از مواد یک یا چند بعدی و با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. نانومواد متداول را می‌توان در سه کلاس اصلی طبقه‌بندی کرد:

۱) ذرّات؛

۲) پلاکت؛

۳) الیاف[۲ و ۳].

این مواد به دلیل ابعاد در مقیاس نانو و نسبت سطح به حجم، فعالیت سطحی بسیار بالایی دارند. با افزودن نانو مواد به پلیمرهای سازگار، می‌توان به طور چشمگیری خواص نانوکامپوزیت‌های حاصله از قبیل مقاومت مکانیکی، پایداری حرارتی، هدایت الکتریکی و ... را بهبود و افزایش داد. به همین دلیل، نانو مواد نویدبخش بهبود خصوصیات مکانیکی و ممانعتی بسته‌های مواد غذایی و همچنین ایجاد ساختارهای پیشرفته برای کاربردهای فعال و هوشمند هستند [۴]. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد ویژگی‌های نوین نانومواد سبب گشایش دوران جدیدی برای صنایع غذایی بوده است. مجموعه‌ای از مواد با دارا بودن نانوساختارهای عملکردی می‌توانند به عنوان بلوک‌های ساختمانی برای ایجاد ساختارهای جدید و تقویت مضاعف خواص عملکردی مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرند. این موارد عبارتند از: نانولیپوزوم‌ها[1]، نانو امولسیون‌ها[2]، نانوذرّات و نانوالیاف.

نانوالیاف مواد بسیار مناسبی برای تولید ماتریس[3] ساختاری جهت تولید مواد غذایی مصنوعی(مانند: طعم‌دهنده‌های مصنوعی) و مواد بسته‌بندی غذایی سازگار با محیط زیست هستند. اخیراً، نانوالیاف از مواد با درجه غذایی ساخته می‌شوند؛ از این رو احتمالاً در آینده نزدیک استفاده از آن‌ها افزایش می‌یابد[۵ ،۶]. مواد کامپوزیت موادی شامل: دو یا چند فاز هستند که یکی فاز زمینه و دیگری فاز پراکنده است. به طور معمول، فاز زمینه، یک پلیمر است و فاز پراکنده، مواد پرکننده یا تقویت‌کننده هستند. به طور کلی، نانوکامپوزیت‌ها به موادی اطلاق می‌شوند که از یک یا مخلوط پلیمرهایی با حداقل یک پرکننده آلی یا معدنی با ابعاد پایین‌تر از ۱۰۰ نانومتر تشکیل شده‌اند. بسیاری از مطالعات گزارش کرده‌اند که ترکیب نانوذرّات مانند SiO_2، خاک رس، TiO_2، $KMnO_4$، سلولز، نانو سلولز، نانو سلولز رشته‌ای، SiC، نانولوله‌های کربن و ... در بیوپلیمرها و پلیمرهای مصنوعی می‌تواند ویژگی‌های مکانیکی و ممانعت‌کنندگی آن‌ها را تقویت کند[۶]. طبق مطالعات انجام شده، با ترکیب نانومواد در ماتریس پلیمرها می‌توان خواص مکانیکی مانند: سفتی، استحکام کششی، چقرمگی، استحکام برشی، مقاومت در برابر لایه‌برداری، خستگی، خواص ممانعت‌کنندگی، پایداری حرارتی و خصوصیات نوری پلیمرها را بهبود بخشید[۷،۴].

۲- کاستی‌های سامانه‌های بسته‌بندی موجود

از جمله چالش‌های موجود در صنایع غذایی و بسته‌بندی می‌توان به تولید ناپایدار، عدم بازیافت، عدم وجود ویژگی‌های مکانیکی و ممانعت‌کنندگی می‌توان اشاره کرد. اگرچه فلز و شیشه موانع خوبی برای جلوگیری

1- Nanoliposomes
2- Nanoemulsions
3- Structural matrix

از انتقال انبوه مواد ناخواسته در بسته‌بندی مواد غذایی هستند، اما پلاستیک به دلیل وزن سبک، شکل‌پذیری، کارایی و ویژگی‌های متنوع هنوز هم محبوبیت زیادی دارد. در نتیجه، صنعت بسته‌بندی بیش از ٤٠٪ پلاستیک‌ها را برای بسته‌بندی -که بیش از نیمی از آن برای بسته‌بندی مواد غذایی است- مصرف می‌کند[٨].

اکثر مواد بسته‌بندی بر پایه مواد نفتی هستند و دارای منبع مواد اولیه پایداری نیستند. به علاوه، پلاستیک‌های با پایهٔ بر نفت تجزیه‌پذیر نیستند. با توجّه به اینکه تقریباً ٣٠٪ از زباله‌های جامد شهری در آمریکای شمالی از بسته‌بندی‌ها مشتق شده‌اند[٩]، اما حجم زیاد زباله‌های جامد تولیدی یک چالش جدّی زیست محیطی را به دنبال داشته است. یکی دیگر از مسائل مهم در بسته‌بندی مواد غذایی، به عنوان مثال، محصولات تازه (مانند: سبزیجات، میوه‌ها و گوشت‌ها) می‌بایست در بسته‌هایی با مواد نفوذپذیر نسبت به اکسیژن و با نرخ نفوذپذیری بهینه بسته‌بندی شوند، در حالی که محصولات فرآوری شده نیازی به چنین نفوذپذیری‌ای ندارند. تطبیق عملکرد ممانعت از نفوذ در محصولات خاص برای افزایش ماندگاری آن‌ها با ترموپلاستیک‌های[1] محدود موجود، چالش‌ساز است. اگرچه مخلوط‌های پلیمری و سازه‌های کامپوزیت چند لایه برای گسترش خصوصیات کاربردی ترموپلاستیک ایجاد شده است، با این حال، همچنان مشکلاتی از قبیل: هزینه زیاد و مسئله بازیافت این مواد حل نشده باقی‌مانده است. چالش دیگری که بسیاری از تولیدکنندگان مواد غذایی با آن روبرو هستند، دستیابی به ماندگاری مناسب در عین حفظ کیفیت و ایمنی مطلوب محصولات است.

این مسئله بیشتر برای تولیدکنندگان در کشورهای توسعه نیافته که زیر ساخت‌های توزیع و نگهداری مواد غذایی کارآمد وجود ندارد، مطرح است. تکثیر میکروارگانیسم‌ها به دلیل آلودگی و قرار گرفتن در دمای نامناسب نگهداری، کاهش کیفیت مواد مغذّی در اثر اکسیداسیون[2]، از بین رفتن خواص ارگانولپتیک[3] و مواد مغذّی به دلیل تعامل با عوامل بیرونی نابسامان (نور، اکسیژن و آب) نمونه‌هایی از مسائل مرتبط با کیفیت مواد غذایی و ایمنی هستند که می‌بایست برطرف شوند[٤].

٣- روش‌های مرسوم برای تهیه نانوکامپوزیت

روش‌های عمومی به‌کار رفته در ساخت نانوکامپوزیت‌ها را می‌توان در چهار گروه طبقه‌بندی کرد:

روش اول، روشی برای درهم آمیختگی و میان لایه‌ای است که بر اساس لایه‌برداری سیلیکات‌های لایه‌ای مانند: مونت موریلونیت[4] و میکا[5] انجام می‌شود.

روش دوم، پلیمریزاسیون[6] درجا با حضور پرکننده‌های نانو (نانوفیلر)؛

روش سوم، هر دو روش شکل‌گیری درجا نانوفیلرها و پلیمریزاسیون درجا است.

روش چهارم، مخلوط کردن مکانیکی مستقیم پلیمر و نانوفیلرها می‌باشد.

در ادامه به طور خلاصه به توضیح هر کدام از این روش‌ها پرداخته شده است.

٣-١- روش میان لایه‌ای

روش میان لایه‌ای یک رویکرد معمولی از بالا به پایین است که مبتنی بر کوچک‌سازی پرکننده‌ها به نانو ابعاد می‌باشد. در این روش، لایه‌برداری سیلیکات‌های لایه‌ای که به عنوان پرکننده معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند با درهم آمیختن یک ترکیب ارگانیک به فضای لایه‌ای سیلیکات اتّفاق می‌افتد و در نتیجه پراکندگی یکنواخت نانوفیلرهای صفحه مانند شکل می‌گیرد[١٠،١١].

سیلیکات لایه بندی شده باید توسط فعال‌کننده‌های سطحی آلی با عملکرد کاتیون چهار کربنی، مانند اسیدهای

1- Thermoplastic
2- Oxidation

3- Organoleptic
4- Montmorillonite
5- Mica
6- In Situ Polymerization

آمینه، آلکیل آمونیوم[1]، ایمیدازولیوم[2] و نمک فسفونیوم[3]، به صورت ارگانیک اصلاح شود تا با آبگریزی کافی با ترکیبات آلی قابل ترکیب باشد چرا که سیلیکات آبدوست، اما ترکیب آلی آبگریز است. میان‌گذاری مواد پلیمری در لایه‌های سیلیکات بهبود یافته از مواد آلی و لایه‌برداری متعاقب آن از سیلیکات‌ها با استفاده از یک روش شیمیایی یا مکانیکی انجام می‌شود. روش شیمیایی معمولاً پلیمریزاسیون در جای مونومرها در لابلای لایه‌های سیلیکات است (در روش پلیمریزاسیون متقابل درجا)[۱۱].

۳-۲- روش پلیمریزاسیون درجا

این روش و همچنین پلیمریزاسیون متقابل درجا[4]، از واکنش‌های پلیمریزاسیون بهره می‌گیرد. در این روش، نانوذرات در محلول مونومر پراکنده می‌شوند و مخلوط حاصل با استفاده از روش‌های استاندارد پلیمریزاسیون، پلیمریزه می‌شود[۱۲]. نانوکامپوزیت‌های فلزی/ پلیمری با تشکیل همزمان ذرات فلزی از پیش‌سازهای فلزی مناسب و پلیمرهای ماتریسی آن‌ها ساخته می‌شوند[۱۱]. واکنش‌ها در حضور یک پلیمر محافظ رخ می‌دهد که اندازه ذرات فلز را محدود می‌کند. در مواردی که کمپلکس‌های آلی فلزی مانند: پالادیوم[5]، پلاتین، نقره و طلا در مونومر حل شوند نانوکامپوزیت‌های فلز گرانبها / پلیمر گرانبها می‌توانند از طریق پلیمریزاسیون و احیاء متعاقب یون‌های فلزی در کمپلکس‌ها ساخته شوند. نکته کلیدی پلیمریزاسیون درجا، پراکندگی مناسب پرکننده در مونومر است. برای این منظور، اصلاح سطحی ذرات یا پیش‌سازهای فلزی با هدف بهبود قابلیت ترشوندگی و اختلاط پرکننده با مونومر مورد نیاز است.

۳-۳- روش Sol-Gel

این روش، یک رویکرد معمولی از پایین به بالا است که با تشکیل درجا نانوفیلرها و پلیمریزاسیون درجا با استفاده از روش سُل- ژل همراه است. تلاش‌های زیادی برای سنتز انواع مختلف نانوکامپوزیت‌های پرکننده/ پلیمر صورت گرفته که در آن‌ها فازهای پرکننده معدنی با ابعاد در محدوده از چند آنگستروم[6] تا چندین نانومتر به صورت همگن توزیع می‌شوند، یعنی مواد ترکیبی مولکولی آلی/ معدنی، با استفاده از واکنش‌های آلکوکسیدهای فلزی به دست آمده‌اند[۱۰،۱۱،۱۳]. با پیشرفت اخیر این فنّاوری سُل- ژل، نانوکامپوزیت‌ها و مواد ترکیبی مولکولی توسط بسیاری از گروه‌های تحقیقاتی به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از این فنّاوری، می‌توان پرکننده‌های معدنی را با ابعادی کوتاه‌تر از طول زنجیره مولکولی پلیمر ماتریس پراکنده کرد. با این حال، گونه‌های پلیمری که به عنوان یک ماده آلی از مواد ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در روش سُل- ژل محدود به پلیمرهای دارای گروه‌های پذیرنده پیوند هیدروژن هستند که می‌توانند پیوندهای هیدروژنی را با گروه‌های هیدروکسیل[7] موجود در سطح پرکننده معدنی مانند ترکیبات الکلی و پلیمرهای محلول در آب تشکیل دهند. علاوه بر این، شرایط واکنش‌های سل ژل به‌کار رفته تأثیر چشمگیری بر ساختار شبکه معدنی شکل گرفته دارد در سطح مولکولی سبب دشواری کنترل اندازه و چیدمان بخش در مواد ترکیبی (هیبرید) می شود. محدودیت زیاد در انتخاب پلیمرها و دشواری شدید در ساخت مواد ترکیبی با کیفیت پایدار و قابلیت اطمینان بالا، از بزرگ‌ترین چالش‌ها در تأمین پایدار و توسعه کاربردهای صنعتی محصولات مواد ترکیبی هستند[۱۱].

1- Alkylammonium
2- Imidazolium
3- Phosphonium Salts
4- In situ Intercalative Polymerization
5- Paladium
6- Angstrom
7- Hydroxyl Groups

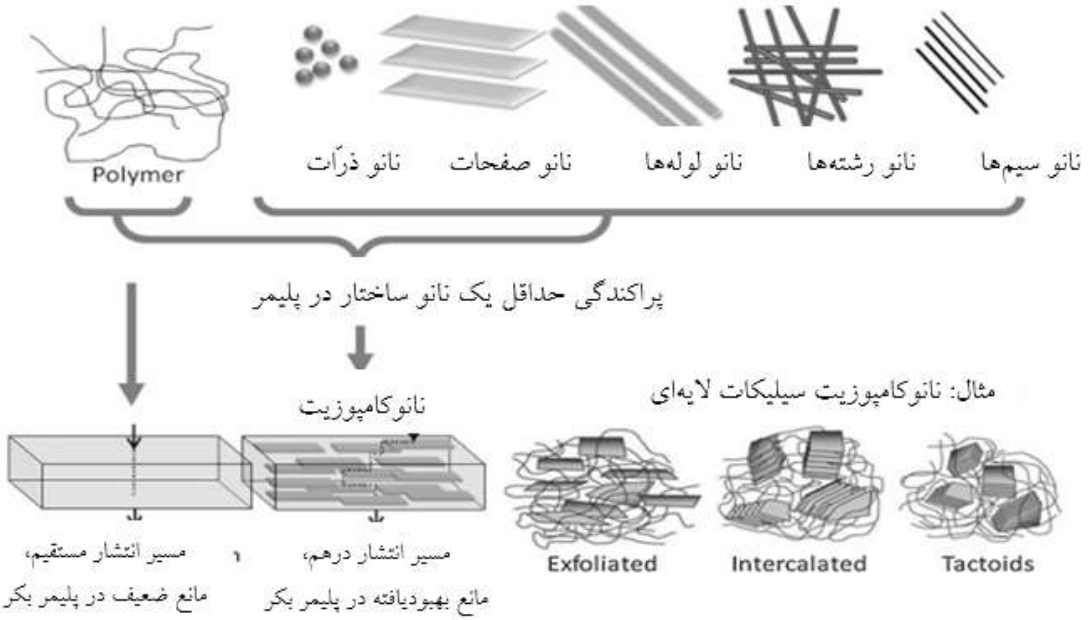
۳-٤- روش مخلوط کردن مستقیم پلیمر و نانوفیلرها

مخلوط کردن مستقیم یک پلیمر ماتریس و نانو فیلرها رویکردی از بالا به پایین است که بر اساس تجزیه فیلرهای جمع شده در طی فرآیند اختلاط است. این نوع روش برای ساخت کامپوزیت‌های پلیمر حاوی پرکننده‌های نانو یا زیر میکرون به ابعاد یک یا دو مرتبه بزرگ‌تر از حوزه این پرکننده‌ها -که در مواد ترکیبی مولکولی پراکنده‌اند- مناسب است. دو روش کلی برای مخلوط کردن پلیمر و پرکننده‌ها وجود دارد: روش اول، مخلوط کردن یک پلیمر، در غیاب هر نوع حلال، با نانوفیلرهای بالاتر از نقطه نرم شدن پلیمر (روش ترکیب ذوب) است[۱۳،۱۱] و روش دوم، مخلوط کردن پلیمر و پرکننده‌ها به عنوان یک محلول و یا به بیان دیگر روش مخلوط کردن محلول نام دارد[۱۴]. به طور کلی، روش اختلاط محلول نسبت به روش ترکیب ذوب برتری دارد. با این وجود، در این روش، پلیمرهایی که در حلال‌های نقطه جوش کم معمولی، مانند پلی‌اتیلن نامحلول هستند، نمی‌توانند به عنوان ماتریس کامپوزیت‌ها مورد استفاده قرار گیرند. محدودیت ماتریس پلیمر یکی از معایب روش مخلوط کردن محلول است.

٤- توسعه نانو کامپوزیت‌ها

اگرچه بیوپلیمرها سازگار با محیط زیست هستند و می‌توانند ضمن حفظ ایمنی و کیفیت آن، در حفاظت از مواد غذایی نیز مؤثر باشند، اما بزرگ‌ترین کاستی این دسته از مواد، ممانعت‌کنندگی ضعیف‌تر و خاصیت مکانیکی آن‌ها در مقایسه با نفت است. این مسئله استفاده از بیوپلیمر در بسیاری از بسته‌بندی‌های مواد غذایی را محدود می‌کند. در عین حال، مطالعات نشان داده است که فنّاوری نانوکامپوزیت برای تقویت خواص مواد بیوپلیمر و همچنین ترموپلاستیک مصنوعی مفید بوده است. شکل (۱) روش کلی تهیه نانوکامپوزیت‌ها را ترسیم کرده و نشان می‌دهد که چگونه این مواد در مقایسه با یک ماده پلیمری خالص، خاصیت ممانعت‌کنندگی را بهبود می‌بخشند.

پراکندگی مناسب نانوذرات در ماتریس پلیمر یکی از مهم‌ترین عواملی است که خواص کامپوزیت حاصل را



شکل ۱- ترسیم شماتیک تهیه نانو کامپوزیت‌ها و بهبود ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی [۴]

تعیین می‌کند. ترکیب پرکننده، مانند نانو پلاکت‌ها با نسبت سطح به ضخامت زیاد در پلیمر، خاصیت ممانعت‌کنندگی را برای انتشار مولکول‌های نفوذکننده تقویت می‌کند. از آنجایی که این پرکننده‌ها نسبت به ماتریس‌های پلیمری در برابر گازها و بخار آب قابل نفوذ نیستند و یا نفوذپذیری کمتری دارند، حضور آن‌ها منجر به انتشار طولانی‌تر توسط مولکول‌های نفوذی نسبت به مسیر انتشار آن‌ها در ماتریس پلیمر اولیه می‌شود (شکل ۱). در نتیجه، خصوصیات ممانعت‌کنندگی کلی نانوکامپوزیت در برابر بخارات و گازها بهبود می‌یابد. برای کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی، نانوکامپوزیت‌های رس/ پلیمر بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند[۴].

به عنوان مثال در مطالعه‌ای، ویژگی‌های ممانعتی اکسیژن یک پلی‌اتیلن با چگالی کم پس از اختلاط مونت‌موریلونیت آلی، هفت برابر بهبود یافت[۱۵]. ترکیب نانومواد مونت‌موریلونیت سدیم در PVA[1] و PVP[2] قابلیت جذب ها را تقریباً ۱۲٪ کاهش داد. این را می‌توان به پیوندهای هیدروژن که بین مولکول‌های پلیمری و نانومواد تشکیل شده‌اند نسبت داد که باعث کاهش محل‌های موجود در زنجیره‌های پلیمری برای تعامل با مولکول‌های آب هستند[۱۶]. در بیوکامپوزیت، متداول‌ترین پلیمرها پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و ... هستند. بیوکامپوزیت‌های با پایهٔ نانو- رس به دلیل ویژگی‌های مکانیکی و ممانعت‌کنندگی بهبود یافته در مقایسه با بیوپلیمر بکر، و همچنین فواید زیست محیطی آن‌ها به دلیل تجزیه‌پذیری مورد توجّه بسیاری قرار گرفته‌اند[۴،۱۷].

۵- بسته‌بندی فعال

در سامانه‌های بسته‌بندی فعال، عملکرد ترکیب یک بسته با ترکیب مواد فعال مانند: ترکیبات ضدمیکروبی، مواد نگهدارنده، جاذب اکسیژن، جاذب بخار آب، حذف‌کننده اتیلن و ... افزایش می‌یابد.

در اینجا، مؤلفه‌های فعال با استفاده از فنّاوری نانو برای تولید یک حامل مؤلفه فعال که می‌تواند با بسته غذایی تلفیق شود، سرهم می‌شوند. حامل می‌تواند با عوامل داخلی و یا خارجی تعامل داشته باشد و از این طریق سبب فعال کردن عملکرد مورد نظر شده که باعث افزایش ماندگاری، حفظ کیفیت غذا و یا بهبود ایمنی محصول می‌شود[۴].

۶- بسته‌بندی هوشمند

مشخصه سامانه‌های بسته‌بندی هوشمند تقویت جنبه ارتباطی یک بسته است، به گونه‌ای که به صورت پویا کیفیت واقعی مواد غذایی را در زمان واقعی منعکس کند که این در واقع در تقابل با رویکرد استاتیک "بهترین زمان مصرف قبل از" و "قابل استفاده تا زمان" از رویکرد تاریخ‌دار است. این نوع بسته‌بندی پیشرفته برای افزایش اثربخشی انتقال اطّلاعات در طول زنجیره توزیع محصول از طریق روش‌های ارتباطی نوآورانه چون برچسب‌های هوشمند (برچسب‌های هویت فرکانس رادیویی، شاخص‌های زمان دما، سنسورهای اکسیژن و دی اکسید کربن، شاخص‌های تازگی) مفید است [۴]. این شاخص یا حسگر، با استفاده از نانو فنّاوری مناسب می‌تواند با عوامل داخلی (اجزای مواد غذایی و ترکیبات فضای خالی) و یا عوامل محیطی خارجی در تعامل باشد. در نتیجه این تعامل، شاخص یا سنسور پاسخی را ایجاد می‌کند (به عنوان مثال: نشانه دید، سیگنال الکتریکی) که با وضعیت محصول غذایی ارتباط دارد. اطّلاعات تولید شده نه تنها با برقراری ارتباط با مصرف‌کنندگان با آگاهی از آن‌ها درباره ایمنی و کیفیت محصولات مفید است بلکه می‌تواند توسط تولیدکنندگان در سامانه‌های پشتیبانی تصمیم خود نیز مورد استفاده قرار گیرد تا مشخص شود چه موقع و چه اقداماتی در طی کانال توزیع محصول و فرایند تولید انجام می‌شود[۱۸].

1- Poly(vinyl alcohol)
2- Poly(vinyl pyrrolidone)

۷- کاربرد نانوفنّاوری در بسته‌بندی مواد غذایی

کاربرد نانوذرّات در بخش‌های مختلفی از جمله الکترونیک، پزشکی، پارچه، دفاع، مواد غذایی، کشاورزی و لوازم آرایشی تحقیق شده است. فنّاوری نانو چندین زمینه از علوم غذایی مانند ایمنی مواد غذایی، بسته‌بندی، فرآوری، دسترس‌پذیری، استحکام، ایزولاسیون، تشخیص پاتوژن[1] و ... را دربرمی‌گیرد[۲۰،۱۹]. استفاده از نانومواد به عنوان ماده بسته‌بندی مواد غذایی توسط پژوهشگران (۲۰۱۱-۲۰۱۹) در چندین سامانه غذایی مشاهده شده است که در (جدول ۱) خلاصه شده است. به طور کلی، استفاده از پلی‌اتیلن چگالی پایین همراه با نانو مواد مختلف همچون: نانونقره و دی اکسید تیتانیم[2] یکی از پرکاربردترین ابزار در تهیه پوشش‌های بسته‌بندی بوده است. به علاوه استفاده از این پوشش‌ها اغلب منجر به مهار رشد میکروارگانیسم‌ها و افزایش ماندگاری محصولاتی چون آب پرتقال[۲۱]، زرشک[۲۲]، گوشت [۲۳]، سیب، هویج، پنیر نرم، نان، پودر شیر، آب پرتقال [۲۵،۲۴]، برنج [۲۶]، و قارچ *فلاممولینا ولوتیپیس*[3] [۲۷] گشته است. سلولز و نانومواد نقره [۲۹،۲۸]، و همین طور سلولز و نانو لوله‌های کربنی [۳۰] بر مهار رشد باکتری‌های اسید لاکتیک[4]، باکتری‌ها و مخمرها مؤثر نشان داده شده‌اند. به علاوه استفاده از[5] PVC با نانو مواد اکسید روی بر نگهداری میوه خرد شده (سیب)[۳۱]، نانوذرّات رس در بهبود خواص ممانعت‌کنندگی و ضدمیکروبی بسته‌بندی تأثیر معنی‌دار داشته‌اند[۳۲]. استفاده از صمغ نظیر: آلژینات سدیم همراه با کلرید کلسیم و نانو ذرّات نقره نیز در افزایش ماندگاری و جلوگیری از رشد سودوموناس[6] در نوعی پنیر شبه ایتالیایی که در استرالیا تولید می‌شود، مؤثر بوده است[۳۳].

در مطالعه جدیدی که برای تولید نوعی بسته‌بندی فعال از کیتوزان[7] به همراه نانو ذرّات دی اکسید تیتانیم استفاده شده خواص اتیلن روبی و ضدمیکروبی بالایی مشاهده شده است[۳۴]. اخیراً در پژوهشی دیگری فیلم فعال و هوشمندی بر پایه سلولز میکروبی و اصلاح شده با نانو کامپوزیت اکسید روی و پلی‌پایرول[8] ساخته شده که بر افزایش ماندگاری، کنترل pH، خواص ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی و تثبیت خواص رئولوژیکی[9] گوشت مرغ تأثیر مثبتی داشته است[۳۵]. در راستای تولید بسته‌های نوآورانه، با به‌کارگیری نوعی پلی اورتان[10] بر پایه روغن ماه یوا[11] و کیتوزان به همراه نانو ذرّات اکسید روی، پوشش بسیار مقاوم در برابر اشعه ماوراء بنفش، ضد-میکروب و زیست تخریب‌پذیر تولید شد که در تماس با غذا ایمن شناخته شد[۳۶].

همان‌طور که مشهود است در تمام موارد استفاده از نانو مواد و نانو کامپوزیت‌ها در پوشش‌های بسته‌بندی، به دلیل خواص ضدمیکروبی‌شان، افزایش ماندگاری مواد غذایی مشاهده شده است(جدول ۱)[۳۷].

1- Pathogen
2- Titanium Dioxide
3- *Flammulina Velutipes*
4- Lactic Acid Bacteria
5- Polyvinyl Chloride
6- Pseudomonas

7- Chitosan
8- Polypyrrole
9- Rheological Characteristics
10- Polyurethane
11- Mahua

جدول ۱- نانو مواد مورد استفاده و اثرات آن در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی

شماره	نانومواد	کاربرد	نوع ماده غذایی	تأثیر	منبع
۱	نانومواد مونت موریلونیت نقره	ضدمیکروبی	سالاد میوه تازه	مهار رشد فساد	[۳۸]
۲	نانومواد مونت موریلونیت نقره	ضدمیکروبی	پنیر فیور دی لاته	تمدید زمان ماندگاری به مدّت ۳-۵ روز	[۳۹]
۳	پلی‌وینیل کلراید[1] (PVC) با نانومواد ZnO	ضدمیکروبی	سیب خرد شده	کمتر شدن میزان پوسیدگی میوه به طور معنی‌دار	[۳۱]
٤	پلی‌اتیلن با چگالی کم بارگذاری شده با نانومواد Ag, ZnO	ضدمیکروبی	آب پرتقال	افزایش ماندگاری آب پرتقال تا ۲۸ روز	[۲۱]
٥	نانومواد مونت موریلونیت نقره	ضدمیکروبی	هویج برش خورده تازه	مهار رشد فساد	[۴۰]
٦	نانو مواد نقره، سلولز	ضدمیکروبی	آب کیوی و خربزه	۹۹.۹٪ کاهش تعداد باکتری‌ها و مخمرها	[۲۸]
۷	نانو مواد نقره، سلولز	ضدمیکروبی	نمونه‌های مرغ و گوشت	کاهش ۹۰٪ از زنده مانی باکتری‌های اسید لاکتیک	[۲۹]
۸	پلی‌اتیلن با چگالی کم با نانو ذرّات نقره	ضدمیکروبی	زرشک	۲.۳ log کاهش کپک و ۲.۸٤ log کاهش کل مخمرها	[۲۲]
۹	اتیلن وینیل الکل با نانوذرّات نقره	ضدمیکروبی	مرغ، گوشت، پنیر، کاهو، سیب، پوست، تخم مرغ	کاهش ۲ log تعداد باکتری‌های سالمونلا[5] و مونوسیتوژن[6] در غذاهای کم پروتئین و کاهش ۱ log باکتری در تعداد باکتری‌ها در غذاهای پرپروتئین	[۴۱]
۱۰	نانولوله‌های کربنی با آلیل ایزوتیوسیانات و سلولز	ضدمیکروبی	مرغ پخته شده خرد شده	مهار رشد سالمونلا	[۳۰]
۱۱	پلی‌اتیلن با چگالی کم با Ag و ZnO	ضدمیکروبی	گوشت	مهار رشد *ایکولای*[7]، *اروجینوسا*[8] و *مونوسیتوژنس*[9]	[۲۳]
۱۲	*پولولان*[2] نانو مواد Ag	ضدمیکروبی	گوشت بوقلمون	مهار اورئوس[10] و مونوسیتوژنس به مدّت دو هفته نگهداری در یخچال	[۴۲]
۱۳	پلی اتیلن[3] Ag، TiO_2	ضدمیکروبی	سیب تازه، برش نان سفید، هویج تازه، پنیر نرم، پودر شیر بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح شده، آب پرتقال تازه	مهار رشد گونه‌های *پنسیلیوم*[11] و *لاکتوباسیلوس*[12]	[۲۴]
۱٤	نانوذرّات رس با ماتریس پلی‌آمید[4] ۶	بهبود خواص ممانعت‌کنندگی	گوشت	بهبود خاصیت ممانعت‌کنندگی از نفوذ اکسیژن، توانایی سد UV و بهبود سفتی بسته‌بندی	[۳۲]

1- Polyvinyl chloride 2- Pullulan 3 Polyethylene *4- Polyamide 6 5- Salmonella 6- L. monocytogenes 7- E. coli 8- P. aeruginosa 9- L. monocytogenes 10- S.aureus 11- Penicillium 12- Lactobacillus*

ادامه جدول ۱- نانو مواد مورد استفاده و اثرات آن در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی

شماره	نانومواد	کاربرد	نوع ماده غذایی	تأثیر	منبع
۱۵	آلژینات سدیم با کلرید کلسیم و نانومواد نقره	ضدمیکروبی	پنیر فیور دی لاته	افزایش ماندگاری تا ۱۰ روز و مهار تکثیر گونه‌های سودوموناس	[۳۳]
۱۶	ایزوتاکتیک همراه با نانوفیلر کربنات کلسیم[1]	ضدمیکروبی	برش سیب	افزایش ماندگاری تا ۱۰ روز	[۴۳]
۱۷	نانو کامپوزیت نقره و دی اکسید تیتانیم[2]	ضدمیکروبی	نان	افزایش ماندگاری نان	[۴۴]
۱۸	پلی اتیلن با نانو مواد نقره و دی اکسید تیتانیم	ضدمیکروبی	سیب تازه، نان خرد شده سفید، هویج تازه، پنیر نرم پیش-بسته بندی شده، پودر شیر MAP و آب پرتقال	میزان پوسیدگی میوه به طور قابل توجّهی پایین تر از نمونه شاهد بود تا ۱۰ روز	[۲۵]
۱۹	نانو نقره ، نانو دی اکسید تیتانیم، نانو سیلیس و آتاپولگیت[3]	پایداری ضدمیکروبی در طی نگهداری	قارچ فلاممولینا ولوتیپیس[6]	میزان اکسیژن و دی اکسید کربن را تنظیم می‌کند، اتیلن را از بین می‌برد و رشد میکروب‌ها را طولانی می‌کند	[۲۷]
۲۰	پلی‌اتیلن با نانو نقره/ دی اکسید تیتانیم با پراکندگی بالا[4]	ضد کپک و ضدمیکروب	برنج	مهار آسپرژیلوس فلاووس[7] در مدّت ۳۵ روز از نگهداری در شرایط گرم و مرطوب، کاهش کپک برنج، افزایش ماندگاری	[۲۶]
۲۱	کیتوزان و نانودی اکسید تیتانیم ۱٪[4]	خواص اتیلن روبی و ضد-میکروبی	بسته‌های فعال و کاربردهای پس از برداشت	فعالیت ضدمیکروبی علیه گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و گرم منفی (ای کولای، سالمونلا تیفی موریوم و سودوموناس آیروژینوسا) باکتری‌ها و قارچ‌ها (آسپرژیلوس و پنیسیلیوم) استحکام کششی، خصوصیات ممانعت‌کنندگی بخار آب	[۳۴]
۲۲	فیلم‌های هوشمند و فعال بر پایه سلولز باکتریایی و اصلاح شده با نانو کامپوزیت پلی-پایرول/ اکسید روی[5]	ضدمیکروبی و آنتی-اکسیدان	گوشت ران مرغ	کاهش رشد بار میکروبی، کنترل افزایش pH، افزایش ماندگاری به مدّت ۲۰ روز. افزایش فعالیت آنتی-اکسیدانی و ضدمیکروبی، تثبیت خصوصیات رئولوژیکی	[۳۵]

1- Isotactic polypropylene 2- Nanocomposite polyethylene 3- Nano-Ag, nano-TiO_2, Nano-SiO_2, Attapulgite 4- Chitosan and nanosized titanium dioxide (TiO_2) 1% 5- bacterial cellulose (BC) polypyrrole-Zinc oxide nanocomposite 6- *Flammulina velutipes* 7- *Aspergillus flavus*

ادامه جدول ۱- نانو مواد مورد استفاده و اثرات آن در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی

شماره	نانومواد	کاربرد	نوع ماده غذایی	تاثیر	منبع
۲۳	پلی‌اورتان برپایه روغن ماهوآ[1] و کیتوزان نانوذرّات اکسید روی	ضدمیکروب و زیست تخریب پذیر	---	توانایی بسیار عالی در برابر عبور اشعه ماوراء بنفش، شفافیت بالا، زیست تخریب‌پذیری بالا تا ۸۶٪ در ۲۸ روز و مقاومت ضدمیکروبی. ایمن برای بسته بندی‌های در تماس با غذا	[۳۶]
۲٤	نانو ذرّات نقره دی اکسید تیتانیم و دی اکسید نانوسیلیکون، همراه با ماتریس پلی‌اتیلن	افزایش ماندگاری	نوعی قارچ *ولوواریلا ولواسئا*	تمدید زمان نگهداری ٦ روز، کاهش درجه قهوه‌ای شدن، میزان تنفس، محتوای MDA و سطح ROS، استحکام حفظ شده، کل مواد جامد محلول و ترکیبات طعم‌دهنده	[۴۵]
۲۵	نانوذرّات نشاسته- پکتین دی اکسید تیتانیم - (TiO_2 NPs)	فیلم خوراکی با درجه غذایی	---	بهبود خواص مکانیکی و ممانعت از نفوذ رطوبت در غلظت کم TiO_2 – نانوذرّات داخل فیلم‌های نشاسته پکتین	[۴۶]
۲٦	نانوفیتوزوم روغن ضروری دارچین تعبیه شده در نانو فیبرهای پلی‌وینیل الکل	ضدمیکروبی و افزایش ماندگاری	میگوی خام	مهار باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی افزایش ماندگاری طی ۱۲ روز	[۴۷]

1- Mahua 2- *Volvariella volvacea*

۸- نگرانی‌ها و دیدگاه‌ها

فنّاوری نانو نقش مهمی در پـر کـردن شـکاف تحـولات بسته‌بندی مواد در حیطه بسته‌بنـدی فعـال و هوشـمند بـازی خواهد کرد. با این حال، خطر اصلی مرتبط با اجـزای انـدازه نانو، مهاجرت آن‌ها به مواد غذایی است کـه بـه طـور بـالقوه می‌تواند عوارض جانبی سلامتی را در پی داشـته باشـد[۴۸]. در بررسی‌ها و مطالعات صورت گرفته بر این موضوع تأکیـد شده است که برخی از نانوذرّات می‌تواننـد آسـیب‌هـای بـین سلولی، التهاب ریوی و بیماری عروقـی ایجـاد کننـد[۴۹]. از آنجا که خواص بهداشتی و ایمنی بسیاری از نانو مـواد کـاملاً شناخته شده نیست مهـم‌تـرین دغدغـه در هنگـام اسـتفاده از نانومواد در برنامه‌های بسته‌بندی مـواد غـذایی، ایمنـی آن‌هـا است؛ بر همین اساس، جزئیات آنالیز سم‌شناسی برای آگاهی از خطـرات احتمـالی اسـتفاده از آن‌هـا ضـروری اسـت. در بسیاری از موارد در تولیـد مـواد غـذایی، بـرای محافظـت از مصرف‌کنندگان که ناخواسـته در معـرض خطـر قـرار دارنـد مقرّرات ویـژه‌ای توسـط قانونگـذاران وضـع شـده اسـت. علاوه بر این، سازمان های ذی‌صلاح ایمنی غذایی در دنیـا موظّف است که از عـدم تـأثیر منفـی اسـتفاده از ترکیبـات مختلف در بسته‌بندی مواد غـذایی بـر سـلامت انسـان اطمینان حاصل کند[۵۰]. حداکثر میزان نـانوذرّات موجـود در مواد غذایی توسط آیین‌نامه اروپا و مقرّرات FDA[1] مقرّر شده است [۵۱]. با این حال، در حـال حاضـر روش‌هـای شفافی برای تشخیص و تعیین مقدار نانومواد منتقل شده از بسته بندی وجود ندارد و به همین دلیل، اجـرای مقـرّرات در شرایط کنونی نتیجه بخش نخواهد بود. به علاوه، هنگام استفاده از نانومواد جدید در بسـته‌بنـدی مـواد غـذایی، بـه دلیل نیاز به تصویب نظارتی که معمولاً رونـدی طـولانی و پیچیده دارد همکاری شـرکت‌هـا بـا دسـتگاه‌هـای دولتـی ضروری است تا این اطمینان حاصل شـود کـه در مرحلـه تجاری‌سـازی قـادر بـه بـرآورده کـردن مقـرّرات نظـارتی خواهند بود [۵۲].

1- Food and Drug Administration

۹- نتیجه گیری

بسته‌بندی مواد غذایی نانو، نسل جدیدی از فنّاوری بسته‌بندی مبتنی بر نانومواد است که به یکی از توسعه یافته‌ترین حیطه‌ها در فنّاوری نانو تبدیل شده و جایگزین اساسی برای بسته‌بندی مواد غذایی معمولی است. نانوکامپوزیت‌ها نوید بخش گسترش استفاده از فیلم‌های خوراکی و زیست تخریب‌پذیر هستند، چرا که با افزودن نانوذرّات در مقیاس بسیار کوچک عملاً قادر به بهبود عملکرد کلی بیوپلیمرها از جمله بهبود و خواص مکانیکی، حرارتی و ممانعت‌کنندگی آن‌ها می‌گردد. بر این اساس، نانوذرّات نقش مهمی در بهبود امکان استفاده از بیوپلیمرها و کاربردشان در صنایع مختلف، از جمله بسته‌بندی مواد غذایی ایفا می‌کنند. اگرچه فنّاوری نانو در مواد غذایی سال به سال پیشرفت داشته است، اما تحقیقات بیشتر برای افزایش استفاده در صنایع غذایی ضروری است. به ویژه، نگرانی‌های ایمنی در مورد مصرف نانومواد در مواد غذایی باید قبل از عرضه محصولات به بازار بررسی شود. بنابراین، برای تعیین تأثیر نانومواد لازم است که روش‌های آزمایش استانداردسازی شود و در نهایت، می‌بایست مقرّرات به گونه‌ای وضع شود تا نگرانی‌های مصرف‌کننده کاهش و پذیرش مصرف‌کننده بهبود پیدا کند.

۱۰- منابع

1. Lim, L.T. (2011). **"Active and intelligent packaging materials (2nd ed.). In Comprehensive biotechnology,"** (629-644), Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
2. Schmidt, D., Shah, D., & Giannelis, E. P. (2002). **"New advances in polymer/layered silicate nanocomposites".** Current Opinion in Solid State and Materials Science, 6, 205-212.
3. Thostenson, E. T., Li, C., & Chou, T.-W. (2005). **"Nanocomposites in context".** Composites Science and Technology, 65, 491-516.
4. Mihindukulasuriya, S.D.F., Lim L.-T. (2014). **"Nanotechnology development in food packaging: A review".** Trends in Food Science & Technology, 40(2), 149-167. 2014
5. Bajpai, VK, Kamle, M., Shukla, S., Mahato, D.K., Chandra, P., et al. (2018). **"Prospects of using nanotechnology for food preservation, safety, and security".** J Food Drug Anal. 26: 1201-1214.
6. Dwivedi, C., Pandey, I., Misra, V., Giulbudagian, M., Jungnickel, H., et al. (2018). **"The prospective role of nanobiotechnology in food and food packaging products".** Integrative Food, Nutrition and Metabolism 5: (6), 1-5.
7. Hemati, F, Garmabi, H. (2011). **"Compatibilised LDPE/LLDPE/nanoclay nanocomposites: I. Structural, mechanical, and thermal properties".** The Canadian Journal of Chemical Engineering 89: (1), 187-196.
8. Rhim, J.-W., Wang, L.-F., Lee, Y., & Hong, S.-I. (2014). **"Preparation and characterization of bio-nanocomposite films of agar and silver nanoparticles: laser ablation method".** Carbohydrate Polymers, 103, 456-465.
9. Arvanitoyannis, I. S., & Bosnea, L. A. (2001). **"Recycling of polymeric materials used for food packaging: current status and perspectives".** Food Reviews International, 17, 291-346.
10. Ajayan, P.M.; Schadler, L.S.; Braun, P.V. (2003).

"Nanocomposite Science and Technology". Wiley-VCH: Weinheim, Germany.

11. Tanahashi, M. (2010). **"Development of Fabrication Methods of Filler/Polymer Nanocomposites: With Focus on Simple Melt-Compounding-Based Approach without Surface Modification of Nanofillers".** Materials, *3*, 1593-1619.
12. Scharlach, K., Kaminsky, W. (2008). **"New polyolefin-nanocomposites by *in situ* polymerization with metallocene catalysts".** Macromolecular Symposia. 261, 10−17.
13. Ahari, H. (2017). **"The Use of Innovative Nano emulsions and Nano-Silver Composites Packaging for anti-bacterial properties: An article review".** Iranian Journal of Aquatic Animal Health, 3(1) 61-73.
14. Kalaitzidou, K.; Fukushima, H., Drzal, L.T. (2007). **"A new compounding method for exfoliated graphitepolypropylene nanocomposites with enhanced flexural properties and lower percolation threshold".** Composites Science and Technology, 67, 2045−2051.
15. Xie, L., Lv, X.-Y., Han, Z.-J., Ci, J.-H., Fang, C.-Q., & Ren, P.-G. (2012). **"Preparation and performance of high-barrier low density polyethylene/organic montmorillonite nanocomposite".** Polymer-Plastics Technology and Engineering, 51, 1251-1257.
16. Mondal, D., Mollick, M. M. R., Bhowmick, B., Maity, D., Bain, M. K., Rana, D., et al. (2013). **"Effect of poly (vinyl pyrrolidone) on themorphology and physical properties of poly (vinyl alcohol)/sodium montmorillonite nanocomposite films".** Progress in Natural Science: Materials International, 23, 579-587.
17. Akbari, Z., Ghomashchi, T., & Moghadam, S. (2007). **"Improvement in food packaging industry with biobased nanocomposites".** International Journal of Food Engineering, 3(4). DOI: https://doi.org/10.2202/1556-3758.1120.
18. Yam, K. L., Takhistov, P. T., & Miltz, J. (2005). **"Intelligent packaging: concepts and applications".** Journal of Food Science, 70, R1-R10.
19. Weiss, J., Takhistov, P., & Mc Clements, D. J. (2006). **"Functional materials in food nanotechnology".** Journal of Food Science, 71, 107–116.
20. Ravichandran, R. (2010). "**Nanotechnology applications in food and food processing: innovative green approaches, opportunities and uncertainties for global market".** International Journal of Green Nanotechnology: Biomedicine 1, 72–96.
21. Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M., Soleimanian-Zad, S. (2011). **"Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of Lactobacillus plantarum in orange juice".** Food Control, 22:408–413
22. Valipoor Motlagh, N., Mosavian, M H. & Mortazavi, S.A. (2013). **"Effect of Polyethylene Packaging Modified with Silver Particles on the Microbial, Sensory and Appearance of Dried Barberry".** Packaging Technology and Science, 26: 39-49. doi:10.1002/pts.1966
23. Panea, B. Ripoll, G., González, J., Fernández-Cuello, A., Albertí, P. (2014). **"Effect of nanocomposite packaging containing different proportions of ZnO and Ag on chicken**

breast meat quality". Journal of Food Engineering, 123: 104-112.

24. Metak, A.M., Ajaal, T. T. (2013**)." Investigation on Polymer Based Nano-Silver as Food Packaging Materials".** Digital Open Science Index, Chemical and Molecular Engineering, 7(12), waset.org/Publication/9996608
25. Metak, A.M., Nabhani, F., Connolly, S.N. (2015). **"Migration of engineered nanoparticles from packaging into food products".** LWT - Food Science and Technology, 64, 2, 781-787.
26. Li, L., Chanjuan, Z., Zhang,Y., Yao, J., Yang, W., Hu, Q., et al. (2017). **"Effect of stable antimicrobial nano-silver packaging on inhibiting mildew and in storage of rice".** Food Chemistry, 215, 477-482.
27. Donglu, F., Wenjian, Y., Kimatu, B. Muinde, Mariga, A. Mugambi, Liyan, Z., Xinxin, A., & Qiuhui, H. (2016). **"Effect of nanocomposite-based packaging on storage stability of mushrooms (Flammulina velutipes)".** Innovative food science & emerging technologies, 33, 489-497.
28. Lloret, E., Picouet, P., & Fern_andez, A. (2012). **"Matrix effects on the antimicrobial capacity of silver based nanocomposite absorbing materials".** LWT-Food Science and Technology, 49, 333-338.
29. Fernández, A., Picouet, P., Lloret, E. (2010). **"Reduction of the spoilage-related microflora in absorbent pads by silver nanotechnology during modified atmosphere packaging of beef meat".** Journal of Food Protection, 73(12): 2263-9.
30. Dias, MV, Soares, Nde, F., Borges, SV, de Sousa, MM, Nunes, CA, de Oliveira, IR, Medeiros, EA. (2013). "**Use of allyl isothiocyanate and carbon nanotubes in an antimicrobial film to package shredded, cooked chicken meat".** Food Chemistry, 1;141(3):3160-6.
31. Li, X. H., Xing, Y. G., Li, W. L., Jiang, Y. H., & Ding, Y. L. (2010). **"Antibacterial and physical properties of poly (vinyl chloride)-based film coated with ZnO nanoparticles".** Food Science and Technology International, 16, 225-232.
32. Picouet, PA, Fernandez, A., Realini, CE, Lloret, E**.** (2014). **"Influence of PA6 nanocomposite films on the stability of vacuum-aged beef loins during storage in modified atmospheres".** Meat Science, 96(1):574-80.
33**.** Mastromatteo, M., Lucera, A., Esposto, D., Conte, A., Faccia, M., Zambrini, A., Del Nobile, M. (2015). **"Packaging optimisation to prolong the shelf life of fiordilatte cheese".** Journal of Dairy Research, 82(2), 143-151.
34. Siripatrawan, U., Kaewklin, P. (2018). **"Fabrication and characterization of chitosan-titanium dioxide nanocomposite film as ethylene scavenging and antimicrobial active food packaging".** Food Hydrocolloids, 84, 125-134.
35. Pirsa, S., Shamusi, T. (2019). "**Intelligent and active packaging of chicken thigh meat by conducting nano structure cellulose-polypyrrole-ZnO film.**" Materials Science & Engineering C 102, 798–809.

36. Saral Sarojini, K., Indumathi, M.P., Rajarajeswari, G.R. (2019). **"Mahua oil-based polyurethane/chitosan/nano ZnO composite films for biodegradable food packaging applications".** International Journal of Biological Macromolecules, 124, 163–174.
37. Ahari, H., Dastmalchi, F., Ghezelloo, Y., Paykan, R., Fotovat, M. & Rahmannya, J. (2008). **'The application of silver nano-particles to the reduction of bacterial contamination in poultry and animal production".** Food Manufacturing Efficiency, 2(1), 49.
38. Costa, C., Conte, A., Buonocore, G. G., & Del Nobile, M. A. (2011). **"Antimicrobial silver-montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf life of fresh fruit salad".** International Journal of Food Microbiology, 148, 164e167.
39. Gammariello, D., Conte, A., Buonocore, G.G., Del Nobile, M.A. (2011). **"Bio-based nanocomposite coating to preserve quality of Fior di latte cheese".** Journal of Dairy Science. 94, 5298–5304.
40. Costa, C., Conte, A., Buonocore, G. G., Lavorgna, M., & Del Nobile, M. A. (2012). **"Calcium-alginate coating loaded with silvermontmorillonite nanoparticles to prolong the shelf-life of fresh-cut carrots".** Food Research International, 48, 164e169.
41. Martinez-Abad, A., Lagaron, J.M., Ocio, M.J. (2012). **"Development and characterization of silver-based antimicrobial ethylene-vinyl alcohol copolymer (EVOH) films for food-packaging applications".** Journal of Agricultural and Food Chemistry. 60, 5350–5359.
42. Khalaf, H.H., Sharoba, A.M., El-Tanahi, H.H. & Morsy, M.K. (2013). **"Stability of antimicrobial activity of pullulan edible films incorporated with nanoparticles and essential oils and their impact on turkey deli meat quality".** Journal of Food and Dairy Science, 4 (11): 557 – 573.
43. Volpe, M. G., Stasio, M. D., Paolucci,M., andMoccia, S. (2015). **"Polymers for food shelf-life extension".** in Functional Polymers in Food Science FromTechnology to Biology Food Packaging, eds G. Cirillo, U. G. Spizzirri, and F. Iemma (Hoboken, NJ: JohnWiley & Sons, Inc.), 9–61.
44. Cozmuta, A. M., Peter, A., Cozmuta, L. M., Nicula, C., Crisan, L., Baia, L., et al. (2015). **"Active packaging system based on Ag/TiO2 nanocomposite used for extending the shelf life of bread**, **Chemical and Microbiological Investigation".** Packaging Technology and Science, 28, 271–284.
45. Donglu, F., Kelin, Y., Zilong, D., Qiuhui, H., Liyan, Z. (2019). **"Storage quality and flavor evaluation of Volvariella volvacea packaged with nanocomposite-based packaging material during commercial storage condition".** Food Packaging and Shelf Life, 22, 100412.
46. Dash, K.K., Afzal, N.A., Dipannita, D., Mohanta D. (2019). **"Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible films with nano-titania inclusions for food packaging applications".** International Journal of Biological Macromolecules 139, 449–458.

47. Nazari, M., Majdi, H., Milani, M., Abbaspour-Ravasjani, S., Hamishehkar, H., Lim, L. (2019). **"Cinnamon nanophytosomes embedded electrospun nanofiber: Its effects on microbial quality and shelf-life of shrimp as a novel packaging".** Food Packaging and Shelf Life, 21,100349.

48. Echegoyen, Y., & Nerin, C. (2013). **"Nanoparticle release from nanosilver antimicrobial food containers".** Food and Chemical Toxicology, 62, 16-22. 2013.

49. Das, M., Saxena, N., & Dwivedi, P. D. (2008). **"Emerging trends of nanoparticles application in food technology: safety paradigms".** Nanotoxicology, 3, 10-18.

50. De Jong, A. R., Boumans, H., Slaghek, T., Van Veen, J., Rijk, R., & Van Zandvoort, M. (2005). **"Active and intelligent packaging for food: is it the future?".** Food Additives and Contaminants, 22, 975-979.

51. Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., et al. (2008). **"Applications and implications of nanotechnologies for the food sector".** Food Additives and Contaminants, 25, 241-258.

52. Brody A.L., Zhuang, H. & Han, J. H. (2011). **"Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables".** Wiley-Blackwell, pp 314.

آدرس نویسنده

تهران – انتهای بزرگراه شهید ستاری – میدان دانشگاه بلوار شهدای حصارک – دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات- گروه علوم و صنایع غذایی