بسته‌بندی موادغذایی و ضرورت کاربرد نانوفناوری در آن

فاطمه سادات ابن الرسول[۱]، نگار معتکف کاظمی[۲،*]

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، واحد علوم دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

۲- گروه نانوشیمی، دانشکده شیمی دارویی، واحد علوم دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

چکیده

بسته‌بندی مواد غذایی راه‌کاری حیاتی برای تضمین ایمنی آن‌ها است. با توجه به رشد روزافزون جمعیت و نیاز به حفظ منابع برای نسل‌های آینده روش‌های جدید بسته‌بندی مواد غذایی حائز اهمیت شده است. در این میان نانوفناوری می‌تواند نقش موثری در این مهم داشته باشد و استفاده از نانومواد سبب گسترش افزایش زمان ماندگاری و حفاظت مواد غذایی در برابر اکسیژن، نور، میکروارگانیسم و رطوبت می‌شود. خواص متمایز در نانومواد به‌دلیل مساحت سطح تماس بالا مشاهده می‌شود. از جمله نانومواد که به‌صورت گسترده در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند می‌توان به نانوذرات با ساختار صفربعدی نظیر نانونقره و نانومیله‌ها با ساختار یک‌بعدی نظیر نانواکسید روی با خاصیت ضدباکتری و همچنین نانوصفحه‌ها با ساختار دوبعدی نظیر نانورس با خاصیت سد عبوری در برابر اکسیژن اشاره نمود. در این مقاله مروری سعی شده است انواع نانوکامپوزیت‌ها به‌خصوص بر پایه ترکیبات زیست سازگار مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی معرفی و بررسی شوند.

واژه‌های کلیدی: *نانوفناوری، بسته‌بندی مواد غذایی، نانوکامپوزیت، زیست سازگار*

ایمیل نویسنده مسئول : motakef@iaups.ac.ir

۱-مقدمه

بسته‌بندی باعث تضمین ایمنی مواد غذایی می‌شود. در سال‌های اخیر، پژوهشگران با توجه به رشد روزافزون جمعیت و نیاز به حفظ منابع برای نسل‌های آینده به‌دنبال راه‌کارهای جدید برای بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشند. از این رو نانوفناوری می‌تواند موجب بهبود بسته‌بندی مواد غذایی شود و در نتیجه، اطمینان از ایمنی مواد غذایی و حمایت از مصرف کننده را به دنبال داشته باشد [۱-۲]. این فناوری به‌دلیل مزایای بالقوه در زمینه‌های مختلف گسترش یافته است و جنبه‌های مختلف دنیای امروز را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد [۳-۴]. نانومواد به صورت کلی دارای مقیاس ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند و نکته حائز اهمیت در آن ها مشاهده خواص متمایز به‌دلیل مساحت سطح تماس بالا می باشد [۵-۶]. نانوفناوری به‌عنوان انقلابی در بسیاری از صنایع، از جمله صنایع غذایی و بسته‌بندی می‌باشند و باعث رشد سریع تحقیقات جدید در زمینه‌های کاربردی می‌شود. نانوفناوری کاربردهای وسیعی در تولید، فرآوری، نگهداری، بسته‌بندی و انتقال تولیدات غذایی دارد و با ورود به صنایع غذایی، افزایش میزان تولید و کیفیت، در کنار حفظ محیط زیست و منابع کره‌ی زمین دنبال می‌شود [۷-۸].

امروزه تلاش‌های بسیاری برای تولید میکرو یا نانو مواد غذایی توسط روش بالا به پایین یا پایین به بالا انجام می‌شود. برای درک نانومواد بررسی خواصی نظیر فیزیکوشیمیایی، اندازه و توزیع اندازه ذرات، تراکم، شکل، ساختار بلوری، ترکیب شیمیایی، مساحت سطح، شیمی سطح، بار سطحی و تخلخل مهم است [۹]. چهار حوزه تولید مواد غذایی با استفاده از نانوفناوری عبارتند از توسعه مواد کاربردی جدید، پردازش مقیاس میکرو و نانو، توسعه محصول و طراحی روش و ابزار برای بهبود ایمنی مواد غذایی و ایمنی زیستی می‌باشند [۱۰]. یکی از مسائل اصلی در بسته‌بندی مواد غذایی نفوذناپذیری نسبت به گازهای اتمسفر، بخار آب یا مواد طبیعی است. به‌عنوان مثال بسته‌بندی میوه‌ها و سبزی‌های تازه، وابسته به دسترسی به یک منبع مستمر اکسیژن برای تنفس سلولی پایدار است تا از مهاجرت یا انتشار نامطلوب گاز جلوگیری شود [۱۱].

۲. تاریخچه بسته‌بندی مواد غذایی

حدود ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد در زمان مصر- باستان، سفال و ظروف شیشه‌ای برای ذخیره‌سازی مواد غذایی استفاده می‌شد. مردم مصر از موم طبیعی برای حافظت از مواد غذایی در برابر حشرات، جوندگان، باکتری و هوا استفاده می‌کردند. حدود ۶۰۰ سال قبل از میلاد، رومی‌ها و یونانی‌ها از چوب پنبه برای بستن ظرف غذا استفاده می‌کردند. پیشرفت در تولید چوب، کاغذ، فلز، سرامیک و شیشه نیز منجر به استفاده از این مواد در بسته‌بندی و حفظ مواد غذایی شد [۱۲].

در سال ۱۸۰۹ میلادی، نیکولا آپر فرآیندی برای حفظ مواد غذایی در ظروف شیشه‌ای در بسته که در معرض تیمار حرارتی در حمام آب قرار گرفتند، کشف کرد. قرن بیستم زمان بهبود بسته‌بندی مواد سفت و سخت و انعطاف‌پذیر است. در سال ۱۹۵۰ میلادی، مواد جدید نظیر پلی وینیل کلرید و نایلون معرفی شدند و در فیلم‌های بسته‌بندی استفاده شدند. در اواخر قرن بیستم تحولات عمده‌ای در بسته‌بندی و نگهداری غذا در جهان شکل گرفت که از جمله می‌توان به بسته‌بندی و فرآیندهای آسپتیک و بسته‌بندی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۲

انعطاف‌پذیر و قابل استفاده مجدد، جاذب‌های گاز، مواد قابل مایکروویو، بسته‌بندی فعال، بسته‌بندی باهوش و بسته‌بندی قابل بازیافت اشاره کرد [۱۲]. مواد مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی شامل پلاستیک، شیشه، فلز و کاغذ هستند که هر کدام با توجه به ساختار شیمیایی متفاوت خود خواص متفاوتی نشان می‌دهند. برای انتخاب بهترین بسته‌بندی، درک خوبی از رفتار این مواد ضروری است [۱۳]. هدف اصلی بسته‌بندی مواد غذایی محافظت مواد غذایی از آسیب‌های خارجی و آلودگی‌ها، محافظت محصول برای حمل و نقل و ارائه اطلاعات در مورد محتویات بسته به مصرف کننده می‌باشد. بسته‌بندی باعث تاخیر در تخریب شیمیایی، زیستی و فیزیکی مواد غذایی می‌شود و ماندگاری مواد غذایی را افزایش می‌دهد [۱۲].

۳. استانداردهای بسته‌بندی مواد غذایی

استاندارد BRC IOP[۱] (انجمن بسته‌بندی اتحادیه خرده فروشی بریتانیا) نشانه دقیق برای تولیدکنندگان مواد قابل استفاده در بسته‌بندی و نیز برای محصولات مشابه مرتبط با غذا همچون فویل آلومینیوم، کارد و چنگال یك بار مصرف، و فنجان‌های پلاستیکی ارائه می‌دهد [۱۴].

استاندارد FEFCO GMP[۲] (روش‌های خوب تولید فدراسیون اروپایی تولیدکنندگان مقواهای موجدار) منحصرا به تولیدکنندگان مقوای مورد استفاده در بسته‌بندی اختصاص داده شده است. همه استانداردهای جامع تحت پوشش بهداشت و سلامت و ایمنی محصولات صنایع بسته‌بندی است [۱۴].

استاندارد ISO22000[۳] (استاندارد بین المللی مدیریت ایمنی مواد غذایی) استانداردی پایه‌ای است که به سازمان‌ها و شرکت‌ها این امکان را می‌دهد تا خطرهای مربوطه را شناخته و آن‌ها را به‌صورت موثر از نظر ایمنی و صرفه اقتصادی مدیریت کنند. این استاندارد رویکردی سیستماتیک ایجاد می‌کند که کلیه جنبه‌های زنجیره غذا از خرید مواد خام تا مصرف نهایی در رستوران، تهیه غذا، تولید تجهیزات، ماشین آلات و مواد شیمیایی، و بخش خدمات نظیر کنترل آفات، شستشو، حمل و نقل و تدارکات را تحت پوشش قرار می‌دهد [۱۵].

۴. نانوفناوری در بسته‌بندی مواد غذایی

استفاده از دانش نانو می‌تواند سبب بهبود کیفیت و کارایی مواد بسته‌بندی و در نتیجه اطمینان از امنیت غذایی شود. امروزه به‌کارگیری نانومواد برای افزایش زمان ماندگاری و حفاظت مواد غذایی از اکسیژن، نور، میکروارگانیسم و رطوبت گسترش یافته است [۱۶-۱۷]. نانوفناوری طراحان را قادر می‌سازد ساختار عناصر بسته‌بندی را در مقیاس مولکولی تغییر دهند. استفاده از نانومواد در بطری‌ها و بسته‌بندی‌ها می‌تواند سبب افزایش ماندگاری و حفظ رنگ محصول شود [۱۸].

نانوفناوری در صنعت بسته‌بندی فرصتی برای صرفه جویی در هزینه، کاهش زباله و به‌کارگیری مقادیر کمتر پلیمر است [۱۹]. از جمله نانومواد که به‌صورت گسترده در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند می‌توان به نانوذرات با ساختار صفربعدی (شکل ۱. الف)، نانومیله‌ها با ساختار یک‌بعدی (شکل ۱. ب) و نانوصفحه‌ها با ساختار دوبعدی (شکل ۱. ج) اشاره نمود.

الف ب ج

شکل۱. نانوساختار (الف) صفربعدی، (ب) یک‌بعدی و (ج) دوبعدی.

۴. ۱. نانوذرات

نانوذرات به ذراتی اطلاق می‌شود که حداقل در سه بعد دارای ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند. این گونه ذرات باعث افزایش خواص بازدارنده) نظیر مکانیکی، حرارتی، شیمیایی، میکروبی (بهبود خواص مکانیکی، مقاومت در برابر گرما و توسعه بیوشیمیایی می‌شود [۲۰].

۴. ۱. ۱. نانوذرات نقره

استفاده از مواد افزودنی بر اساس نانوذرات نقره در ظروف بسته‌بندی یک لایه یا چندلایه باعث غیرقابل نفوذ بودن نسبت به اکسیژن و رطوبت می‌شود و می‌تواند از رشد باکتری‌ها و کپک‌ها جلوگیری کند و در نتیجه سبب افزایش ماندگاری محصول و تغییر نکردن ویژگی‌های ظاهری و فیزیکی آن شود [۱۸]. در حالت یونی اثر ضدمیکروبی و سمیت بیشتر دارد. نانوذرات نقره به‌دلیل سطح بیشتر نسبت به ذرات بزرگتر در حالت توده از نظر شیمیایی فعال¬تر هستند [۲۱]. بروز خواص ضدمیکروبی نانوذرات نقره از طریق چسبندگی به سطح سلول، تجزیه لیپوپلی‌ساکاریدها، نفوذ در داخل سلول باکتری و تخریب DNA، اتصال به گروه‌های الکترون‌دهنده درمولکول‌ها و آزادسازی یون‌های نقره ضدمیکروب است [۲۱].

۴. ۱. ۲. نانوذرات مس

نانوذرات مس را می‌توان با روش‌های حرارتی و یا فرآیندهای کاهش سونوشیمیایی در محیط‌های آبی تولید کرد. خاصیت ضدعفونی‌کننده این نانوذرات، باتوجه به اندازه آن‌ها کنترل می‌شود. اگر یون‌های مس تحرک بیشتری داشته باشند منجر به ایجاد ارتباط بیشتری با غشاهای باکتری خواهند شد [۲۲].

۴. ۱. ۳. نانوذرات اکسید روی

اکسید روی در مقیاس نانومتر به‌صورت گسترده در داروسازی، آرایشی و بهداشتی، مواد غذایی، لاستیک، مواد شیمیایی، نقاشی، سرامیک و صنایع شیشه ای استفاده می شود. در حال حاضر نیز توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده به رسمیت شناخته شده و ایمن می‌باشد و به‌عنوان یک افزودنی غذایی استفاده می‌شود. این نانوذرات در ماتریس پلیمری به منظور ارائه فعالیت ضدمیکروبی به مواد بسته‌بندی و بهبود برخی از خواص بسته‌بندی کاربرد دارد [۲۳].

۴. ۱. ۴. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

دی‌اکسید تیتانیوم خاصیت ضدباکتری دارد و به‌صورت گسترده در ساخت نانوکامپوزیت‌های پلیمری با هدف بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می¬شود [۲۲].

۴. ۲. نانومیله‌ها

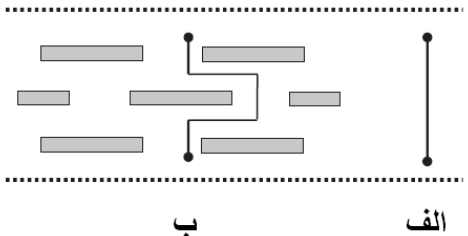
این نانومواد به‌صورت میله‌هایی در مقیاس نانومتر می‌باشند. قطر نانومیله در حدود چند نانومتر است و طول آن می‌تواند به چندین میلی‌متر برسد. نانومیله نقره و اکسید روی از طریق دو روش احیای نوری و روش هیدروترمال تولید می‌شوند. روش هیدروترمال فرآیندی است که در شرایط دما و فشار بالا و در حلال آبی برای تولید ماده مورد نظر می‌باشد. فعالیت ضدمیکروبی نانومیله‌های اکسید روی نسبت به باکتری گرم مثبت بیشتر از باکتری‌های گرم منفی است. باکتری‌های گرم منفی به‌دلیل حضور لایه لیپوپلی‌ساکارید غشای سلولی از آسیب مولکول‌های سمی حافظت می‌شوند. نانومیله‌های اکسید روی دارای خواص ضدباکتری در برابر اشریشیاکلی واستافیلوکوکوس اورئوس هستند [۲۴-۲۵].

۴. ۳. نانوصفحه‌ها

۴. ۳. ۱. نانوصفحه رس

ترکیب پلیمر با نانورس باعث ایجاد نانوکامپوزیت پلیمری می‌شود و به‌عنوان یک ماده جدید در بازار برای بسته‌بندی غذا استفاده می‌شود. نانورس‌ها گسترده‌ترین کاربرد تجارتی نانومواد هستند و بیش از ۷۰ درصد حجم بازار را تشکیل می‌دهند و به‌صورت گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. دلیل این توجه ارزانی، دسترسی آسان، و عملکرد و فرآیندپذیری خوب آن‌ها است. نانورس ذاتا در برابر نفوذ گازها و یا مواد دیگر مقاوم است [۲۲ و ۲۶]. رس به‌صورت نانولایه با ضخامتی در مقیاس نانومتر و دو بعد بزرگتر از نانومتراست. این ذرات، پلاستیک را سبک، محکم و مقاوم به حرارت می‌کند مانعی برای عبور گاز است. مواد معدنی آن اغلب مونتموریلونت است و غالبا یک نانوماده تجاری به شمار می‌آید [۱۸].

هنگامی این صفحه‌ها در ماتریس پلیمری پراکنده می‌شوند، با طولانی کردن مسیر عبور گاز باعث کاهش شدید انتقال گازها می‌شوند (شکل ۲). ویژگی خاص نانورس نقش مهم در تولید نانوکامپوزیت‌ها است که عبارت از ۱- بازشدن لایه ها از همدیگر و پراکنده شدن آن‌ها در ماتریس پلیمری ۲- اصلاح سطح جهت برهم‌کنش بهتر ماتریس پلیمری و نانوذرات است [۲۷].



شکل۲. تصویر شماتیک از نفوذ در ماتریس پلیمری (الف) پر نشده و (ب) پر شده.

در غلظت‌های بسیار پایین از نانومواد سطح تماس بین پلیمر و لایه‌های خاک رس نسبت به کامپوزیته‌ای معمولی بسیار بیشتر است. از ترکیب‌های پلیمر با نانورس در بسته‌بندی غذاهای مختلف نظیر پنیر، گوشت عمل‌آوری شده، غلات، آمیوه، لبنیات و نوشیدنی‌های کربناته استفاده می‌شود [۲۸].

۴. ۳. ۱. ۱. نانوصفحه بنتونیت

بنتونیت نوعی رس ریزدانه است که حداقل ۸۵ درصد رس مونت موریلونیت دارد. بنتونیت یک ماده از دسته رس‌هاست که از کانی‌های متورم شونده تشکیل شده است. اکثر بنتونیت‌ها بر اثر هوازدگی و دگرسانی خاکسترهای آتشفشانی و اغلب در حضور آب تشکیل می‌شوند [۲۹].

۴. ۳. ۱. ۲. نانوصفحه مونت موریلونیت

مونت موریلونیت رایج‌ترین نانورس استفاده شده در نانوکامپوزیت‌های پلیمری است که به‌صورت گسترده در دسترس می‌باشد و از سنگ‌ها و خاکستر آتشفشانی سرچشمه گرفته می شود. این ماده یک کانی بسیار نرم متشکل از آلومینوسیلیکات‌ها می‌باشد. صفحه‌های سیلیکاتی مونت موریلونیت فاصله نانومتری دارند. این ماده دارای نسبت طول به قطر و مساحت سطح بالا است و ساختاری به شدت یونی دارد. مساحت سطحی بالای این ترکیب منجر به واکنش‌پذیری بالاتر با رزین‌ها و پلیمرها می‌شود. ترکیبات قطبی مشابه مونت موریلونیت تمایل به ایجاد پیوند با مواد قطبی دارند. برخی پلیمرها مانند نایلون کاملا قطبی هستند و می‌تواند با این نوع رس پیوند محکمی ایجاد کند. معمولا رس های مونت موریلونیت با نمک‌های آمونیوم چهار عاملی اصلاح سطحی می‌شوند و در نتیجه با پلیمرهای غیرقطبی مثل پلی پروپیلن و پلی اتیلن نیز همراه می‌شوند [۳۰].

۵. نانوکامپوزیت‌ها

نانوکامپوزیت‌های به سه صورت پلیمری، فلزی و سرامیکی هستند که در صنعت بسته‌بندی بیشتر از نوع پلیمری آن استفاده می-شود. این نانوکامپوزیت‌ها شامل دو بخش ماتریس بر پایه پلیمر و پرکننده بر پایه نانوذره، نانومیله یا نانوصفحه است [۳۱]. ماتریس پلیمری می‌تواند بر اساس پلیمر سنتزی (مصنوعی) و طبیعی باشد. پوشش‌های نانوکامپوزیت پلیمری با پرکننده‌هایی نظیر خاک رس و نانوذرات سیلیکات [۱۷]، نانولوله‌های کربنی [۲۶ و ۲۸]، گرافن [۲۷] در بسته‌بندی‌ها گزارش شده است.

۱.۵. پلیمرهای سنتزی

پلیمرهای سنتزی مانند پلی پروپیلن و پلی اتیلن، پلی اتیلن ترفتالات، پلی استایرن و پلی وینیل کلرید و پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر مانند پلی لاکتیک اسید و پلی کاپرو لاکتون اغلب برای بسته بندی مواد غذایی استفاده می شوند [۱۲].

۲.۵. پلیمرهای طبیعی

نشاسته و مشتقات سلولز از جمله پلیمرهای طبیعی هستند [۱۲]. استفاده از پوشش‌های نانوکامپوزیت پلیمری زیست‌سازگار با پرکننده‌هایی نظیر نانوبلورهای نشاسته [۲۸]، نانوالیاف مبتنی بر

سلولز یا نانوویسکر (نانوالیاف کوتاه) [۳۲-۳۳]، نانوذرات کیتوزان [۳۴-۳۵] در بسته‌بندی‌ها گزارش شده است .

۶. نتیجه‌گیری

نانوفناوری در صنعت مواد غذایی اهمیت روزافزونی یافته است و تا کنون نتایج و کاربردهای امیدوارکننده‌ای در زمینه بسته‌بندی و بهداشت غذا به‌دست آمده است. برای استفاده گسترده از نانوفناوری در بسته‌بندی مواد غذایی باید موضوع‌های مهمی نظیر مسئله ایمنی را در نظر گرفت، زیرا ممکن است نانومواد از ظروف بسته‌بندی وارد مواد غذایی شوند. انتظار می‌رود ترکیب نانومواد در بسته‌بندی غذا خصوصیات ممانعتی مربوط به بسته-بندی را بهبود بخشد و در نتیجه به کاهش مصرف مواد خام مفید و تولید زباله کمتر منجر شود. نفوذ اکسیژن با فساد چربی مواد غذایی و تغییر رنگ آن‌ها باعث فساد محتوای بسته‌بندی می‌شود. درصنعت بسته‌بندی موادغذایی استفاده از رس به‌عنوان جزء افزودنی نانومقیاس در پلیمرهایی نظیر پلی اتیلن، پلی استر، نایلون و نشاسته باعث تولید فیلم‌های پلاستیکی جدید شده و این صنعت را متحول ساخته است. در واقع فیلم‌های بسته‌بندی نهایی قابلیت جلوگیری از نفوذ اکسیژن، دی اکسید کربن و رطوبت به داخل ظرف را دارند. زیرا این نانومواد در پلاستیک‌های جدید به صورت زیگزاگ قرارگرفته و مانند سدی مانع عبور اکسیژن می شود. به این ترتیب ظروفی که در ساختار آن‌ها از فیلم‌های نانوکامپوزیت استفاده شده است، باعث افزایش ماندگاری ماده غذایی می‌شوند. همچنین ظروف نهایی سبک، محکم و مقاوم به حرارت و دارای خاصیت ضدمیکروبی جهت بسته‌بندی مواد غذایی هستند. از همه مهم‌تر برهم‌کنش‌های بسیار قوی در سطح ملکولی نانومواد و زنجیره‌های پلیمری در ظروف و فیلم‌های بسته بندی مواد غذایی باعث کاهش حجم آزاد و محدود گرداندن مهاجرت و حرکت مونومرها و زنجیره‌های پلیمری به سمت مواد غذایی می‌شود. از این رو استفاده از نانوفناوری سبب بهبود کیفیت و کارایی بسته‌بندی و درنتیجه اطمینان از امنیت غذایی می‌شود.

۵. منابع

1. H, Wei; Y, YanJun; L, NingTao; W, LiBing; Application and Safety Assessment for Nano-Composite Materials in Food Packaging. Chinese Science Bulletin 56(12) 1216–1225, 2011.

2. B, Farhang; Global Issues in Food Science and Technology. 2009.

3. Z, Huang; H, Chen; A, Yip; G, Ng; F, Guo; Z.K, Chen; M.C, Roco; Longitudinal Patent Analysis for Nanoscale Science and Engineering: Country, Institution and Technology Field. Journal of Nanoparticle Research 5 333-363, 2003.

4. H, Chen; J, Weiss; F, Shahidi; Nanotechnology in Nutraceuticals and Functional Foods. Food Tech 60(3) 30–36, 2006.

5.https://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology#Applications.

6. G, Christina; V, Dirk; I, Arnout; V, Blaaderen; A General Method to Coat Colloidal Particles with Silica. Langmuir 19(17) 6693–6700, 2003.

7. P, Sanguansri; M.A, Augustin; Nanoscale Materials Development a Food Industry Perspective", Trends in Food Science & Technology 17 547-556, 2006.

8. H. Bouwmeeste; S, Dekkers; M.Y, Noordam; W.I, Hagens, A.S, Bulder; C.D, Heer, S.E.C.G.T, Voorde; S.W.P, Wijnhoven; H.J.P, Marvin; A.J.A.M, Sips; Review of Health Safety Aspects of Nanotechnologies in Food Production. Regulatory Toxicology and Pharmacology 53 52–62, 2009.

9. C.F, Chau; S.H, Wu; G.C, Yen; The Development of Regulations for Food Nanotechnology. Trends in Food Science & Technology 18 269-280, 2007.

10. J, Weiss; P, Takhistov; D.J, McClements; Functional Materials in Food Nanotechnology. Journal of Food Science 71(9) 107-116, 2006.

11. T.V, Duncan; Applications of Nanotechnology in Food Packaging and Food Safety: Barrier Materials, Antimicrobials and Sensors. Journal of Colloid and Interface Science 363 1–24, 2011.

12. V, Trinetta, Definition and Function of Food Packaging. Reference Module in Food Science 1-2, 2016.

13. V, Siracusa; Packaging Material in the Food Industry. Antimicrobial Food Packaging 7 95–106, 2016.

14.http://www.dnvba.com/ae/food-beverage/food-safety/Pages/The-BRC-global-standard-for-packaging-and-GMP-FEFCO.aspx.

15.http://www.dnvba.com/ae/food-beverage/food-safety/Pages/ISO-22000.aspx.

16. G, Choudalakis; A.D, Gotsis; Permeability of Polymer-Clay Nanocomposite: A review. European Polymer Journal. 45 967-984, 2009.

17. C.L, Wu; M.Q, Zhang; M.Z, Rong; K, Friedrich; Tensile Performance Improvement of Low Nanoparticles Filled Polypropylene Composites. Compos Sci Technol 62 1327-1340, 2002.

18. Q, Chaudhry; Laurence Castle and Richard Watkins: Nanotechnologies in Food. Royal Society of Chemistry 2010.

19. S.S, Ray; K, Yamada; M, Okamoto; K, Ueda; Polylactide-Layered Silicate Nanocomposite: a Novel Biodegradable Material. Nano Lett 2 1093-1096, 2002.

20. P, Sanguansri; Nanoscale Material Development a Food Industry Perspective. Trend in food science and technology 175 1447-1455, 2008.

21. M, Rai; A, Yadav; A, Gade; Silver Nanoparticles as a New Generation of Antimicrobials. Biotechnology Advances 27 76-83, 2008.

22. J, Huang; X, Li; W, Zhou; Safety Assessment of Nanocomposite for Food Packaging Application. Trends in Food Science & Technology 45 187-199, 2015.
23. P, Espitia; J.P, Otoni; C.G, Soares; Zinc Oxide Nanoparticles for Food Packaging. Applications Antimicrobial Food Packaging 34 425–431, 2016.
24. J, Lu; H, Wang; S, Dong, F, Wang; Y, Dong; Effect of Ag Shapes and Surface Compositions on the Photocatalytic Performance of Ag/ZnO Nanorods. Journal of Alloys and Compounds 617 869–876, 2014.
25. A, Jain; R, Bhargava; P, Poddar; Probing Interaction of Gram-Positive and Gram-Negative Bacterial Cells with ZnO Nanorods. Materials Science and Engineering C 33 1247–1253, 2013.
26. M.C, Henriette; Nanocomposites for Food Packaging Applications. Food Research International 42 1240–1253, 2009.
27. I, Arvanitoyannis; A, Nakayama; E, Psomiadou; N, Kawasaki; N, Yamamoto; Synthesis and Degradability of a Novel Aliphatic Polyester Based on Lactide and Sorbitol. Polymer 37 651-660, 1996.
28. Q, Chaudhry; Laurence Castle and Richard Watkins: Nanotechnologies in Food. Royal Society of Chemistry 2010. 29.https://en.wikipedia.org/wiki/ Bentonite.
30. R.K, Gupta; E, Kennel; K.J, Kim; Polymer Nanocomposites Handbook. CRC Press 2010.
31.https://en.wikipedia.org/wiki/Nanocomposite.
32. M, Rai; A, Yadav; A, Gade; Silver Nanoparticles as a New Generation of Antimicrobials. Biotechnology Advances. 27 76-83, 2008.
33. Y.S, Han; S.H, Lee; K.H, Choi; I, Park; Preparation and Characterization of Chitosan-Clay Nanocomposites with Antimicrobial Activity. Journal of Physics and Chemistry of Solids 71 464-467, 2010.
34. J.E, Bruna; A, Penaloza; A, Guarda; F, Rodriguez; M.J, Galotto; Development of MtCu+2-LDPE Nanocomposites with Antimicrobial Activity for Potential Use in Food Packaging. Applied Clay Science. 58 79-87, 2012.
35. M, Avella; J.J, De Vlieger, M.E, Errico; S, Fischer; P, Vacca; M.G, Volpe; Biodegradable Starch-Clay Nanocomposite Films for Food Packaging Applications. Food Chemistry. 93 467-474, 2005.

۶. پی نوشت

1. British Retail Consortium (BRC) Institute of Packaging (IOP).
2. Good Manufacturing Practice (GMP) European Federation of Corrugated Board Manufacturers (FEFCO).
3. International Organization for Standardization.