

ایمنی بسته‌بندی‌های نانویی^۱ مواد غذایی

Safety in food's Nano packaging

نرگس محمدی^۱ - وحید حسین زاده اقدم^۲
Narges Mohammadi^{1,3}, Vahid Hossainzadeh Aghdam^{2,3}

۱- کارشناس ارشد شیمی تجزیه دانشگاه الزهرا
۲- کارشناس شیمی کاربردی دانشکده علوم پزشکی دانشگاه شهید بهشتی
۳- عضو کارگروه استاندارد و کالیبراسیون شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو

¹ Department of Chemistry, Alzahra University
² Faculty of Medical Sciences, Shahid Beheshti University
³ Standards and Calibration Teamwork, Iran Nanotechnology Laboratory Network

چکیده

موادی که در حال حاضر در بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اغلب غیر قابل تجزیه و دارای مشکلات زیست محیطی جدی هستند. اگرچه مجموعه‌ای از چالش‌های علمی و مهندسی در صنعت غذا و پردازش زیستی مانند تولید با کیفیت بالا، غذای سالم با منابع پایدار و کارآمد می‌تواند از طریق فناوری نانو حل شود؛ فناوری نانو مانند هر فناوری جدیدی، مزایا و خطراتی را به همراه دارد. از مزایای فناوری نانو در صنایع غذایی می‌توان به بهبود در طعم، بافت، دسترسی به مواد مغذی و عمر محصول اشاره کرد. نیاز است تا مصرف‌کنندگان به پذیرش فناوری‌های جدید اعتماد کنند. این امر به‌ویژه در صنایع غذایی که در آن نگرانی‌های مصرف‌کنندگان از ایمنی و سلامت مواد غذایی بیشتر است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بسیاری از نگرانی‌های در مورد ایمنی نانومواد وجود دارد، زیرا اندازه آنها ممکن است به نفوذ آنها به سلول‌ها و باقی ماندن در سیستم بدن منجر شود. اطلاعات علمی محدودی در مورد مهاجرت نانوذرات از مواد بسته‌بندی مواد غذایی به غذا و همچنین اثرات سمی آنها وجود دارد. معقول است فرض کنیم ممکن است این انتقال انجام شود و از این رو نیاز به اطلاعات دقیق در مورد تاثیر نانوذرات بر سلامت انسان ضروری است. این مقاله به بررسی مطالعات اخیر در مورد اندازه‌گیری نانومواد در مواد غذایی و ارزیابی اثرات سمی آن بر سلامت انسان و همچنین بررسی الگوهای نظارتی ارائه شده توسط سازمان‌های ناظر فناوری نانو می‌پردازد.

Abstract

The materials currently used in food packaging are often non-biodegradable and have serious environmental problems. However, a collection of science and engineering challenges in the food industries and biological processes - such as the production of high quality and healthy food and sustainable resources - can efficiently be solved by nanotechnology; Which has benefits and risks as like as any new technologies. Improving the tastes, textures, nutrient availability, are some of nanotechnology's benefits in the food industries. There are so many concerns about the safety of nanomaterials because of their small size and ability to migration from food packaging materials. This article reviews recent studies on the measurement and evaluation of the toxic effects of nanomaterials on human health and the patterns offered by nanotechnology regulatory organizations.

کلمات کلیدی:

ایمنی نانو، بسته بندی نانویی، پوشش‌های پلیمری نانوکامپوزیت

Keywords:

هدف بسته‌بندی مواد غذایی

در ابتدا هدف بسته‌بندی، نگهداری محصولات غذایی فصلی بوده‌است اما با رشد جوامع، این ضرورت احساس شد تا محصولاتی که در یک منطقه خاصی تولید می‌شود، برای استفاده به منطقه دیگری انتقال یابد و این هنر بسته‌بندی بود که امکان حفاظت و نگهداری محصول را در این انتقال فراهم آورد. از اهداف بسته‌بندی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مهمترین هدفی که در بسته‌بندی محصولات غذایی مدنظر است، افزایش طول عمر نگهداری محصول است؛

- محافظت ماده غذایی از عوامل فساد درونی و بیرونی و اکسید شدن؛

- حمل و نقل بهتر و آسانتر مواد غذایی؛

- بازاریابی بهتر؛

فناوری بسته‌بندی نه تنها توانست طول عمر مواد غذایی را افزایش دهد، بلکه این امکان را به وجود آورد که در کشوری نظیر آمریکا، ۴ درصد مردم آن بتوانند با فعالیت خود هم غذای مردم این کشور را تامین کنند و هم مقادیر مشابهی از محصولات را به خارج صادر نمایند.

تاریخچه بسته‌بندی

تاریخ نشان داده است که در ابتدای تمدن بشری نیازی به بسته‌بندی مواد غذایی نبوده‌است و مردم برای به دست آوردن غذا از محلی به محل دیگر می‌رفتند تا زمانی که پناهگاه‌های دائمی برای خود پیدا کردند. در چنین شرایطی ناچار بودند غذا را از محل‌های مختلف جمع‌آوری نموده، به محل سکونت خود بیاورند.

این نیاز باعث شد که اولین انواع بسته‌بندی مانند کدوهای خشک شده، صدف‌ها، برگ‌ها، پوست حیوانات و دیگر مواد طبیعی مورد استفاده قرار بگیرند. برای انتقال آب، شیر، ماست، روغن یا دوغ، از پوست حیوانات استفاده می‌شد. از شاخ حیوانات برای حمل و نقل و ذخیره غذا و محصولات کشاورزی استفاده کردند (هنوز در مناطق استوایی از بامبو برای ذخیره‌سازی مواد غذایی استفاده می‌شود).

قوطی‌سازی و بسته‌بندس فلزی از زمان ناپلئون شروع شد و برای مدت مدیدی قوطی‌های کنسرو با دست ساخته می‌شد. بسته‌بندی به صورت مقوایی و کاغذی پس از پیدایش کاغذ به وجود آمد و روند تکمیلی خود را تاکنون به سرعت طی نموده است. اولین کارخانه مدرن ایران در سال ۱۳۴۹ شمسی در «هفت تپه خوزستان» برای تولید کاغذهای تحریر با استفاده از تفاله نیشکر^۲ احداث شد و متعاقب آن، کارخانه چوب و کاغذ ایران (چوکا) با استفاده از خمیرهای وارداتی و داخلی، کاغذهای کرافت و بسته‌بندی را تولید نمود.

بسته‌بندی پلاستیکی به سال ۱۸۴۳ میلادی برمی‌گردد که دکتر مونت گومری آفریقایی گزارش داد که می‌توان با استفاده از ماده اولیه کائوچو، دسته خوبی برای چاقو ساخت. با اختراع پلی اتیلن، پیشرفت غیرمنتظره‌ای در صنعت بسته‌بندی رخ داد. در سال ۱۹۳۹ میلادی، مایکل پرین با استفاده از یک واکنش تحت فشار بالا و قابل تکرار برای پلی اتیلن، مبنایی برای آغاز تولید صنعتی آن را فراهم نمود.

تاریخچه بسته‌بندی شیشه‌ای نیز به پیش از اواخر قرن نوزدهم برمی‌گردد که محصولات مانند آب معدنی، سس، ترشی و مربا، برای فروش در ظروف شیشه‌ای بسته‌بندی می‌شدند. استفاده از شیشه برای امور بسته‌بندی بعد از جنگ جهانی دوم همواره سیر صعودی داشته است. چرا که شیوه‌های تولید سریع و پیوسته و خودکار تولید بطری‌ها و پرکردن آنها به تولیدکنندگان این امکان را داده که تقاضاها را برآورده کنند و قیمت تولید آنها را پایین نگه دارند.

استانداردهای بسته‌بندی مواد غذایی

ارایه دهندگان خدمات بسته‌بندی مواد غذایی کاملاً در زنجیره مواد غذایی دخیل است و بر ایمنی و سلامت مواد غذایی تاثیر زیادی دارند. این استانداردها دورنمای فنی خاصی را ترسیم می‌کنند تا مسؤلیت‌پذیری تولیدکنندگان را از طریق پایه‌گذاری گسترده سامانه‌های مدیریت ایمنی شناخته شده برای مواد غذایی، نهادینه کنند. این استانداردها بیانگر الزامات «انجام مسؤلیت» برای تولیدکنندگان بسته‌بندی‌ها، ارایه‌کنندگان خدمات بسته‌بندی و توزیع‌کنندگان برای ارایه شواهد لازم در دفاع حقوقی و نشان دادن تمهیدات لازم برای جلوگیری از حوادث هستند. این استانداردها عبارتند از:

– **استاندارد BRC IOP:** الزامات مربوط به تولیدکنندگان مواد قابل استفاده در بسته‌بندی و نیز برای محصولات مشابه مرتبط با غذا همچون ورق آلومینیوم، کارد و چنگال یک‌بار مصرف و فنجان‌های پلاستیکی ارایه می‌دهد.

– **استاندارد GMP FEFCO:** منحصر به تولیدکنندگان مقوای مورد استفاده در بسته‌بندی اختصاص داده شده است.

– **استاندارد ISO 22000:** استانداردی پایه است که به سازمان‌ها و شرکت‌ها این امکان را می‌دهد که خطرات مربوطه را شناخته و آنها را به طور اثربخش از نظر ایمنی و صرفه اقتصادی مدیریت کنند. این استاندارد رویکردی سازمانی در اختیار صنایع مواد غذایی قرار می‌دهد که همه جنبه‌های زنجیره غذا، از خرید مواد خام تا مصرف نهایی در رستوران، آشپزخانه‌های تهیه غذا، تولید تجهیزات، ماشین‌آلات و مواد شیمیایی، بخش خدمات نظیر کنترل آفات، شستشو، حمل و نقل و تدارکات را پوشش می‌دهد.

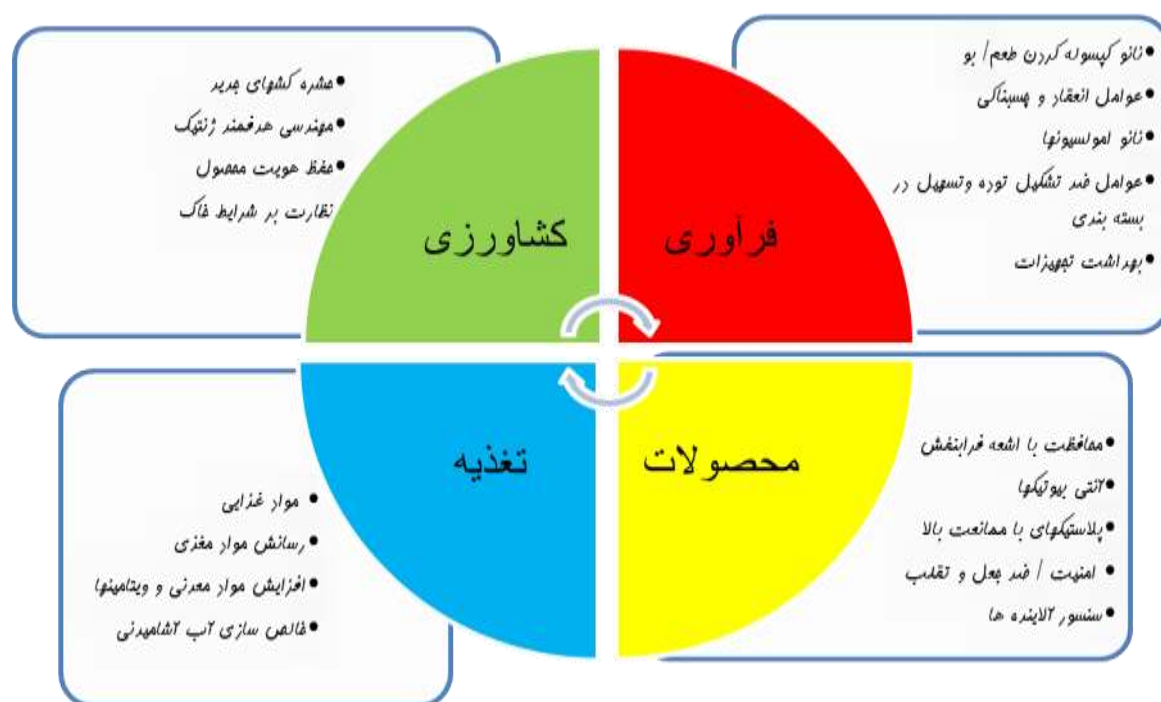
نقش آزمون‌های آزمایشگاهی در بسته‌بندی مواد غذایی از آنجایی که بسته‌بندی‌های سلولزی و پلیمری مزایا و قابلیت‌های زیادی از جمله چاپ‌پذیری عالی و شکل‌پذیری با هزینه پایین دارد، در صنعت بسته‌بندی مورد استفاده زیادی دارد. البته در کنار تمامی مزایا مشکلاتی هم وجود دارد که نباید از مشکلات آن چشم‌پوشی کرد. یکی از مشکلات بسته‌بندی‌های سلولزی (کاغذ و مقوا) و حتی برخی پلیمرها، احتمال مهاجرت مواد مضر است. این امر منجر به انتقال مواد ناخواسته به مواد درون بسته‌ها و تغییر طعم و بوی محصول خواهد شد و از آنجایی که بیشتر محصولات، دارای مواد شیمیایی هستند، این مهاجرت محتمل‌تر خواهد شد. امروزه آزمایش‌های مختلفی از جمله آزمون «سمیت مواد مهاجر» و آزمون «میزان در معرض قرارگیری محصول»، توسط دستگاه‌های خاصی روی بسته‌بندی‌ها انجام می‌شود تا از سلامت آن اطمینان حاصل گردد. آزمون میزان مواد مهاجر، به نوع ماده غذایی، نوع ماده مورد استفاده در بسته‌بندی و ماده مهاجر وابسته است. همچنین آزمون میزان سمیت مواد مهاجر، به مطالعات سم‌شناسی وابسته است.

واژه مهاجرت مواد به معنی فرآیند انتقال جرم از مواد بسته‌بندی به محتویات آن است؛ البته در پدیده مهاجرت، خواص مکانیکی و نفوذپذیری بسته‌بندی تغییر زیادی نمی‌کند، اما تغییرات چشایی محصول را به طور چشم‌گیری تغییر می‌دهد. از جمله موادی که در مهاجرت مواد نقش اصلی دارند عبارتند از: مونومرها، حلال‌ها، مواد حاصل از برهم‌کنش‌ها و ناخالصی‌های ناشی از بسته‌بندی نامرغوب.

فناوری نانو در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی

برخی از مهیج‌ترین پیشرفت‌های حاصل شده در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی مرتبط با فناوری نانو است. فناوری نانو که علم مطالعه و کاربرد نانوذره‌هاست، تأثیر بزرگی بر مواد مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی داشته است. با بهره گرفتن از ابداعاتی که در مقیاس نانو صورت می‌گیرد، می‌توان به ایده‌های جدیدی در خواص فنی و قابلیت ممانعت‌کنندگی ظروف، تشخیص عوامل بیماری‌زا و راه‌کارهایی برای تولید بسته‌بندی فعال و هوشمند دست یافت.

فناوری نانو شامل خصوصیات، ساخت و یا دستکاری در سازه‌ها، دستگاه‌ها و یا موادی است که حداقل در یکی از ابعاد در حدود ۱-۱۰۰ نانومتر طول داشته باشد. وقتی اندازه ذرات تا این اندازه کاهش می‌یابد، خواص فیزیکی و شیمیایی آنها نیز به میزان قابل توجهی متفاوت خواهد شد. در حال حاضر، استفاده بالقوه از فناوری نانو عملاً در هر بخش از صنعت مواد غذایی شناخته شده‌است؛ از کشاورزی تا فرآوری مواد، بسته‌بندی مواد غذایی و مکمل‌های مواد غذایی، که در نمودار شکل (۱) به خوبی نشان داده شده‌است.



شکل ۱: نمایش کاربردهای بالقوه فناوری نانو در زمینه مواد غذایی.

غیر قابل انکار است که فعال‌ترین منطقه در توسعه پژوهش‌های علم نانو و مواد غذایی، صنعت بسته‌بندی است. رشد بازار جهانی نانو در بسته‌بندی مواد غذایی و نوشیدنی در سال ۲۰۰۸ میلادی، ۳/۴ میلیارد دلار آمریکا بوده و پیش‌بینی شده‌است تا سال ۲۰۱۴ میلادی، به رشد ۳/۷ میلیارد دلاری برسد؛ یعنی نرخ رشد سالانه ۱۱/۶۵ درصد.

پوشش‌های پلیمری نانو کامپوزیت، گامی موثر در صنعت بسته‌بندی

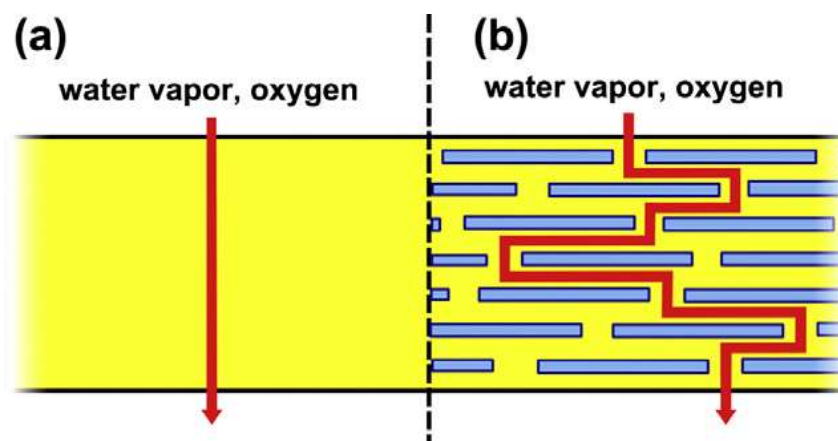
نانوکامپوزیت‌ها در رأس ابداعات فناوری نانو، مرتبط با صنعت بسته‌بندی مواد غذایی قرار دارند. نانوکامپوزیت‌ها موادی هستند که از ترکیب نانوذرات ساخته می‌شوند. کمپانی تویوتا، اولین شرکتی است که استفاده تجاری از نانوکامپوزیت‌ها را در دستور کار خود قرار داد. این شرکت از خاک مونت موریلونیت^۴ که در مقیاس نانو تهیه شده بود، برای بالا بردن خواص

مکانیکی و حرارتی نایلون استفاده کرد. در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی نیز استفاده از خاک مونت موریلونیت به عنوان جزء افزودنی نانو به انواع پلیمرها از جمله پلی‌اتیلن، پلی‌استر، نایلون و نشاسته در حال بررسی است. ورقه‌های پلاستیکی نانوکامپوزیتی این قابلیت را دارند که از نفوذ اکسیژن، دی‌اکسید کربن و رطوبت به داخل ظرف جلوگیری کنند. به این ترتیب ظروفی که در ساختار آنها از ورقه‌های نانوکامپوزیت استفاده شده‌است، باعث افزایش ماندگاری ماده غذایی می‌شوند. چنین ظروفی، سبک، محکم و مقاوم به حرارت نیز هستند.

از آنجا که هیچ پلیمر خالص شناخته شده‌ای، خواص مکانیکی و مانع مورد نیاز متصور برای بسته‌بندی مواد غذایی را تأمین نمی‌کند، در بیشتر موارد، ورقه‌های چندلایه پیچیده و یا مخلوط پلیمرها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان یک نتیجه، هنوز هم نیاز قابل توجهی در صنعت پلیمر برای تولید ورقه‌های تک‌لایه با خواص مکانیکی و مانع گاز، به‌ویژه آنهایی که از مواد زیست‌سازگار تشکیل شده‌اند، وجود دارد. نانوکامپوزیت‌های پلیمری^۵ (PNCs) آخرین مواد با هدف حل مشکلات ذکر شده در مورد مواد پلیمری هستند. PNCs از پراکندگی یک پرکننده بی‌اثر در مقیاس نانو در طول یک ماتریس پلیمری ایجاد می‌شود. مواد پرکننده می‌توانند شامل خاک رس و نانوصفحات سیلیکات، نانوذرات سیلیس (SiO₂) [۱ و ۲]، نانولوله کربن [۳-۶]، گرافن [۷ و ۸]، نانوبلور نشاسته [۹]، سلولز مبتنی برنانوالیاف [۱۰-۱۲]، کیتین و یا نانوذرات کیتوزان [۱۳] و [۱۴] و سایر مواد معدنی [۱۵ و ۱۶] باشد.

بهبود خواص پلیمر محافظ با استفاده از PNCs در صنعت مواد غذایی مشهود است. PNCها همچنین قوی‌تر [۱۷]، دارای مقاومت بیشتر در برابر شعله [۱۷ و ۱۵] و دارای خواص حرارتی بهتر (به عنوان مثال نقطه ذوب، تخریب و درجه حرارت انتقال شیشه‌ای) [۱۸] نسبت به پلیمرهای کنترلی هستند که حاوی هیچ پرکننده‌ای در مقیاس نانو نیستند و تغییرات ترشوندگی سطح و آب‌گریزی نیز در آنها گزارش شده‌است [۱۹]. چگونگی پراکندگی پرکننده نانو در ماتریس پلیمری، به دو صورت بر خواص حفاظتی لایه پلیمری همگن تاثیر می‌گذارد؛ روش اول، ایجاد یک مسیر پرپیچ و خم برای انتشار گاز است [۲۰]. از آنجا که مواد پرکننده، در اصل بلورهای معدنی نفوذ ناپذیر هستند، مولکول‌های گاز باید بیشتر در اطراف آنها انتشار پیدا کنند تا این‌که مسیری مستقیم را عمود بر سطح لایه طی کنند. بنابراین، انتشار گاز از طریق این لایه در حضور پرکننده، یک مسیر طولانی است. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده‌است، مسیر پر پیچ و خم به تولید کننده اجازه می‌دهد که برای رسیدن به ضخامت موثر، از مقدار پلیمر کمتری استفاده کند.

در روش دوم، ایجاد تغییرات در ماتریس پلیمر، میزان و نوع پرکننده نانو، بر خصوصیات لایه حفاظتی تاثیر می‌گذارد.



شکل ۲: نمایی از مسیر پرپیچ و خم ایجاد شده به وسیله نانوصفحات خاک رس در یک لایه پلیمری نسبت به لایه بدون مواد پرکننده.

اثرات سمیت مواد موجود در بسته‌بندی نانویی

ارایه برخی محصولات به طور گسترده و با ادعای این‌که ایمنی آنها قبل از دسترسی در بازار جهانی مورد آزمایش قرار گرفته‌است، با توجه حساسیت و محدودیت آزمون‌های ایمنی استاندارد برای تعداد روز افزون محصولات فناوری نانو، مشکل مدیریتی ایجاد کرده است. در بخش مواد غذایی افرادی همچون تاید^۶ و همکارانش، تجربیاتی را در ارزیابی سم‌شناسی و خطرات نانومواد به اثبات رسانده‌اند که استفاده از آنها در ارزیابی سمیت ارزشمند است [۲۱]. رویکردهای تست سمیت کنونی مورد استفاده برای مواد معمولی، نقطه شروع مناسبی برای ارزیابی خطرات مرتبط با نانومواد است؛ با این حال، تغییرات باید میان مواد متعارف و نانومواد محاسبه شود. برخی از نانوذرات یافت شده دارای اثراتی مانند التهاب، فشار اکسایشی و نشانه‌هایی از تشکیل اولیه تومور بر بافت‌ها هستند [۲۲].

برای تعیین مقطع سمیت، ویژگی‌های نانوذرات، اندازه، شکل، حلالیت، واکنش‌پذیری و دیگر عوامل فیزیکی و شیمیایی باید همانند خواص یک ماده در مقیاس غیر نانو، در نظر گرفته شود. این احتمال وجود دارد که خواص سمی میان ذرات نانومواد، متفاوت باشد. بنابراین، ارزیابی خطر باید بر اساس مورد به مورد انجام شود [۲۳].

ارزیابی ایمنی مواد جدید، بیشتر با توجه به یافته‌های هندی و شاول^۷، با مروری بر خواص فیزیکی و شیمیایی آغاز می‌شود و به حصول اطمینان از حمل و نقل ایمن و ذخیره‌سازی مواد در طول مصارف صنعتی و در نهایت، پاسخگویی که اخلاقی و اختیاری است ختم می‌شود [۲۴]. پس از این آزمون‌های اولیه، سمی بودن ماده جدید مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

به عنوان نمونه، سوئی^۸ و همکارانش 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 [۲۵]. نانومواد موجود در این مطالعه، بعید است که در صنایع غذایی استفاده شوند، با این حال، لازم است اثرات سمی مواد در اولین مراحل توسعه و پیشرفت فناوری بررسی و اعلام شوند تا احتیاط لازم در استفاده از آنها صورت گیرد.

هنگام بررسی کاربردهای نانومواد در بسته‌بندی مواد غذایی و ارزیابی خطر بالقوه مهاجرت آنها به مواد غذایی سربسته، آزمون‌های مهاجرت مواد شیمیایی از بسته‌بندی محصولات غذایی و آشامیدنی، به علت تکرارپذیری و قابلیت اعتماد، مرجعی مفید هستند و به خوبی اثبات شده‌اند. آزمون‌های مهاجرت نانومواد می‌توانند اساس یک ارزیابی خطر اولیه را تشکیل دهند. این مواد جدید، عملکرد بالقوه جدیدی دارند و بنابراین واکنش مسمومیت آنها نیز به‌گونه‌ای جدید پدیدار خواهد شد. مینارد^۹ اشاره می‌کند که نانومواد علی‌رغم منحصر به فرد بودن ذاتی، دانش موجود در رابطه با رفتار آئروسول‌ها و ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی ذرات بسیار ریز مانند آزیست و سیلیس بلوری می‌تواند نقطه شروع خوبی برای ارزیابی خطر و توسعه ملزومات در رابطه با سلامت انسان باشد [۲۶].

ملزومات ارزیابی خطر نانوذرات

مقامات ایمنی مواد غذایی اروپا^{۱۰} دو مانع خاص را در ارزیابی خطر نانوذرات شناسایی کرده است: (الف) دشواری در توصیف، تشخیص و اندازه‌گیری نانومواد و (ب) نبودن اطلاعات کافی در داده‌های سم‌شناسی [۲۷]. مشخصات نانومواد از ملزومات اساسی برای ارزیابی خطرات است. بدون تعریف دقیق از مواد، نمی‌توان میزان خطر را تعیین کرد. پیچیدگی در حوزه نانومواد یک توصیف جزئی‌تر از اشکال هم‌ارز غیر نانو را می‌طلبد و نیازمند ارزیابی یک گستره وسیع از خصوصیات است [۲۶]. برای

شناسایی حضور نانومواد در مواد غذایی و مواد در ارتباط با مواد غذایی^{۱۱} (FCMs)، باید روش‌های آنالیز استاندارد یا آزمون‌های استاندارد تالیف شود. برخی از این آزمون‌های استاندارد توسط تایید و همکاری‌های همکارانش مورد بحث قرار گرفته است [۲۸]. مانند اطلاعات در مورد انباشت ذرات نانومواد در خوراک دام [۲۴]. نداشتن اطلاعات این‌که نانومواد پس از جذب توسط بدن، به احتمال زیاد در کدام عضو تجمع پیدا می‌کنند، یکی دیگر از موانع ارزیابی خطر است.

ارزیابی خطرات استفاده از نانومواد در بسته‌بندی مواد غذایی

مدل ارایه شده توسط سیمون^{۱۲} و همکارانش در سال ۲۰۰۸ میلادی، مهاجرت مقدار کمی از نانوذرات را از بسته‌بندی نانویی پیش‌بینی کرده است که این امر نیازمند داشتن اطلاعات در مورد ماتریس بسته‌بندی و نانوذرات به‌کاررفته در آن است [۲۹]. سرعت مهاجرت با کاهش ویسکوزیته دینامیکی پلیمر و اندازه ذرات، افزایش می‌یابد. این مسئله، پتانسیل مهاجرت نانوذرات را از مواد بسته‌بندی و لزوم ارزیابی خطرات ناشی از آن را آشکار می‌سازد. یک مورد مطالعه مهاجرت توسط آولا^{۱۳} و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۵ میلادی، افزایش ناچیز مواد معدنی در سبزیجات بسته‌بندی شده در یک نانوکامپوزیت مشتق شده از یک بیوپلیمر با وارد کردن مونت موریلونیت (نانورس) را گزارش کرده است [۳۰].

مقامات ایمنی مواد غذایی اروپا (EFSA) در میزگردی علمی در مورد FCMs، آنزیم‌ها، کمک‌پردازشگرها و موادی که برای خوش‌مزه کردن و معطر کردن استفاده می‌شوند^{۱۴} (CEF)، نظریه مثبتی را به تصویب رساندند که در آن نانوذرات نیتريد تیتانیوم مورد استفاده در بطری‌های PET در حد ۲۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم، مهاجرت ندارند و به همین دلیل برای مواد غذایی، خطر سمیت ندارند (طرح ابتکار ملی فناوری نانو ۲۰۰۹) [۳۱].

یک آزمون مهاجرت نیز در سال ۲۰۱۱ میلادی توسط هوانگ و همکارانش ارایه شد که در آن کیسه‌های ذخیره‌سازی مواد غذایی دارای نانوذرات نقره را با چهار نوع محلول غذاهای شبیه‌سازی شده پر کرده بودند. نتایج نشان داد که مهاجرت نانوذرات نقره از کیسه‌های پلی‌اتیلن به محلول غذاهای شبیه‌سازی شده اتفاق افتاد و مقدار مهاجرت با افزایش زمان ذخیره‌سازی و دما، افزایش داشته‌است [۳۲]. این نتایج می‌تواند تاثیری منفی در روند پیشرفت این مواد بسته‌بندی داشته باشد. در عوض، بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر به دلیل تاثیر مثبت آن بر محیط زیست، دارای یک روند رو به رشد در صنعت بسته‌بندی است.

چهارچوب نظارتی

به طور کلی، نانومواد و محصولات مرتبط، تحت پوشش طرح‌های گسترده نظارتی موجود قرار دارند و در سراسر جهان، نمونه‌های بسیار کمی هستند که مقررات ویژه نانو در جای خود رسیدگی می‌شود. به منظور تعیین اقدامات لازم برای اجرای یک روش امن، یکپارچه و پاسخگو در علم و فناوری نانو، کمیسیون اروپا توصیه‌هایی را در طرح اقدام برای اروپا ۲۰۰۹-۲۰۰۵ به کار گرفته است. پس از آن، در امتداد تعهدات انجام شده در طرح اقدام مربوط به اتحادیه اروپا برای تعیین انطباق، مقررات موجود با خطرات بالقوه نانومواد را مورد بررسی قرار داد (۲۰۰۸ میلادی) و به این نتیجه رسید که قانون موجود در اروپا در اصل می‌تواند خطرات بالقوه سلامت، ایمنی و محیط زیست را پوشش دهد، اگر چه عبارت «نانومواد» در این قانون، در آن زمان ذکر نشده بود. کمیسیون اروپا اذعان کرده که در پرتو اطلاعات جدید، ممکن است تغییرات نظارتی در مورد خطرات بالقوه با نانومواد لازم باشد.

نیاز فوری به قوانین مناسب برای مدیریت نگرانی‌های ایمنی بالقوه مربوط به نانومواد، در قطعنامه غیرالزام‌آوری که توسط پارلمان اروپا به تصویب رسیده بود، در آوریل ۲۰۰۹ ابلاغ شد. در این قطعنامه سوال شده بود که آیا قوانین فعلی اتحادیه اروپا برای مقابله با خطرات بالقوه نانومواد کافی خواهد بود؟ و کمیسیون اروپا در پاسخ به این سوال، بازبینی تمام قوانین مرتبط با نانومواد را در سال ۲۰۱۱ درخواست کرد. در پاسخ به درخواست پارلمان اروپا، کمیسیون اروپا نظریه‌ای را در تعریف از نانومواد به تصویب رساند (۲۰۱۱). آیین‌نامه اروپایی اخیر (پارلمان اروپا و شورای اروپا در سال ۲۰۱۱) در ارایه اطلاعات مواد غذایی به مصرف‌کنندگان، نیاز به برجسب خاص برای مواد غذایی حاوی نانومواد را متذکر شده است.

نتیجه‌گیری و چشم‌انداز آینده

فناوری نانو آمادگی این را دارد که در بسیاری از حوزه‌های صنایع غذایی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین توانمندی ارتقای محصول و گسترش مرزهای خود را در بازارهای جغرافیایی نیز داراست. فناوری نانو باید در صنعت قابل دسترس‌تر باشد و انجام این امر باید در مراحل بعد از توسعه صورت گیرد. با این حال، مسائل قانونی باید قبل از استفاده صنعت، مورد خطاب قرار گیرد. برای تولید چنین محصولاتی و ایده‌های مناسب و توسعه یافته، تولید و واردات نانومواد باید بر اساس اصول ارزیابی خطر، تنظیم و تسهیل شود. هنگامی که فناوری نانو آغوش خود را به روی عموم مردم و صنعت باز کرد، استفاده شرکت‌های مواد غذایی به طور بالقوه برای مزیت رقابتی و پیشی گرفتن از رقبای دیگر افزایش یافت.

عدم قطعیت‌های موجود برای ارزیابی خطر و قرار گرفتن نانومواد در معرض، به علت محدودیت در شکل‌گیری جنبه‌های مختلف از جمله سمیت، رفتار و تجمع زیستی، به وجود می‌آیند. این عدم قطعیت‌ها همچنین پیامدهایی را برای وضع قوانین موثر استفاده از نانومواد به همراه دارند. این غیر قابل انکار است که فناوری نانو در حال حاضر برنامه‌های کاربردی زیادی به نفع صنعت مواد غذایی ارائه کرده است که امروزه برخی از برنامه‌های کاربردی توسعه یافته‌تر عبارتند از مکمل‌های بهبود یافته، بسته‌بندی جدید مواد غذایی و سموم دفع آفات. مشاهده برنامه‌های کاربردی نیز ممکن است دارای پیامدهای مثبت برای افرادی باشد که در کشورهای در حال توسعه هستند به ویژه در زمینه افزایش بهره‌وری کشاورزی، بهبود و ایمنی مواد غذایی، آب و تغذیه. عدم سرمایه‌گذاری در این کشورها می‌تواند به این معنی باشد که مزایای این فناوری‌ها در کشورهای توسعه یافته محدود است. 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.

معرفی چند آزمایشگاه تخصصی بسته‌بندی مواد غذایی در کشور

- ۱- آزمایشگاه پاک بنیان البرز: آزمایشگاه تخصصی ظروف و بسته‌بندی؛
- ۲- آزمایشگاه تخصصی و پرومد^{۱۵}: آزمایشگاه کنترل کیفی مواد غذایی، دارویی و آرایشی-بهداشتی، بسته‌بندی، آب و پساب؛
- ۳- آزمایشگاه کنترل کیفی تست^{۱۶}: این آزمایشگاه وابسته به شهرک فناوری صنایع غذایی و بیوتکنولوژی شمال شرق کشور و از آزمایشگاه‌های تخصصی بسته‌بندی است.

مراجع

- [1] V. Vladimirov, C. Betchev, A. Vassiliou, G. Papageorgiou, D. Bikiaris, Compos. Sci. Technol. 66(2006)2935.
[2] S. Tang, P. Zou, H. Xiong, H. Tang, Carbohydr. Polym. 72(2008)521

- [3] S.Morlat-Therias, E.Fanton, J.-L.Gardette, S.Peeterbroeck, M.Alexandre, P.Dubois, *Polym. Degrad. Stab.* 92 (2007) 1873.
- [4] J.Y.Kim, S.-I.Han, S.H.Kim, *Polym. Eng. Sci.* 47 (2007) 1715.
- [5] K.Prashantha, J.Soulestin, M.F.Lacrampe, P.Krawczak, G.Dupin, M.Claes, *Compos. Sci. Technol.* 69 (2009) 1756.
- [6] J.Y.Kim, S.I.Han, D.K.Kim, S.H.Kim, *Compos. Part A: Appl. Sci. Manuf.* 40 (2009)45.
- [7] K.Wakabayashi, C.Pierre, D.A.Dikin, R.S.Ruoff, T.Ramanathan, L.C.Brinson, J.M.Torkelson, *Macromolecules* 41 (2008) 1905.
- [8] C.Borriello, A.DeMaria, N.Jovic, A.Montone, M.Schwarz, M.V.Antisari, *Mater. Manuf. Process.* 24 (2009) 1053.
- [9] Y.Chen, X.Cao, P.R.Chang, M.A.Huneault, *Carbohydr. Polym.* 73 (2008) 8.
- [10] H.M.C.Azeredo, L.H.C.Mattoso, D.Wood, T.G.Williams, R.J.Avena-Bustillos, T.H.McHugh, *J.Food Sci.* 74 (2009) N31.
- [11] H.M.C.Azeredo, L.H.C.Mattoso, R.J.Avena-Bustillos, G.C.Filho, M.L.Munford, D.Wood, T.H.McHugh, *J.Food Sci.* 75 (2010) N1.
- [12] C.Bilbao-Sáinz, R.J.Avena-Bustillos, D.F.Wood, T.G.Williams, T.H.McHugh, *J. Agric. Food Chem.* 58 (2010) 3753.
- [13] M.R.deMoura, F.A.Aouada, R.J.Avena-Bustillos, T.H.McHugh, J.M.Krochta, L.H.C.Mattoso, *J. Food Eng.* 92 (2009) 448.
- [14] M.R.deMoura, M.V.Lorevice, L.H.C.Mattoso, V.Zucolotto, *J. Food Sci.* 76 (2011) N25.
- [15] D.Yang, Y.Hu, L.Song, S.Nie, S.He, Y.Cai, *Polym. Degrad. Stab.* 93 (2008) 2014.
- [16] F.Zhang, H.Zhang, Z.Su, *Polym. Bull.*60 (2008) 251.
- [17] Y.C.Li, J.Schulz, J.C.Grunlan, *ACS Appl. Mater. Int.* 1 (2009) 2338.
- [18] S.S.Ray, M.Okamoto, *Prog. Polym. Sci.* 28 (2003) 1539.
- [19] Q.Zhou, K.P.Pramoda, J.-M.Lee, K.Wang, L.S.Loo, *J.Colloid Interface Sci.* 355 (2011)222.
- [20] G.Choudalakis, A.D.Gotsis, *Eur.Polym. J.* 45 (2009) 967.
- [21] Card, J.W., & Magnuson, B.A. (2010). *International Journal of Toxicology*, 29 (4), 402 e 410.
- [22] Carlson, C., Hussain, S.M., Schrand, A.M., Braydich-Stolle, K., Hess, K.L. et al. (2008). *The Journal of Physical Chemistry B*, 112 (43), 13608 e 13619.
- [23] Munro, I.C., Haighton, L.A., Lynch, B.S. & Tafazoli, S. (2009). *Food Additives & Contaminants*, 26 (12), 1534 e 1546.
- [24] Handy, R.D. & Shaw, B.J.(2007). *Health, Risk & Society*, 9, 125 e 144.
- [25] Cui, D., Tian, F., Ozkan, C.S., Wang, M. & Gao, H.(2005).Effect of single wall carbon nanotubes on human HEK 293 cells. *Toxicology Letters*, 155(1),73 e85.
- [26] Maynard, A. (2010). *Presentation.pdf*.(Accessed June2010).
- [27] European Food Safety Authority (EFSA) (2009). Dopted on 10 February 2009. Available from http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1211902361968.htm (accessed February 2010).
- [28] Tiede, K., Boxall, A.B.A., Tear, S.P., Lewis, J., David, H. & Hasselov, M. (2008) 25, 795 e 821.
- [29] Simon, P., Chaudhry, Q. & Bakos, D. (2008). *Journal of Food and Nutritional Research*, 47 (3), 105 e 113.
- [30] Avella, M., DeVlieger, J.J., Errico, M.E., Fischer, S., Vacca, P. & Volpe, M.G. (2005). *Food Chemistry*, 93 (3), 467 e 474.
- [31] National nanotechnology initiative: Research and development leading to a revolution in technology and industry, supplement to President's FY2010 Budget. Washington, DC: Office of Science and Technology Policy. Available at: http://www.nano.gov/NNI_2010_budget_supplement.pdf. (accessed August 2010) p.40.
- [32] Huang, Y., Chen, S., Bing, X., Gao, C., Wang, T. & Yuan, B.(2011). *Packaging Technology and Science*. Early View (Online Version of Record published before inclusion in an issue). <http://www.icfp.ir>, <http://ippi.ir>.

-
- 1- Nano packaging
 - 2- Bagasse
 - 3- Catering
 - 4- Montmorillonite
 - 5- Poly nano-composites (PNCs)
 - 6- Tiede
 - 7- Handy and Shaw
 - 8- Cui
 - 9- Maynard
 - 10- European Food Safety Authority (EFSA)
 - 11- Food contact materials
 - 12- Simon
 - 13- Avella
 - 14- Flavourings and Processing Aids (CEF)
 - 15- ViroMed
 - 16- Testa