

فناوری نانو در بسته‌بندی مواد غذایی

- ابوالقاسم مروجی

تحصیلات: دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران

پست الکترونیکی: G.Moraveji@gmail.com

- میثم مصطفوی

تحصیلات: دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران

تاریخ دریافت مقاله: مهر ماه ۱۳۸۹

تاریخ پذیرش مقاله: آبان ماه ۱۳۸۹

۱- مقدمه:

در طی دو دهه اخیر یکی از پر مصرف‌ترین کاربردهای پلاستیک‌ها، در صنایع بسته‌بندی بوده است. قیمت پایین، شکل‌پذیری راحت و خواص مناسب پلیمرها، موجب مصرف فراوان آن‌ها در این صنعت شده است. در سال ۲۰۰۵ نزدیک ۴۱٪ پلیمرها در صنعت بسته‌بندی و بیش از ۴۷٪ از این مقدار برای بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفتند [۱]. فناوری نانو، توانمندی به کارگیری طبیعت یا تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید در سطح مولکول یا اتم و استفاده از خواصی است که در سطح، ظاهر می‌شوند. فناوری نانو، تغییرات شگرفی در استفاده از منابع طبیعی، انرژی و آب ایجاد می‌کند و در رابطه با محیط زیست، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در درک مولکولی فرایندهایی که در ابعاد نانو در طبیعت رخ می‌دهد، دارد. [۲] بهبود خواص کیفی و تغذیه‌ای، حفظ ایمنی غذاها، بهبود و گسترش عطر و طعم، بهبود خواص بسته‌بندی‌های پلیمری و زیست تجزیه‌پذیر، افزایش طول عمر نگهداری محصولات غذایی - کشاورزی و کاهش ضایعات کشاورزی از اهداف علم نانو است. لذا

چکیده:

فناوری نانو یک فناوری توانمند در استفاده از ماهیت مواد در سطح اتم و مولکول می‌باشد و بر روی خصوصیات، سنتز، تغییرات ساختار زنده و غیر زنده کمتر از ۱۰۰ نانومتر متمرکز شده است. در صنایع غذایی، بسته‌بندی یکی از عوامل مؤثر در حفظ کیفیت و امنیت غذا می‌باشد و از آنجایی که استفاده از نانوکامپوزیت‌ها در ساختار پلیمرهای بسته‌بندی غذایی، موجب بهبود خواص نگهدارندگی پلیمرها می‌شود و کارایی بالای نانوذرات و نانو لوله‌ها زمینه استفاده پلیمرهای زیست-تجزیه‌پذیر را در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی فراهم نموده است. اولین عرصه ارتباط فناوری نانو با صنایع غذایی، بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد. در این مقاله درباره‌ی نقش فناوری نانو در صنایع غذایی و بسته‌بندی مواد غذایی بحث می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

فناوری نانو - صنایع غذایی - نانوذرات و بسته‌بندی غذا.

همگرایی علم نانو و علم غذا، منجر به بروز قابلیت- های فراوانی در زمینه‌های متفاوت صنعت غذا می‌شود. [۳]

ها (افلاتوکسین) و شناسایی بعضی از میکروارگانیسم‌های مضر استفاده می‌شود. [۵ و ۴]

۲- آشنایی فناوری نانو و صنایع غذایی:

شروع کاربردهای فناوری نانو در صنایع غذایی از همان دوره‌های پیدایش این علم می‌باشد و ما در دهه‌های آینده، شاهد افزایش استفاده از ابزارها و تکنیک‌های توسعه یافته‌ی فناوری نانو در ردیابی پاتوژن‌های سرطان‌زا و بیوسنسورها برای بهبود کیفیت و کاهش آلودگی مواد غذایی خواهیم بود. جدیدترین کاربرد فناوری نانو در صنایع غذایی که بیشتر به صورت نظریه می‌باشد، تولید مواد غذایی با ارزش غذایی بالاتر و استفاده به عنوان دارو می‌باشد.

در حال حاضر، فناوری نانو، فرصت‌های زیادی برای کاربرد در صنایع غذایی دارد.

حوزه‌های فعالیت فناوری نانو در صنعت غذا شامل موارد زیر است:

- فرایند غذا (۱)، مهندسی غذا (۲)؛

- بسته‌بندی غذا (۳)، ایمنی غذایی (۴).

کاربردهای فناوری نانو در فرایند غذا:

- تولید مواد غذایی زیست فعال (۵) با فرمولاسیون جدید؛

- افزودن نانوذرات به غذا به منظور افزایش جذب مواد مغذی؛

- بهبود ماندگاری عطر، طعم و رنگ؛

- نقل و انتقال هوشمند و نانو کپسوله کردن اجزای غذایی؛

- افزایش قابلیت جداسازی اجزای مواد غذایی با استفاده از نانوفیلترها. [۶]

۳- اصول بسته‌بندی مواد غذایی:

هدف از بسته‌بندی مواد غذایی این است که هم زمان نگهداری آن افزایش یابد و هم مواد غذایی به

عناصر و اجزای اصلی فناوری نانو، شامل نانومواد، نانولوله‌ها، نانوکامپوزیت‌ها، نانوکپسول‌ها، نانوسنسورها، نانوفیلترها و نانوماشین‌ها می‌باشند. نانوبیوموادها، کاتالیزور فعل و انفعالات شیمیایی و بیوشیمیایی هستند. افزودن رنگ و طعم مطلوب و اجزای غذایی زیست فعال همچون بتاکاروتن و امگا سه به غذاها، افزایش حلالیت مواد مغذی با حلالیت کم و حساس به تغییرات محیطی با روش کپسوله کردن، اتصال به باکتری‌های مسمومیت‌زا و بیماری‌زای غذایی و انهدام آن‌ها از جمله کاربردهای نانو بیومواد است. نانولوله‌ها قوی‌ترین فیبرهای شناخته شده هستند که صدها برابر از استیل مقاوم‌تر بوده و می‌توانند در ساخت تجهیزات صنعتی تولید غذا به کار روند. نانوکامپوزیت‌ها بیشتر در صنعت بسته‌بندی غذا، مورد توجه قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال در صنعت نوشیدنی‌ها مخلوط‌سازی آن‌ها با پلاستیک مصرفی در تولید بطری‌ها، مانع از تغییر طعم و فساد آن‌ها در مدت نگهداری خواهد شد. نانوکپسول‌ها نانوذراتی با یک پوسته خارجی هستند که فضای خالی داخلی آن‌ها، جهت قرار گرفتن و حمل مواد مورد نظر مطلوب می‌باشد. از کاربردهای آن‌ها می‌توان به نگهداری ترکیبات فرار حساس به رطوبت و دما، حفظ مواد با فراریت بالا در طی ذخیره‌سازی محصولات غذایی پر عطر و طعم، انتشار ترکیبات چند فعاله، تغییر ویژگی طعم به منظور احساس ارگانولپتیکی طولانی، پایدار و حفاظت در برابر اکسیداسیون به خصوص مواد غذایی حساس به اکسید شدن، اشاره کرد که همگی در بهبود کیفیت و تولید غذای سالم مؤثر می‌باشند. نانو حسگرها در سیستم‌های کشاورزی، اطلاعات زیادی راجع به حرارت، دما، آب و هوا و آلوده‌کننده‌های شیمیایی، فراهم می‌کنند. از نانوبیوسنسورها در صنعت غذا برای تشخیص سموم غذایی حاصل از

طور کامل از خطر عوامل فساد درونی، بیرونی و اکسایشی حفظ شود.

اساساً غذاهای آماده برای نگهداری، انتقال، کنترل، ذخیره و استفاده، احتیاج به نوعی بسته‌بندی دارند، یعنی این که ۹۹/۸ درصد از همه‌ی اقلام غذایی و نوشیدنی تحت پوشش انواع بسته‌بندی‌ها قرار می‌گیرند. در دهه‌ی گذشته بسته‌بندی کنترل شده و بسته‌بندی هوشمند، رشد قابل توجهی یافته است و به عنوان محصولات جدید و فناوری‌هایی که با فرم‌های تجاری بسته‌بندی مواد غذایی و نوشیدنی در حال رقابت است، معرفی شده‌اند.

بسته‌بندی عبارتست از: محافظتی که سلامت کالای محتوی خود را از مرحله‌ی پس از برداشت و تولید تا مرحله‌ی مصرف (نگهداری یا انبارمانی) حفظ کند. [۷]

بسته‌بندی محافظ و نگهدارنده‌ی محصول در برابر عوامل مختلف مانند:

ضربه، شرایط اقلیمی (رطوبت و دما)، بو، گاز و میکروارگانیسم‌ها است.

شیشه، ظروف فلزی یا حلبی، آلومینیوم، پلاستیک‌ها، کاغذ، مقوا و کارتن از جمله موادی می‌باشند که برای بسته‌بندی مواد غذایی مناسب هستند.

۴- فناوری نانو و صنعت بسته‌بندی مواد غذایی:

از نانو به عنوان پتانسیل ایجاد انقلابی بزرگ در صنعت تولید مواد بسته‌بندی پلیمری و پلاستیکی نام برده می‌شود. افزایش کیفیت و طول عمر نگهداری مواد غذایی از بزرگ‌ترین اهداف تجاری است و بسته‌بندی مناسب، یکی از کلیدهای موفقیت در حفظ تازگی و کیفیت غذا می‌باشد. از دیدگاه صنعتی، بسته‌بندی موجب افزایش ماندگاری، پایداری شیمیایی و میکروبی و در کل ایمنی غذا است. در طی سال‌های اخیر، نانو نقش بسیار مهمی در صنعت غذا و نوشیدنی‌ها داشته است. گسترش فروش محصولات بسته‌بندی شده با استفاده از فناوری نانو، موجب شده

است که فروش این بسته‌بندی‌ها از ۱۲۰ میلیون دلار در سال ۲۰۰۲ به ۶۸۷ میلیون دلار در سال ۲۰۰۴ برسد. [۱۰ و ۹]

فناوری نانو به طراحان اجازه‌ی تغییر در ساختار مواد در سطح مولکولی می‌دهد (تا بتواند مواد با خصوصیات مطلوب‌تری تولید کنند). با نانواستراکچرهای (۶) متفاوت، پلاستیک‌ها به گازهای مختلف/ بخار آب نفوذپذیر می‌شوند که برای نگهداری میوه‌ها و سبزیجات، نوشیدنی‌ها و دیگر غذاها مناسب است. با استفاده از نانو پارسیکل‌ها (۷)، شیشه و بسته‌بندی‌هایی تولید می‌شود که بسیار سبک هستند و مقاوم به حرارت‌های بالا می‌باشند. همچنین عملکرد مکانیکی و گرمایی قوی‌تر و جذب کمتر گاز را دارند. این خصوصیات، طول مدت نگهداری ماده‌ی غذایی را برای حفظ رنگ و بو، انتقال و استفاده‌ی آسان‌تر بالا می‌برد. علاوه بر این، فیلم‌های نانواستراکچر در جلوگیری از ورود باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها برای اثر بر روی غذا مؤثر می‌باشند. یکی از هدف‌های بسته‌بندی، کاهش فساد ماده‌ی غذایی می‌باشد که نانو تکنولوژی با استفاده از نانو سنسورها برای ردیابی پاتوژن‌ها و آلودگی به ما امکان می‌دهد که کالاها را از لحاظ کیفیت بررسی کنیم و همچنین فراهم‌کننده‌ی روش‌های کنترلی جدید می‌باشد. با توسعه‌ی نانو سنسورها در بسته‌بندی، مصرف‌کنندگان از درون ماده‌ی غذایی اطلاع پیدا می‌کنند. این سنسورها به ما می‌توانند بگویند که آیا ماده‌ی غذایی در حال فساد است و یا اینکه ارزش اصلی غذایی آن را مشخص می‌کند. بعد از یک مدت طولانی، فناوری نانو ساخت و تولید در صنعت بسته‌بندی را تغییر خواهد داد. پردازش اتم‌ها و مولکول‌ها به بازیابی غیرقابل انتشار و حفظ منابع طبیعی کمک خواهد کرد از آنجایی که توسعه‌ی پیوند بین فناوری نانو و بسته‌بندی، منجر به تولید بطری‌ها، کارتن‌ها، فیلم‌ها و دیگر موادی شده است که

۵-۱- خواص ممانعت‌کنندگی بسته‌بندی‌های غذایی:

خاصیت ممانعت‌کنندگی یکی از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین چالش‌های صنعت بسته‌بندی غذا می‌باشد. اصولاً توانایی لایه‌ها و پوشش‌ها در جلوگیری از انتقال گازها، رطوبت، عطر و طعم، رنگ و چربی‌ها را خواص ممانعتی (۱۱) که برحسب قابلیت نفوذ (۱۲) بیان می‌شود:

ضخامت لایه با پوشش \times مقدار ماده منتقل شده
قابلیت نفوذ \approx تفاوت فشار در دو طرف لایه \times
سطح پوشش \times تعداد روز (۱۳) نفوذ نور، رطوبت و گازها در طول زمان نگهداری و خواص حسی محصولات غذایی بسته‌بندی شده مؤثر بوده و آن را تغییر داده و سبب بروز فساد خواهد شد. نانوکامپوزیت‌ها خواص ممانعت‌کنندگی مناسبی دارند که زمینه کاربرد آن‌ها را به عنوان اجزای بسته‌ها در صنعت بسته‌بندی فراهم می‌کند. نانو لوله‌ها و نانوذرات به عنوان فیلتر (۱۴) در ساختار مواد بسته‌بندی به کار می‌روند تا علاوه بر خواص ممانعت‌کنندگی، خواص حرارتی، ساختار شیمیایی، هدایت الکتریکی و مقاومت به آتش را بهبود دهند.

۵-۲- نفوذپذیری به گازها در مواد بسته‌بندی:

مهاجرت گازها از داخل بسته‌بندی، یکی از شاخص‌های بحرانی در بسته‌بندی برای افزایش عمر نگهداری غذا است؛ به عنوان مثال خروج CO_2 از بطری‌های نوشیدنی‌های گازدار، باعث کاهش عمر نگهداری و تغییر مزه آن‌ها می‌شود. نیاز به نفوذپذیری کم در بعضی از بسته‌بندی‌ها، یکی از دلایل به کارگیری نانوذرات در تولید آن‌هاست. فناوری استفاده از نانو ذرات خاک رس (۱۵) در تولید مواد پلیمری می‌تواند خصوصیات ممانعت-کنندگی اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، رطوبت و عطر و طعم آن‌ها را بهبود دهد. کاربرد نانوکامپوزیت‌ها به صورت یک لایه در بسته‌بندی‌های کاغذی، کارایی

مستحکم‌تر، بهتر در نگهداری مواد غذایی و نوشیدنی، بسیار سبک و مقاوم به حرارت می‌باشند، بعضی از کارشناسان بسته‌بندی می‌گویند که ماشین‌آلات باید تغییرات کوچکی کنند تا با فناوری جدید سازگار شوند.

اثر تقویتی کاربرد نانوذرات بر خصوصیات پلیمری بسته‌بندی‌های غذایی، ارتباط مستقیمی با توزیع یکنواخت این ذرات در ماتریکس پلیمری دارد، لذا حضور تجمعی نانوذرات و عدم یکنواختی توزیع آن‌ها در ماتریکس پلیمر (۸) اثر چندانی در بهبود خواص پلیمری ندارد. در نتیجه پس از ورود نانو ذره به ماتریکس پلیمر، مراحل ذیل اجرا می‌شود:

- ۱- مرحله اینترکلشن (۹) یا پخش‌شوندگی نانوذراتی مثل خاک رس در ماتریکس پلیمری؛
- ۲- مرحله اکس‌فلیشن (۱۰) یا توزیع مناسب نانوذرات در لایه لایه پلیمر. [۱۱]

۵- کاربردهای نانو در صنعت بسته‌بندی غذا:

مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی عبارتند از:

- تغییر نفوذپذیری مواد بسته‌بندی در جهت افزایش ماندگاری مواد غذایی؛
- بهبود خاصیت ممانعت‌کنندگی بسته‌بندی با تنظیم ورود و خروج گازها به بسته مواد غذایی؛
- بهبود خواص مکانیکی و مقاومت حرارتی؛
- مقاومت به ظهور ترک‌های کوچک در بسته‌بندی در اثر باز و بسته شدن یا منقبض شدن آن‌ها؛
- تولید بسته‌بندی‌های ضد میکروب؛
- تولید سطوح هوشمند برای بسته‌بندی که حساس و نشانگر به تغییرات میکروبی و بیوشیمیایی غذاها باشند؛
- ردیابی و کنترل بسته‌های غذایی با برچسب‌های مخصوص. [۱۱]

آن‌ها را در صنایع تولید آبمیوه، محصولات لبنی و نوشیدنی‌های الکلی و غیر الکلی افزایش می‌دهد. پلیمرهای حاوی نانوذرات اکسید سیلیکون، اثر ممانعت‌کنندگی زیادی در برابر نفوذ گازها (اکسیژن و دی‌اکسیدکربن) و رطوبت داشته، شفافیت خوبی به بسته‌بندی می‌دهند (۹۳ درصد نور را از خود عبور می‌دهند) که به نام بسته‌بندی‌های مقاوم به هوا معروفند و در صنایع بسته‌بندی محصولات دامی خام استفاده می‌شوند. فویل‌ها یا پوشش‌های پلاستیکی، یکی دیگر از مواد بسته‌بندی کاربردی در صنعت غذا می‌باشند که با قرارگیری در شرایط نامساعد محیطی، خصوصیات نامطلوبی از خود نشان می‌دهند. استفاده از لایه‌های نانو کامپوزیتی و یا روش‌های لایه‌گذاری در اندازه میکرو (۱۶) که گاه منجر به تولید فویل‌هایی تا ۵۰ لایه می‌شود علاوه بر افزایش خصوصیات عملکردی، عمر محصولات غذایی را نیز زیاد می‌کند. پلیمرهایی با نفوذپذیری بالا به گازها، بیشتر برای محصولات غذایی تازه بسته‌بندی شده، مورد استفاده هستند. این بسته‌بندی‌ها با کارایی بالا نسبت به نقل و انتقال گازها به بسته‌بندی‌های نفوذپذیر (۱۷) معروفند. در ساخت این پلیمرها از رزین‌های پلی‌الفین (۱۸) ذوب شده، فیلرهای غیرآلی خنثی و پایدارکننده (۱۹) استفاده شده و فیلمی با حفرات ریز، یکنواخت و قابلیت عبور به اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و سایر گازها تولید می‌شود. گروه دیگری از این پلیمرها نسبت به گازها نفوذناپذیر می‌باشند ولی نفوذپذیری بالایی به بخار آب دارند. فیلم‌های بسته‌بندی می‌توانند با ترکیبات جذب‌کننده انواع گازها و یا ترکیبات تغییردهنده اتمسفر داخل بسته‌بندی مخلوط شوند و به ماندگاری بهتر مواد غذایی کمک کنند.

۵-۴- بسته‌بندی‌های هوشمند:

بسته‌بندی‌هایی که در آن نانومتریال (۲۱) وجود دارد، می‌تواند بسته‌بندی هوشمند گفته شود که قادر است به شرایط محیطی پاسخ دهد، یا خودش را بازسازی کند و یا به مصرف‌کننده آلودگی یا حضور پاتوژن‌ها را اطلاع دهد.

بسته‌بندی کنترل شده، می‌تواند برای کنترل ماده‌ی غذایی و انتقال اطلاعات از کیفیت ماده‌ی غذایی به کار رود. این نوع بسته‌بندی می‌تواند با تغییر رنگ به مصرف‌کننده از چگونگی حالت غذای

بسته‌بندی‌های ضد میکروب به منظور ایجاد امنیت غذایی اخیراً مورد توجه واقع شده‌اند. مواد غذایی خام

۵-۳- بسته‌بندی‌های ضد میکروبی:

بسته‌بندی‌های ضد میکروب به منظور ایجاد امنیت غذایی اخیراً مورد توجه واقع شده‌اند. مواد غذایی خام

تازه اطلاع دهد و اگر غذا به علت تغییر دما یا نقصی در بسته‌بندی فاسد شود آن را نشان می‌دهد.

محققان امیدوارند که بتوانند با استفاده از ترکیبات مولکولی متغیر شیر که در شروع فساد مؤثرند در واکنش با نانوپارتیکل‌های (۲۲) قرار گرفته در بسته‌بندی، تغییر رنگ ایجاد کنند. سود چنین فناوری‌ای در این است که مصرف‌کننده، سریع می‌تواند هر گونه کاهش در کیفیت غذا را تشخیص دهد.

حتی محققین آزمایشاتی بر روی موادی انجام داده‌اند که تغییر در شاخص‌های محیطی را نشان می‌دهد. مثلاً یک کارتن بستنی را تصور کنید که ساختار مولکولی تشکیل‌دهنده‌ی آن برای جلوگیری از ورود گرما به محتویاتش سفت و محکم‌تر شود به صورتی که بتوان آن را در یک روز تابستانی گرم، پشت اتومبیل حمل کرد.

۵-۵- بسته‌بندی کنترل شده:

بسته‌بندی کنترل شده، مربوط به طول مدت نگهداری مواد غذایی و کیفیت آن می‌باشد. بسته‌بندی کنترل شده برای کاهش سطح اکسیژن و یا اضافه کردن نگهدارنده و یا چاشنی‌های دارای اثر متقابل با ماده‌ی غذایی است. غذاهای تازه، گاهی اوقات به مرور زمان در بسته‌بندی‌شان ایجاد رطوبت و گاز می‌کنند و شرایط را برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کنند. مثلاً اکسیژن، می‌تواند موجب کپک زدن تکه‌های نان و پیتزا شود. همچنین موجب می‌شود آب سبزیجات فاسد شود و دیگر غذاها تازگی خود را از دست بدهند. بعضی از انواع بسته‌بندی کنترل شده، گازهای رها شده از غذا را جمع‌آوری می‌کنند که خطر مسمومیت غذایی را کاهش می‌دهند و همچنین کمک می‌کنند تا غذا برای مدت طولانی‌تری، مطلوب باقی بماند.

۶- نانومواد استفاده شده در صنعت بسته‌بندی مواد

غذایی:

فناوری نانو با ایجاد نانومواد، باعث افزایش خصوصیات مکانیکی و مقاومت به گرمای پوشش-های بسته‌بندی مواد غذایی می‌شوند و همچنین مواد غذایی را از اثرات مواد شیمیایی و هجوم باکتری‌ها حفظ می‌کنند.

فتوکاتالیز یکی از این کاربردها با استفاده از نانوپارتیکل‌ها می‌باشد. فتوکاتالیز، واکنشی است که در آن مواد شیمیایی در حضور نور و خودشان که در طول واکنش مصرف نمی‌شوند، انجام می‌گیرد. در حضور نور UV (۲۳) الکترون‌های والانس در نانوپارتیکل برانگیخته می‌شوند که به صورت شارژ مثبت یا منفی، اکسیدایزهای (۲۴) قوی‌ای می‌باشند. وقتی مواد مضر (حشره‌کش‌ها) به بارهای مثبت می‌چسبند، به صورت اجزای خطرناکی تجزیه می‌شوند. همچنین الکترون‌های برانگیخته در تماس با نانوپارتیکل‌ها که به باکتری‌ها می‌توانند متصل شوند، به عنوان ضدعفونی‌کننده عمل می‌کنند که می‌توانند در بسته‌بندی میوه‌ها و صنایع غذایی کاربرد داشته باشند.

فرایند تجزیه‌ای فتوکاتالیز در زمینه‌ی فرایند تصفیه آب، عمومیت دارد. همچنین برای استفاده در تصفیه، آلودگی‌زدایی و بوزدایی هوا، از بین بردن مواد آلی، سلول‌های سرطانی، باکتری‌ها و ویروس‌ها هم کاربرد دارد.

اکسیدهای فلزی ZnS, SnO_2, ZnO, TiO_2

برای استفاده در فتوکاتالیز به کار می‌روند. از خواص مهم این نانوپارتیکل‌ها، داشتن قدرت ضد میکروبی بالای آن‌ها می‌باشد که معمولاً با افزایش نسبت سطح به حجم افزایش می‌یابد. اصل فتوکاتالیز در از بین بردن اثرات سمی حشره‌کش‌ها که در شرایط عادی، مدت زمان زیادی طول می‌کشد تا تجزیه شوند، کاربرد دارد.

۶-۱- نانوکامپوزیت‌ها:

فناوری نانوکامپوزیت با آخرین یافته‌های بزرگ علمی در بسته‌بندی توضیح داده می‌شود. این فناوری برای بهبود انجام جلوگیری از نفوذ گازهایی مانند اکسیژن و دی‌اکسید کربن توسعه یافته است. همچنین افزایش مقاومت به اشعه‌های ماوراء بنفش و اضافه شدن قدرت، سفتی، پایداری و مقاومت به گرما، پلاستیک‌های جدید تولید شده طول مدت نگهداری بالاتری دارند و کمتر احتمال خرد شدن و شکستگی دارند. با کامل شدن این فناوری، پلاستیک‌های تولید شده با خواص مفید برای استفاده در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، نوشیدنی و دارویی کاربرد دارند. مناسب در پلیمر ماتریکسی به کار می‌رود، ارزان نمی‌باشد.

عمومیت نانوکامپوزیت‌ها از این حقیقت ناشی می‌شود که این مقدار کم یافته، مسیر طولانی‌ای طی کرده است. نانوکامپوزیت‌ها ایجاد خواص ممانعتی در بو، رطوبت، دی‌اکسید کربن و اکسیژن می‌کنند و همچنین افزایش مقاومت به گرما، سختی و نگهداری شفافیت فیلم از جمله خصوصیات دیگر آن می‌باشد. در صنعت بسته‌بندی، این مواد جدید و کاربردهای تجاری آن بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد.

از جمله مزایای نانوکامپوزیت‌ها، علاوه بر نشان دادن فساد و پیامدهای ناشی از آن مانند مزه و طعم نامطبوع، وزن کم و قابلیت بازیافت بالا می‌باشد و این به تولیدکنندگان امکان می‌دهد تا هزینه‌های تولید و انتقال را با کاهش مقدار مواد به کار رفته در بخش‌های بسته‌بندی تا حدودی کاهش دهند.

۶-۲- پوشش پلاستیکی نانولاک:

دانشمندان، پوشش پلاستیکی با کمک فناوری نانو ساخته‌اند با نام تجاری (۲۵)، این پوشش شفاف با پایه‌ی آبی در اصل برای گوشت، پنیر و غذاهای اسنک به کار می‌رود.

۶-۳- نانوبارکدها:

نانوبارکدها به شکل نانوپارتیکل‌های فلزی استوانه‌ای با قطر ۵۰۰-۲۰ نانومتر و طول ۱۵-۰/۴ نانومتر می‌باشند. این نانوبارکدها بر روی صفحات فلزی ساخته می‌شوند که در میان آن‌ها فلزات *Ni, Pt, Au* قرار می‌گیرد. این ذرات نانوبارکد برای تشخیص دقیق محصولات کشاورزی کاربرد دارد و همچنین اجازه ردیابی قسمت‌هایی که قبلاً با بارکدهای معمولی امکان‌پذیر نبود، به ما می‌دهد.

۶-۴- بیوسنسورها (۲۶) یا نانوسنسورها (۲۷):

محصولات لبنی، نان و دیگر مواد غذایی، محیط کشت مناسبی برای رشد سریع بسیاری از میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. باکتری‌ها، علت اصلی فساد مواد غذایی هستند. وجود بوی گندیدگی، دلیلی بر فساد ماده‌ی غذایی است. بینی انسان‌ها قوه‌ی تشخیص هزاران بو را دارد که معمولاً برای تشخیص فساد مواد غیرکارا می‌باشد؛ اما استفاده از این خاصیت به کمک وسایل ردیابی کننده‌ی این بوها که ما عموماً به عنوان بیوسنسورها می‌شناسیم، می‌تواند نیاز به فرایندهای مواد غذایی را کمتر کند. کاربردهای آن شامل ردیابی آلودگی در تجهیزات آبی، مواد خام غذایی، محصولات غذایی علاوه بر خط‌های تولید می‌باشد.

۶-۴-۱- سنسورهای جاسازی شده در بسته‌بندی

مواد غذایی و فناوری زبان الکترونیکی:

تعدادی از دانشمندان بر روی فیلم‌های نانوپارتیکل و دیگر بسته‌بندی‌ها با سنسورهای جاسازی شده در آن‌ها تحقیق می‌کنند که قادرند پاتوژن‌های غذایی را ردیابی کنند و با تغییر رنگ در بسته‌بندی به مصرف‌کننده اطلاع‌دهنده که یا غذا در حال آلوده شدن است و یا فساد آن شروع شده است. این وسیله می‌تواند قسمت‌هایی را که به

سنسور تمایل دارند در هر تریلیون ردیابی کنند. این فناوری بالقوه، می‌تواند در محصولاتمانند پوشش گوشت‌ها قرار گیرد تا با تغییر رنگ، شروع فساد را نشان دهد.

۶-۲-۴- استفاده از سنسورهای بسته‌بندی مواد غذایی در کاربردهای دفاعی و امنیتی:

گسترش سنسورهای کوچک پیشرفته برای ردیابی پاتوژن‌ها، فقط محدود به کشاورزی و تا اندازه‌ی زیادی فرایندهای مواد غذایی نخواهد شد. از نظر ارتش آمریکا، این یک موضوع، امنیت ملی است. با فناوری‌های موجود، آزمون آلودگی میکروبی مواد غذایی دو تا هفت روز طول می‌کشد و سنسورهایی که امروزه برای این منظور به کار می‌رود آنقدر بزرگ است که حمل و نقل آن به آسانی صورت نمی‌گیرد. تعدادی از محققین در آمریکا، سنسورهایی طراحی کرده‌اند که سریع و آسان پاتوژن‌ها را ردیابی می‌کند که نقش مهمی در اتفاقات حمله تروریستی بر تدارکات مواد غذایی خواهد داشت. [۱۳۱۲]

۷- فناوری نانو و پلیمرهای زیست تجزیه پذیر:

بخش عظیمی از مواد کاربردی در صنعت بسته‌بندی بر پایه محصولات پتروشیمی است که عملاً زیست تجزیه ناپذیر می‌باشند و محیط زیست و منابع آبی را آلوده می‌کنند. کاهش ضایعات بسته‌بندی‌ها با به کارگیری نسل جدید از پلاستیک‌های زیستی (۲۸) که از منابع قابل بازگشت یا تجدیدپذیر کشاورزی تولید می‌شوند، مورد توجه واقع شده است.

پلیمرهای زیست تجزیه پذیر می‌توانند بسته به منبع تولیدشان به سه گروه تقسیم شوند:

الف- پلیمرهای طبیعی (پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها، پلی پپتیدها و پلی نوکلئوتیدها)؛

ب- پلیمرهای تولید شده به روش شیمیایی با به کارگیری مونومرهای قابل تجدید؛

ج- پلیمرهای تولید شده به وسیله میکروارگانیسم‌ها یا باکتری‌های تغییر ژنتیکی یافته (پلی هیدروکسی بوتیرات، سلولزهای باکتریایی، زانتان)(۲۹).

برخی معضلات ناشی از به کارگیری پلیمرهای زیست تجزیه پذیر، عملکرد نامناسب، دشواری تولید و قیمت تمام شده آن‌ها می‌باشد. فیلم‌های زیست تجزیه پذیر برای بسته‌بندی غذا خاصیت مانع‌کنندگی پایین و خواص مکانیکی ضعیفی دارند. به کارگیری فناوری نانو در این پلیمرها به بهبود خواص ساختمانی کمک می‌کند. نانوذرات و نانولوله‌ها خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، خواص مانع‌کنندگی، حرارتی و مکانیکی فیلم‌های زیست تجزیه پذیر را بهبود می‌بخشند. بهینه‌سازی توزیع نانوذرات و نانولوله‌ها در ساختار بسته‌ها، عبور مولکول‌های هوا و گازها را به تأخیر می‌اندازد. نشاسته و مشتقات آن، سلولز، پلی لاکتیکی اسید (PLA)(۳۰)، پلی بوتیلن سوکسینات (PBS)(۳۱)، پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB)(۳۲)، و پلی استر آلیفاتیک از این دسته پلیمرها هستند.

استفاده از نشاسته و مشتقات آن به دلیل زیست تجزیه پذیری و قیمت پایین در صنعت بسته‌بندی رو به افزایش است. نشاسته کاملاً در محیط زیست تجزیه می‌شود و ترکیب آن با پلاستیک‌های غیرقابل برگشت به طبیعت، خواص تجزیه‌پذیری آن‌ها را افزایش می‌دهد. نشاسته به عنوان یک ماده مخصوص بسته‌بندی به تنهایی نمی‌تواند به صورت پوشش یا فیلم با خصوصیات فیزیکی مطلوب درآید. کاربرد نانوذرات در تولید فیلم‌های نشاسته‌ای منجر به تولید بسته‌بندی‌هایی مطلوب از نظر خواص فیزیکی و مقاومت به عبور گازها می‌شود. در تولید پلیمرهای آبدوست همچون نشاسته یا سایر ترکیبات پلی هیدروکسی با وزن مولکولی کم در یک اکسترودر از نرم‌کننده‌هایی مثل پلی اترها، گلیسرول و آب استفاده می‌شود. نرم‌کننده‌ها به طور مؤثری در

تولید پوشش از نشاسته، باندهای هیدروژنی را کاهش می‌دهند و ایجاد پایداری در خواص محصول می‌کنند.

نسل دیگر فیلم‌های بسته‌بندی زیست تجزیه‌پذیر، در سال‌های اخیر با استفاده از نانوکامپوزیت‌های بر پایه نشاسته و ذرات سیلیکاتی خاک رس تولید شده است. پرکننده‌های نانویی خاک رس به علت در دسترس بودن، قیمت پایین و سازگاری با محیط زیست از اهمیت قابل توجهی برخوردار هستند. در نانوکامپوزیت‌های نشاسته-خاک رس به دلیل پراکندگی اجزاء پرکننده در مقیاس نانومتری درون ماتریس پلیمر، مقاومت در برابر نفوذ گازها و پایداری حرارتی و نوری، به طور چشمگیری نسبت به نشاسته خالص افزایش می‌یابد. در کشور ما نیز وجود منابع انبوه تولید نشاسته و منابع طبیعی خاک رس امکان تولید فیلم‌های بسته‌بندی بر پایه نشاسته و خاک رس را فراهم می‌نماید.

از این نوع فیلم‌ها برای ساخت ظروف بسته‌بندی میوه و سبزی، اسنک‌ها و محصولات خشک استفاده می‌شود.

پلی‌لاکتیک اسید پلیمری زیست تجزیه‌پذیر با پتانسیل بالا برای اهداف تجاری است. لاکتیک اسید مونومر پلی‌لاکتیک اسید در طی واکنش‌های تخمیری با مصرف کربوهیدرات‌ها تولید می‌شود. منشأ این کربوهیدرات‌ها، محصولات کشاورزی همچون ذرت، گندم و ملاس است. خصوصیات PLA بستگی زیادی به نسبت فرم‌های L و D مونومرهای لاکتیک اسید دارد.

PHB یا پلی‌هیدروکسی بوتیرات توسط تعداد زیادی از باکتری‌ها به عنوان منابع انرژی و کربن تولید می‌شود. این ترکیب زیست تجزیه‌پذیر نفوذپذیری کمی به آب دارد و از نظر خواص به پلی‌اتیلن با دانسیته کم (LDPE)(۳۳)، شبیه است. مهم‌ترین نقطه ضعف این محصول برای کاربرد تجاری، فرایند پیرشدگی نامطلوب است. استفاده از نانوذرات در

پلی‌لاکتیک اسید، خواص گرایش‌های کریستالیزاسیونی و ضریب مدول یانگ را افزایش می‌دهد و دمای عبور شیشه‌ای را بسیار جزئی بالا می‌برد. [۱۱]

۸- نتیجه‌گیری:

پیوستگی‌هایی که فناوری نانو می‌تواند با سایر علوم داشته باشد، آن را برای به کارگیری بهتر و تأثیرات بالقوه بیشتر آماده کرده است. در این میان صنایع غذایی و بسته‌بندی مواد غذایی از این علم به نفع بشر استفاده‌های فراوانی برده است. در کل استفاده از فناوری نانو در بسته‌بندی مواد غذایی را می‌توان به چند مورد زیر خلاصه کرد:

بهبود نوع جنس مورد استفاده در بسته‌بندی با استفاده از نانو کامپوزیت‌ها. (بهتر شدن نفوذپذیری به بعضی از گازها، جلوگیری از ورود گازهای مضر مانند CO₂، اکسیژن و مقاوم به حرارت و ضربه، قابل بازیافت، شفاف و سبک، توسعه‌ی سطوح ضد میکروبی که این‌ها همه مواردی از کاربردهای بسته‌بندی کنترل شده می‌باشد که بیشتر مربوط به افزایش طول مدت نگهداری ماده غذایی است.).

کنترل کیفیت ماده غذایی و آگاهی مصرف‌کننده از فساد ماده غذایی و یا آلودگی به پاتوژن‌ها از طریق واکنش‌های بیوشیمیایی با نانوسنسورهای جاسازی شده در بسته‌بندی که معمولاً با تغییر رنگ همراه است. این مورد در بسته‌بندی هوشمند کاربرد دارد. در اثر وجود آلودگی، ماده محافظ از بسته‌بندی آزاد می‌شود که در حقیقت نوعی از بسته‌بندی هوشمند می‌باشد.

۹- پانوش:

۱. Food processing
۲. Food engineering
۳. Food packaging
۴. Food safety

- ۳۱. polybutylene succinate
- ۳۲. Polyhydroxy butyrate
- ۳۳. Low density polyethylene

- ۵. Foods functional
- ۶. Nano structure
- ۷. Nano particles
- ۸. Polymer - matrix
- ۹. Intercalation
- ۱۰. Exfoliation
- ۱۱. Barrier properties
- ۱۲. Permeability
- ۱۳. Day
- ۱۴. Filler
- ۱۵. Nanoclay
- ۱۶. Microlaying techniques
- ۱۷. Breathable packaging
- ۱۸. Polyolefin
- ۱۹. Stabilizers
- ۲۰. Self assembly
- ۲۱. Nano material
- ۲۲. Nano particles
- ۲۳. Ultraviolet
- ۲۴. Oxidse
- ۲۵. Nanolok
- ۲۶. Bio sensos
- ۲۷. Nano sensors
- ۲۸. Biological
- ۲۹. Xanthan
- ۳۰. Poly lactic acid

۱۰- منابع:

۱. S. S. Ray, M. Bousmina, "biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the ۲۱st century materials world", progress in materials science, ۵۰, ۹۶۲-۱۰۷۹, ۲۰۰۵
۲. M., Saladin, " nanotechnology for developing world", chaos, solitons and fractals, elsevier, ۳۰, ۷۶۹-۷۷۳, ۲۰۰۶.
۳. ح. افشاری، "فناوری نانو و صنایع غذایی"، اولین همایش کاربرد فناوری نانو در کشاورزی، مؤسسه تحقیقات نهال و بذر، کرج، ۱۳۸۵.
۴. ع. سلطانی، "نانو تکنولوژی و جمهوری اسلامی ایران، بایدها و نبایدها، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۱۳۸۰.
۵. ح. خادام، جای پای نانو تکنولوژی در علوم، "معاونت فناوری ارتباطات و اطلاعات آموزشی وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۸۵.
۶. T., Harper, "Nano technology in food industry", www.Cientifica.com, ۲۰۰۶.
۷. A. Lacoste, M. S., Karen, D., Zumbrunnen, L. Y., Kit. "Advancing controlled release packaging through smart blending", Technol. Sci. ۱۸, ۷۷-۸۶, ۲۰۰۵.
۸. A., Karpilov, "Nanomaterials in food packaging", packaging strategies, May ۲۸, ۲۰۰۸.
۹. T., Bratschi, L., Feldmann, c., Hafliger and c., Meili, "A marketing report on new business in food and packaging, excellence in food", ۲۰۰۵.
۱۰. J., Kuzma and P., Verhage, "Analysis of early stage agrifood nanotechnology research and development", center for science technology and public policy (CSTPP) university of minnesota, ۲۰۰۵.
۱۱. A., Sorrentino, G., Gorrasi and V., Vittoria, "Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging application", trends in food science & technology, ۱-۱۲, ۲۰۰۶.

۱۲. L. A. Brody, "Nano nano" food packaging technology, foodtechnology, ۵۷, ۵۲-۵۵. ۲۰۰۳.

۱۳. S. B., Fabio, L., Deepa, B., Erin, K., Douglas, S., Abdallah, P., Singer, "Nanotechnology and the developing word", PLOS medicine, ۲, ۳۰۰-۳۰۴, ۲۰۰۵.

آدرس نویسندگان:

تهران - نارمک خیابان شهید آیت، خیابان شهید قانع عبادی
استاد، بین طاهری و حاج آغمیونی پلاک ۸۶ واحد ۷.