

## پیشرفت نانوتکنولوژی در جهت بهبود قابلیت نگهداری جیره‌های حیاتی و عملیاتی

سیما طالب زاده<sup>۱</sup>، \*انوشه شریفان<sup>۲</sup>

### چکیده

فرایند بسته بندی مرحله‌ای ضروری برای حفظ خصوصیات ارگانولپتیک، تغذیه‌ای و بهداشتی مواد غذایی از زمان تولید تا مصرف است. تجمع انواع مواد غیرقابل تجزیه به خصوص بقایای انواع مختلف مواد بسته بندی در طبیعت سبب شده که در سال‌های اخیر استفاده از پلیمرهای زیست تخریب پذیر به شدت مورد توجه قرار گیرد؛ همچنین اهمیت علمی نانوکامپوزیت‌ها به دلیل خواص بهبود یافته آنها در حال افزایش است. نانو کامپوزیت‌های پایه پلیمری به دلیل مزایایی چون خواص پیشرفته مکانیکی، حرارتی، ویژگی‌های نفوذ ناپذیری، مقاومت در برابر خوردگی و کم هزینه بودن به طور گسترده در فناوری‌های مدرن استفاده می‌شوند. در تحقیق حاضر، مروری بر انواع ترکیبات بسته بندی و نانوفیلرهای کاربردی که نسل جدیدی از بسته بندی مواد غذایی آماده مصرف هستند، به منظور بهره مندی از ویژگی‌های این سیستم در حفظ کیفیت جیره‌های غذایی فردی که امری اجتناب ناپذیر است، پرداختیم.

کلمات کلیدی: نانوتکنولوژی، نانوکامپوزیت، بسته بندی مواد غذایی

(سال بیستم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷، مسلسل ۶۴)  
تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۲۸

فصلنامه علمی پژوهشی ابن سینا / اداره بهداشت، امداد و درمان نهجا  
تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۷

۱. کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی  
۲. استادیار، تهران، ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی  
(مؤلف مسئول) a.sharifan.s.t@gmail.com

## مقدمه

فاکتورهای تغذیه‌ای نقش قابل توجهی در سلامت جسمانی، قدرت بدنی، تازگی و نشاط روح و تحمل شرایط سخت و استقامتی، کنترل وزن، کاهش خستگی و افزایش قدرت حافظه دارد؛ به همین دلیل تغذیه نظامیان یکی از چالش‌های مهم نیروهای نظامی و یکی از اولویت‌های مهم در تمام کشورهای جهان است. جیره‌های غذایی عملیاتی، سهم غذای کافی بسته‌بندی شده‌ای هستند که برای یک فرد نظامی در عملیات و رزمایش‌ها و همچنین شرایط بحران تهیه شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. جیره‌های غذایی با توجه به وضعیت خاص نگهداری از نظر زمانی و دمایی و از لحاظ حجم، کالری، ترکیبات ماکرومولکولی و مواد مغذی متفاوت بوده و به منظور کاربردی بودن در موقعیت‌های خاص باید بهترین نوع ترکیب را به طور قابل قبولی مشخص نموده و بالاترین ماندگاری را برای آنها تأمین کرد تا کیفیت مناسب برای تثبیت توانایی‌های فیزیکی و جسمانی و سیستم ایمنی بدن فرد در سطح مطلوب را داشته باشد.

## بسته‌بندی مواد غذایی

هنگامی که مواد غذایی بلافاصله پس از تولید مصرف نمی‌شوند باید از آلودگی، اکسیژن، نور، پاتوژن، رطوبت و ... محافظت شوند که بسته‌بندی مناسب این وظیفه را بر عهده دارد. ارزان، سبک و غیرقابل نفوذ بودن در زمان انبارداری و حمل و نقل و پایداری فیزیکی مناسب فاکتورهایی هستند که در مورد ماده بسته‌بندی اهمیت دارند. هیچ ماده بسته‌بندی به طور کامل در مقابل گازها و فشار بخار غیر قابل نفوذ نیست، مهاجرت و نفوذناپذیری دو فاکتور مهم و کلیدی در بسته‌بندی است [۱]. به طور مثال بسته‌بندی قدیمی و رایج مورد استفاده برای غذاهای آماده مصرف، فویل آلومینیوم است که سه سال عمر مفید دارد ولی مشکلاتی مانند ترک خوردگی و سوراخ شدن خصوصاً زمانی که در دمای فریزر قرار گیرد وجود دارد [۲]. همچنین اکثر موادی که برای بسته بندی مواد غذایی

استفاده می‌گردند تجزیه‌ناپذیر بوده و برای محیط زیست مشکلاتی ایجاد می‌کنند.

## پلیمر و بیوپلیمرها

پلیمرها کاربرد گسترده‌ای در بسته‌بندی و بسیاری از صنایع دیگر پیدا کرده‌اند. روش‌های مختلف اصلاح برای بهبود ویژگی‌های آنها بدون تغییر در خواص فیزیکی آن توسعه یافته است. اخیراً یک روش جالب به نام آمینولیز گزارش شده است که سطح پلیمر را تغییر داده و خاصیت هیدروفیلی و سازگاری زیستی را افزایش می‌دهد [۳]. آمینولیز سبب ایجاد محصول با قابلیت ترشوندگی بهبودیافته، و رنگ پذیری می‌شوند [۴]. پلیمرهای مصنوعی شامل پلی‌لاکتیک اسید (PLA)<sup>۱</sup>، پلی‌کاپرولاکتون (PCL)<sup>۲</sup>، اسید پلی‌گلیکولیک (PGA)<sup>۳</sup>، پلی‌وینیل الکل (PVA)<sup>۴</sup>، پلی‌وینیل کلراید (PVC)<sup>۵</sup>، پلی‌اتیلن (HDPE و LDPE)<sup>۶</sup>، پلی‌پروپیلن (PP)<sup>۷</sup>، پلی‌بوتیلن، پلی‌استایرن (PS)<sup>۸</sup> و پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)<sup>۹</sup> در صنایع غذایی کاربرد پیدا کرده‌اند. در بین آنها PET نفوذناپذیری بهتری نسبت به اکسیژن دارد [۵]. همچنین دارای مقاومت خوبی در برابر گرما، حلال‌ها، روغن‌های معدنی و اسیدها است. شایع‌ترین پلیمر مصنوعی که در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود، PLA است. علاوه بر این، پلی‌اتیلن ترفتالات، پلی‌اتیلن و پلی‌استایرن نیز معمولاً استفاده می‌شوند [۶]. مزایای پلیمرهای مصنوعی عبارتند از دوام، انعطاف‌پذیری، براق بودن، شفافیت، استحکام کششی و پلی‌پروپیلن با مقاومت شیمیایی عالی، چگالی کم، نقطه ذوب بالا [۷]. نفوذپذیری پلیمرها در برابر اکسیژن و رطوبت به

1. polylactic acid
2. Polycaprolactone
3. Polyglycolic acid
4. Polyvinyl alcohol
5. Polyvinyl chloride
6. High- & Low- density polyethylene
7. Polypropylene
8. Polystyrene
9. Polyethylene terephthalate

### نانوفیلرها

افزودن نانوفیلرها (تقویت کننده‌ها) به یک ماتریس پلیمری، کارایی آنها همچون خواص مکانیکی فشاری و خمشی را بر پایه خواص و طبیعت نانوفیلر افزوده شده به طرز چشمگیری و به سادگی افزایش داده و رفتارهای جدیدی را ارائه می‌کند که در سوبستراهای بدون فیلر وجود ندارد. اکثر مواد تقویت‌کننده دارای واکنش ضعیفی با ماتریس پلیمری هستند که با کاهش اندازه فیلر بهبود می‌یابد. استفاده از فیلرهایی با حداقل یک بعد در مقیاس نانو (نانوذرات) باعث تولید نانوکامپوزیت‌ها می‌شود. از انواع فیلرهایی که در این زمینه کاربرد دارند می‌توان سیلیکا، رس، گرافین، نانولوله‌های کربنی، نانوکریستال‌های نشاسته، نانوفیلرهای بر پایه سلولز، نانوذرات کیتین و کیتوزان و سایر مواد غیرآلی را نام برد [۸].

پیشرفت‌های اساسی در صنعت بسته‌بندی نقش بزرگی را در توسعه جیره‌های غذایی خاص مربوط به شرایط بحران ایفا کرده است. آخرین تغییر قابل توجه در این زمینه، فناوری نانو است. فناوری نانو توانایی کار در مقیاس حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر و استفاده از ویژگی‌های مواد با خواص جدید ناشی از ساختار نانویی آنها است [۱۲]. ذرات به علت اندازه نانویی، سطح نسبتاً بزرگ‌تری دارند و در نتیجه اتم‌های سطحی بیشتری نسبت به مقیاس میکروسکوپی‌شان دارند. به‌علاوه این مواد ممکن است دارای خواص الکترونیکی مختلف باشند که به نوبه خود ویژگی‌های نوری، کاتالیزوری و دیگر واکنش‌های آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۳]. کامپوزیت‌های پلیمری مخلوطی از پلیمرها با فیلرهای معدنی یا آلی با اشکال هندسی خاص (الیاف، صفحه، کره، لوله، ذرات) هستند و استفاده از فیلرهایی که حداقل یک بُعد در محدوده نانومتری دارند باعث تولید نانوکامپوزیت‌های پلیمری می‌شود [۱۴].

### رس و سیلیکا

صنعت بسته‌بندی به عنوان افزودنی به پلیمرها بر روی نانوذرات جامد غیر آلی مانند لایه‌های رسی و سیلیکات به دلیل

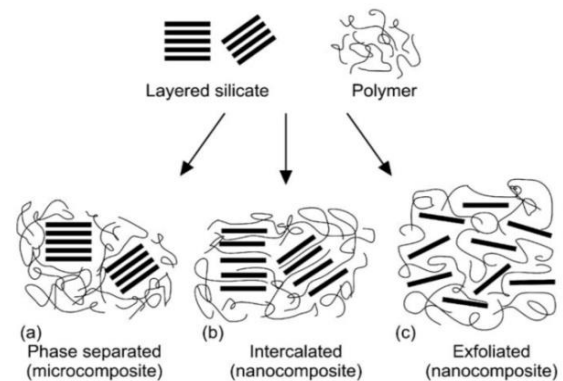
فاکتورهایی مثل قطبیت، ویژگی ساختاری زنجیره‌های جانبی پلیمری، خصوصیات پیوند هیدروژنی، وزن مولکولی، پراکندگی، درجه انشعابات یا پیوندهای عرضی، روش سنتز، درجه بلورینگی و روش فرایند بستگی دارد. هر پلیمر به تنهایی نمی‌تواند تمام خواص لازم برای بسته‌بندی را داشته باشد به همین دلیل می‌توان یکی از راه‌های زیر را به کار برد: ۱) استفاده از فیلم‌های چند لایه؛ ۲) ترکیب مستقیم پلیمر با مواد دیگر [۸].

به دلیل مشکلات موجود در مورد فیلم‌های مصنوعی، کاربرد مواد جدید بیولوژیکی برای توسعه فیلم‌های خوراکی و زیست تخریب‌پذیر به عنوان یک تلاش بزرگ برای گسترش عمر مفید و بهبود کیفیت مواد غذایی و در عین حال کاهش ضایعات بسته‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است [۹]. با این وجود، استفاده از این بیوپلیمرها به علت مشکلات مربوط به عملکرد مانند شکنندگی، نامناسب بودن در مقابل نفوذ گازها و رطوبت، و مشکلات مربوط به فرایند مانند دمای تخریب حرارتی پایین و هزینه، محدود شده است. بیوپلیمرها بر اساس واحدهای مونومری که توسط پیوندهای کووالان مرتبط هستند، ساختارهای مولکولی زنجیره‌مانند تشکیل می‌دهند. بیوپلیمرها می‌تواند به طور کامل از طریق واکنش طبیعی موجودات زنده تجزیه شده و محصولات تجزیه مانند آب و  $CO_2$  که نسبت به محیط زیست بی خطر هستند را تولید کنند. نشاسته، سلولز، آگار، ژلاتین، گلوتن و آلژینات بیوپلیمرهای طبیعی پرکاربرد هستند. پروتئین‌ها نیز تشکیل ژل‌های بیوپلیمری می‌دهند که توانایی به دام انداختن مولکول‌ها و حفاظت از هسته‌های به دام افتاده را فراهم کرده و میزان انتشار آن را کاهش می‌دهند، البته تا زمانی که یک محرک خارجی سبب تضعیف شبکه ژلی نشود [۱۰]. پروتئین‌های حاصل از بافت‌های حیوانی که عمدتاً در کاربردهای تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: کازئین، کلاژن، پروتئین آب پنیر، پروتئین میوفیبریل ماهی و سفیده تخم مرغ و پروتئین‌های گیاهی شامل پروتئین سویا، گلوتن گندم و ژئین (پروتئین ذرت) هستند [۱۱].

مونت‌موریلونیت<sup>۱</sup> (MMT) است، این ماده یک رسوب هیدراته آلومینا-سیلیکات لایه‌ای است و متشکل از صفحات هشت ضلعی هیدروکسید آلومینیومی است که بین دو لایه سیلیسی چهارضلعی قرار گرفته‌اند. لایه‌های موازی با نیروی الکترواستاتیکی ضعیف مرتبط می‌شوند [۱۹]. این نوع رس بار منفی سطحی متوسط دارد که یک عامل مهم برای تعادل فاصله لایه‌های آنهاست. بار لایه‌ها ثابت نیست و از لایه‌ای به لایه دیگر متغیر است و باید در کل کریستال مقدار متوسط آن در نظر گرفته شود [۱۴]. MMT به عنوان یک فیلر تقویت‌کننده به دلیل سطح بالای آن و ضریب نسبت بزرگ (۱۰۰۰-۵۰) بسیار مؤثر است [۲۰]. ناسازگاری شیمیایی بین نانوفیلر هیدروفیل و پلیمرهای هیدروفوب یک چالش بزرگ در تولید این نانوکامپوزیت‌هاست که باید بر آن غلبه شود. به نظر می‌رسد اصلاح سیلیکای لایه‌ای MMT از طریق جایگزین کردن کاتیون‌های معدنی با کاتیون‌های آلی سبب سازگاری آن با پلیمر شده همچنین منجر به افزایش فاصله بین لایه‌های سیلیکات به دلیل وجود یون‌های آلی بزرگ می‌گردد [۲۱] و افزایش فضا بین ذرات، ورود پلیمر را به این فضا آسان‌تر کرده و لایه‌ها را محکم‌تر به هم متصل می‌سازد؛ اتصال بین سطح فوق‌العاده بزرگ فیلر و ماتریس پلیمری، تحرک زنجیره‌ها را کاهش می‌دهد و اثر تقویت‌کننده به وجود می‌آورد و باعث بهبود خواص فیزیکی مانند مقاومت کششی و مدول کششی می‌شود. اصلاح به روش آلی‌سازی، انرژی رس را کاهش می‌دهد و سازگاری آن با پلیمرهای آلی را بهبود می‌بخشد [۲۲]. به عنوان مثال ارگانومونت‌موریلونیت (OMMT)<sup>۲</sup> از مبادله کاتیون‌های معدنی MMT با یون‌های آلی آمونیوم تولید شده است. بهبود سازگاری MMT با پلیمرهای آلی منجر به سازماندهی منظم لایه‌ها در ساختار و کاهش جذب آب توسط نانو کامپوزیت می‌شود [۲۳]. سورفکتانت‌ها نیز برای بهبود

در دسترس بودن، هزینه کم، پیشرفت‌های قابل توجه و قابلیت پردازش آسان آنها متمرکز شده است. نانوفیلر رس یکی از مهمترین‌هاست؛ زیرا به راحتی از پوسته زمین قابل تهیه است [۱۵]. سیلیکات لایه‌ای شامل لایه‌های دو بعدی است که ضخامت ۱ نانومتر و چندین میکرون طول (بسته به ذرات سیلیکات) دارند و حضور آن در فرمولاسیون‌های پلیمری موجب افزایش مسیر انتشار برای یک مولکول نفوذگر می‌شود در نتیجه به طور قابل توجهی خواص نفوذناپذیری به اکسیژن و بخار آب را ایجاد می‌کند. با توجه به واکنش بین سیلیکات‌های لایه‌ای و زنجیره‌های پلیمری ممکن است دو نوع نانوکامپوزیت ایده‌آل تولید شود (شکل ۱). نانوکامپوزیت‌هایی با ساختار نامنظم به طور کلی براساس نفوذ فازهای پلیمری به ناحیه بین لایه‌ای رس ساخته می‌شوند که باعث ایجاد یک ساختار چند لایه از لایه‌های پلیمری-مواد معدنی که به طور متناوب در فواصل نانومتری از یکدیگر قرار دارند می‌شود [۱۶] و نوع دوم نانوکامپوزیت با ساختارهای پوسته‌ای است که شامل نفوذ شدید ماده پلیمری در لایه‌های رس بوده که به طور تصادفی در بستر پلیمری پراکنده می‌شوند. نانوکامپوزیت‌های با ساختار پوسته‌ای با توجه به واکنش قوی و مطلوب بین رس و پلیمرها خواص بسیار خوبی دارند [۱۷].

گزارش شده است که افزودن نانوذرات سیلیکا ( $\text{SiO}_2$ ) به یک ماتریس پلی پروپیلن، ویژگی‌های کششی ماده، شامل قدرت، مدول و کشیدگی را بهبود می‌دهد [۱۸]. یکی از انواع فیلرهای رس که به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند



شکل ۱- نانوکامپوزیت با ساختار فاز جداگانه (a)؛ نانوکامپوزیت با ساختار نامنظم (b)؛ نانوکامپوزیت با ساختار پوسته‌ای (c) [۱۴]

1. montmorillonite  
2. organo-montmorillonite

پلیمری محدود و منطقه پلیمری بدون محدودیت که تحت تأثیر رس قرار نداشته و خواص آن مشابه با پلیمر فله است. اما منطقه پلیمری محدود شده در تماس مستقیم با تعدیل کننده سطحی قرار دارد و فرض بر این است که حجم آزاد پایین تر و در نتیجه ضریب نفوذ پایین تر نسبت به پلیمر فله دارد. از آنجایی که اثر اصلی منطقه محدود شده، کاهش حجم آزاد است و این اثر در مناطق کریستالی قابل توجه نیست، منطقه محدود شده در پلیمرهای نیمه کریستالی به طور قابل توجهی نفوذپذیری را تحت تأثیر قرار نمی دهد. مگر اینکه کریستالی کاهش یابد. در واقع بیشترین انحرافات از مدل ساده مسیر پیچشی، شامل پلیمرهای آمورف است [۱۷].

خودموتنازی لایه به لایه روشی است که از آن می توان بسته بندی چند لایه ای را از طریق پوشش دهی فیلم با لایه های نانومتری از طریق جذب متوالی پلی الکترولیت هایی با بار مخالف بر روی یک سطح جامد تولید کرد [۲۷]؛ به همین طریق فیلم های چند لایه را با قرار دادن لایه های تقویت کننده سدیم مونتوریلونیت آنیونی و پلی آکریل آمید کاتیونی بر روی یک ماده سوپسترای PET ایجاد کردند. سرعت انتقال اکسیژن (OTR)<sup>۳</sup> به عنوان یک تابع از تعداد لایه ها کاهش یافته است، و به طور بالقوه قابلیت میکروویو و شفافیت نوری خوبی دارند (بالتر از ۹۰٪) [۲۸].

### سلولز

سلولز از دیگر ترکیبات تقویت کننده به صورت سلول های فیبری بلند و یک پلیمر طبیعی بسیار قوی است و هزینه کمی داشته و به طور گسترده ای در دسترس است. علاوه بر این، دوست دار محیط زیست بوده و قابلیت بازیافت آسان دارد [۲۹]. زنجیره های سلولز برای تشکیل میکروفیبرها در گیاهان به کار می روند که مجموعه ای از مولکول هایی هستند که از طریق پیوند هیدروژنی طویل و پایدار می شوند [۳۰]. هر میکروفیبریل

پراکندگی OMMT در یک ماتریس پلی اتیلن مورد استفاده قرار گرفته اند. سورفکتانت ها قادرند فاصله بین لایه های رس را به دامنه های مختلف، بسته به تعداد واحدهای قطبی در مولکول سورفکتانت افزایش دهند. برای نانوکامپوزیت های سلولز استات و OMMT، از استات بوتیرات پیوند شده با مالئیک انهدرید به عنوان سازگار کننده استفاده کرده اند که این نانوکامپوزیت ها خواص مکانیکی بهتری را نسبت به هم تایی بدون این ترکیبات نشان دادند [۲۴].

بزرگ ترین تئوری برای توضیح خواص بهبود یافته نانوکامپوزیت پلیمر-رس، بر اساس تئوری نیلسن<sup>۱</sup> در سال ۱۹۶۷ می باشد که بر ایجاد یک مسیر پیچیده در اطراف صفحات رس تمرکز کرده است و این امر باعث می شود که گازها مجبور شوند مسیر طولانی تری را برای توزیع در میان فیلم طی کنند. این طولانی شدن مسیر بر مبنای بالا بودن نسبت ابعاد فیبر رس به حجم آن در ترکیب پدید می آید. مدل Nielsen به کار بردن رس کمتر از ۱٪ را برای بهبود خواص پیش بینی کرد اما در مطالعات تجربی در استفاده با مقادیر بالاتر نتایج متفاوتی نسبت به مدل به دست آمد [۲۵]. بسیاری از این انحرافات با فاکتورهایی از قبیل خاصیت گرایش ضعیف رس و کامل پراکنده نشدن آن به صورت ساختار پوسته ای قابل توضیح است [۲۶]. بیال<sup>۲</sup> نیز در سال ۲۰۰۰ یک مدل برای نفوذپذیری نانوکامپوزیت های پلیمری پیشنهاد کرد که علاوه بر اینکه مسیر پیچشی را مطرح می کند، بر روی تعامل پلیمر-رس به عنوان عامل اصلی نیز تمرکز کرده است. این مدل یک فاکتور اصلاح پذیری برای مدل نیلسن فراهم می کند. این مدل سه منطقه را در اطراف ورقه های رس تعریف می کند: منطقه تعدیل کننده سطح (۱-۲ نانومتر) که رس و پلیمر را به هم متصل می کند و فرض بر این است که به اندازه کافی کوچک است که اثر کمی بر نفوذپذیری کامپوزیت داشته باشد. منطقه

1. Nielsen  
2. Beall

3. oxygen transmission rate

مناسب آنها می‌شود اما هنگامی که سلولز به ماتریس‌های غیرقطبی اضافه شود، سطح بسیار قطبی فیبرهای سلولز منجر به بروز مشکل می‌شود؛ سازگاری سطحی کم با ماتریس، حساسیت به رطوبت، نفوذپذیری و پیوند هیدروژنی درون رشته‌ای فیبرها از جمله این مشکلات است. یکی دیگر از محدودیت‌های کاربرد فیبرهای سلولز، ظرفیت جذب آب بالای آنهاست [۳۳، ۳۴]. سطوح سلولز را می‌توان با واکنش‌های مختلفی مانند استریفیکاسیون با گروه‌های هیدروکسیل اصلاح کرد تا سازگاری آنها با پلیمرهای با قطبیت کمتر بهبود یابد [۳۵]. فریر<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۸) الیاف سلولز را توسط آسیلاسیون با اسیدهای چرب برای کاربرد آنها در کامپوزیت با پلی اتیلن اصلاح کردند. اصلاح شیمیایی سطح الیاف سلولز منجر به بهبود چسبندگی بین الیاف و ماتریس شده و خواص مکانیکی و پایداری حرارتی افزایش یافته و ظرفیت جذب آب کاهش نشان داد. افزودن سورفاکتانت نیز می‌تواند سازگاری بین ماتریس‌های هیدروفوب و سلولز را بهبود بخشد. هاب<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۸) پیشنهاد کردند که سر گروه هیدروفیل سورفاکتانت بر روی سطح سلولز جذب می‌شود، در حالی که دم هیدروفوبی آن در ماتریس حل می‌شود و مانع از تجمع فیبرهای سلولز از طریق پیوندهای استریک می‌شود [۳۴، ۳۶].

### کیتین و کیتوزان

نانوذرات کیتوزان با استفاده از ژله‌ای شدن (انعقاد) یونی به دست می‌آیند، گروه‌های آمینو با بار مثبت در کیتوزان با پلی‌آنیون‌هایی که عامل ایجاد پل‌های عرضی‌اند مانند تری پلی‌فسفات، پیوند الکترواستاتیک برقرار می‌کنند و نانو ذرات کیتوزان-تری پلی‌فسفات را ایجاد کرده و آنها را به فیلم‌های HPMC می‌افزایند که به طور قابل توجهی خواص مکانیکی و ممانعت فیلم‌ها را بهبود می‌بخشد. محققان با استفاده از هیدرولیز اسیدی کیتین، رشته‌های

توسط مجموعه‌ای از فیبریل‌های اولیه تشکیل شده که خود از بخش‌های بلوری و آمورف (که به عنوان نقص ساختاری عمل می‌کنند) تشکیل شده‌اند و بخش آمورف یک مدول نزدیک به کریستال‌های طبیعی سلولز (حدود ۱۵۰ GPa) و قدرت حدود ۱۰ GPa دارد [۲۹]. روش اصلی برای به دست آوردن رشته‌های سلولز، هیدرولیز اسیدی است که بر اساس برداشتن مناطق آمورف موجود در فیبریل‌ها عمل کرده و مناطق کریستالی را دست‌نخورده باقی می‌گذارد. ابعاد رشته‌ها پس از هیدرولیز، به درصد مناطق آمورف موجود در فیبریل‌های فله‌ای بستگی دارد که برای هر ارگانسیم متفاوت است [۳۰]. میکروکریستالین سلولز (MCC)<sup>۱</sup>، توسط هیدرولیز اسیدی سلولز تهیه می‌شود و مناطق کریستالی غیرقابل دسترس را به عنوان بلورهای خوب به طور معمول ۲۰۰-۴۰۰ نانومتر و ضریب نسبت حدود ۱۰ باقی می‌گذارد. درجه پلیمریزاسیون با توجه به منبع سلولز و روش فرایند حدود ۴۰۰-۱۴۰ است [۳۱]. MCC با قطر و اندازه زیرمیکرونی تأثیر بسیار بیشتری بر مقاومت کششی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC)<sup>۲</sup> نسبت به اندازه میکرونی آن دارد. جهت‌گیری الیاف سلولز می‌تواند خواص کششی یک نانوکامپوزیت را افزایش دهد، به همین دلیل محققان یک میدان مغناطیسی را به یک نانوکامپوزیت PVA دارای سلولز برای هدایت رشته‌های سلولزی اعمال کردند و مشاهده شد که مدول نانوکامپوزیت ناشی از جهت‌گیری به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد [۳۲]. نظریه پراکندگی پیش‌بینی می‌کند که حداکثر بهبود خواص کامپوزیتی فقط زمانی که فیبرهای کافی برای ساخت یک ساختار پیوسته وجود داشته و در داخل ماتریس به درستی پراکنده شوند، به وجود می‌آید. تعامل بین فیبریل‌های سلولزی و ماتریس‌های هیدروفیلیک به دلیل سطح هیدروفیلی آنها، معمولاً رضایت‌بخش بوده و سبب پراکندگی و چسبندگی

3. Freire  
4. Hubbe

1. Microcrystalline cellulose  
2. hydroxypropyl methylcellulose

دارند و نانولوله‌های کربنی چندلایه که برای انسان و حیوان کمتر سمی هستند، سلول‌های باکتری/ی. کولای را در تماس مستقیم غیرفعال می‌کنند [۲۸].

اخیراً محققان بر گرافین تمرکز کرده‌اند تا از تولید یک شبکه هیبریدی 2sp کربنی بهره ببرند، زیرا هیبریدهای گرافین-فلزات (Pt, Au, Ag) پتانسیل کاربرد در زمینه‌های اپتیکی، الکترونیک و حسگرها را دارند. به طور خاص، گرافین به عنوان یک جزء تقویت‌کننده دو بُعدی ایده‌آل که دارای سختی مکانیکی بالا، سطح فوق العاده بزرگ و پایداری حرارتی و شیمیایی است برای مواد کامپوزیتی در نظر گرفته شده است [۴۴]. نانوصفحات گرافین، به عنوان یک نانوفیلر بر پایه کربن بسیار امیدوار کننده هستند.

#### نانو فیبرهای ضد میکروبی

به جای ترکیب کردن مواد ضد میکروبی به طور مستقیم با غذا، کاربرد مواد بسته‌بندی با خاصیت ضد میکروبی یک راه حل بالقوه است که اثر ضد میکروبی مناسبی در سطح ماده خوراکی که اکثراً رشد میکروبی در آنجا مشاهده می‌گردد پدید می‌آورد. بعضی از پلیمرهای کاتیونی از خود فعالیت ضد باکتری نشان می‌دهند و می‌توانند تا حد زیادی از رشد باکتری‌های مختلف بدون انتشار مواد شیمیایی سمی با وزن مولکولی کم به درون محیط جلوگیری کنند. پلیمرهای ضد میکروبی معمولاً شامل ساختارهای پلی کاتیونی مانند آمونیوم کواترنری جایگزین، نمک‌های فسفونیوم، نمک‌های N-آلکیل پیریدین و مشتقات رودامین هستند. علاوه بر پلیمرهای متداول با خواص ضد میکروبی، استفاده از نانوذرات کاتیونی در ساختار پلیمر برای فعالیت‌های ضد میکروبی مورد بررسی قرار گرفته‌اند، کاتیون فلزی Ag یا واکنشگرهای بسیار فعال هیدروژن پراکسید، رادیکال هیدروکسیل، و سوپراکسید تولید شده در فوتوکاتالیز  $TiO_2$ ، مواد ضد باکتریایی هستند. البته یون نقره به علت داشتن خواص ضد میکروبی پایدار و غیر فرار بودن، نوسانات کم در دمای بالا و نهایتاً به دلیل سمی بودن آن در طیف

کیتین را تهیه کردند، رشته‌های به دست آمده ۴۱۷ نانومتر طول و ۳۳ نانومتر قطر داشت [۳۷]. یک نانوکامپوزیت بر پایه فیلم کیتوزان با ۱۵٪ نانو فیبرهای سلولز و قطعات با قابلیت پلاستیکی و ۱۸٪ گلیسرول از لحاظ سختی و مقاومت نسبت به پلیمرهای مصنوعی قابل مقایسه است، اما ممانعت رطوبت آن خوب نیست [۳۸].

#### نانولوله‌های کربنی و گرافین

نانولوله‌های کربنی هم یکی از متداول‌ترین نانوفیلرهایی هستند که ویژگی‌های حسی محصول را نشان می‌دهند و اخیراً مؤسسه فناوری گرجستان بیوسنسورهایی بر پایه نانولوله کربنی چند لایه و پلی‌آمید را برای نظارت بر پروتئین‌های خطرناک، میکروارگانیزم‌ها و پتانسیل فساد در غذا و نوشیدنی‌ها ارائه کرده است [۳۹]. نانولوله‌های کربنی در بسته‌بندی به روش کپسوله کردن قادرند اکسیژن یا دی‌اکسید کربن را به خارج از بسته پمپ کنند و از خرابی مواد غذایی و نوشیدنی‌ها جلوگیری کنند، همچنین به علت خواص مکانیکی فوق‌العاده و رسانایی الکتریکی خوب در بسته‌بندی‌های هوشمند و زیست‌حسگرها کاربرد دارند زیرا هنگامی که در ماتریس پلیمری عایق پراکنده شوند سبب تبدیل آن به یک رسانا می‌شوند [۴۰]. نانولوله‌های کربنی ممکن است به صورت تک‌دیواره با ضخامت یک اتم یا به صورت تعدادی از لوله‌های متمرکز به نام نانولوله‌های چندبُعدی وجود داشته باشند که دارای ضریب سطح زیاد و مدول الاستیک بالا هستند [۴۱]. محققان گزارش داده‌اند که نانولوله‌های کربنی دارای مدول الاستیک و استحکام کششی برابر با ۱ TPa و ۲۰۰ GPa هستند [۴۲]. گزارش شده که نانولوله‌های کربنی با گروه‌های کربوکسیلیک اسید بر روی سطوح آنها به افزایش تعاملات بین مولکولی با ماتریس پلی(اتیلن -۲، ۶-نفثالین) کمک می‌کنند [۴۳] و حتی در غلظت‌های کمتر از ۰/۱ wt%، به طور قابل توجهی بهبود پایداری حرارتی و همچنین استحکام کششی و مدول پلیمر را بهبود می‌بخشد. این ترکیبات همچنین اثرات ضد میکروبی

### نانوحسگرها

استفاده از نانوکامپوزیت در بسته‌بندی به عنوان ترکیبات دارای پتانسیل تشخیص آنالیت‌های مربوط به غذا مثل گازها، مولکول‌های آلی و پاتوژن‌ها یا پتانسیل پاسخ‌گویی به تغییرات محیطی (مانند دما یا رطوبت در اتاق‌های ذخیره‌سازی، سطوح تماس با اکسیژن) موضوعی است که تولید بسته‌بندی‌های هوشمندی را تأیید می‌کند که از طریق تغییر رنگ فیزیکی و شیمیایی علائمی را برای بیان تغییرات ایجاد شده در ماده غذایی ارائه کرده و به اصطلاح نانوسنور ایجاد می‌کنند [۵۲]. پلیمرهای رسانا (CPS)<sup>۱</sup> یا پلیمرهای کنژوگه الکتروفعال که می‌توانند از طریق اکسیداسیون شیمیایی یا الکتروشیمیایی سنتز شوند، به دلیل خواص الکتریکی، الکترونیکی، مغناطیسی و اپتیکی آنها که وابسته به اتصالات الکترونی کنژوگه آنهاست برای این منظور مناسب هستند، مانند CP‌های پلی‌ان و پلی‌آروماتیک از قبیل پلی‌آنیلین (PANI)، پلی‌استیلن، پلی‌پیرول (PPy) [۵۳]. در فرایند فساد مواد غذایی به وسیله میکروارگانیسم‌ها، گازهایی ایجاد می‌شود که می‌توانند توسط نانوکامپوزیت‌های پلیمری رسانا (CPC) یا اکسیدهای فلزی تشخیص داده شوند و این روش می‌تواند برای اندازه‌گیری و یا شناسایی میکروارگانیسم‌ها استفاده شود. تغییرات مقاومت این سنسورها یک الگوی خاص را مطابق با گاز مورد بررسی ایجاد می‌کند. سه باکتری *باسیلوس سرئوس*، *ویبریو پاراهمولیتیکوس* و *سالمونلا* را می‌توان از روی الگوی پاسخ تولید شده خاص آنها شناسایی نمود. به طور کلی محققان در حال توسعه «زبان الکترونیکی» هستند که در بسته‌بندی مواد غذایی گنجانده شود.

### نانوحسگر شناساگر اکسیژن

علاقه خاصی به توسعه سنسورهای اکسیژنی غیرسمی و غیرقابل برگشت برای اطمینان از عدم وجود اکسیژن در سیستم‌های بسته‌بندی مواد غذایی بدون اکسیژن مانند

وسیعی از میکروارگانیسم‌ها یکی از شایع‌ترین مواد مورد استفاده است [۴۵] که قابلیت نابودی باکتری‌های گرم مثبت و منفی مانند *استافیلوکوک اورئوس* و *ای.کولای* را دارد [۴۶]. همچنین ویژگی‌های کلی مربوط به ماده بسته‌بندی از جمله استقامت مکانیکی را نیز به خوبی حفظ کرده است. روش‌های مختلفی برای تولید نانوذرات نقره پیشنهاد شده است: واکنش شیمیایی اجزاء، روش‌های هیدروترمال، روش فوتوشیمیایی، لیزر، سل-ژل [۳]. علاوه بر نقره به عنوان قدیمی‌ترین و محبوب‌ترین مورد، فلزاتی نظیر مولیبدن و مس نیز در حال حاضر به عنوان ضد میکروب در ماتریس پلیمرها به کار می‌روند [۴۷]. نانوذرات نقره از طریق واکنش با غشای باکتری و پروتئین‌های داخل سلولی آنها باعث اختلال در تقسیم سلولی و نهایتاً مرگ سلول می‌گردند. سازوکارهای دفاعی سلول در حضور یون‌های نقره، DNA سلول را از محیط سمی حفاظت می‌کند اما این موضوع خود سبب تضعیف توانایی تکثیر باکتری‌ها می‌شود [۴۸]. علاوه بر این، نانوذرات نقره، اتیلن را جذب و تجزیه می‌کنند که می‌تواند تأثیرات مفیدی بر افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات داشته باشد [۴۹].

اکسید روی (ZnO) نیز به عنوان یک اکسید فلزی با خواص ضدعفونی‌کننده و ضد باکتری مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزودن نانوفیلر ZnO باعث بهبود چسبندگی، رنگ، رطوبت، خاصیت هیدروفوبی، ممانعت از اشعه ماوراء بنفش، کشیدگی و ثبات حرارتی پوشش‌های نانوکامپوزیت و همچنین کاهش مقاومت کششی، قدرت، نفوذپذیری رطوبت و مدول الاستیک می‌گردد. محققان از ژلاتین گاوی و نشاسته با هم به عنوان بستر پلیمری استفاده کردند و به آنها نانوفیلر ZnO افزوده شد و نتایج مطلوب ذکر شده را مشاهده کردند [۵۰].

سازوکار ضدباکتریایی نانوفیلرها متنوع است: (۱) تخریب دیواره سلولی؛ (۲) تولید یون‌های فلزی برای محدود کردن واکنش آنزیم‌های اکسیداتیو؛ (۳) دناتوره کردن پروتئین‌ها؛ (۴) تداخل با تکثیر DNA و RNA [۵۱].

1. Conductive polymers



بسته‌بندی تحت خلاء یا نیتروژن وجود دارد. لی، شریدان و میلز (۲۰۰۵) شاخص اکسیژن که یک نشانگر رنگی فعال شده با اشعه فرابنفش است را با استفاده از نانوذرات تیتانیوم ( $\text{TiO}_2$ ) تولید کردند و حساسیت به نور و واکنش احیای متیلن بلو آن را توسط تری اتانول آمین در محیط بسته‌بندی پلیمری با استفاده از اشعه فرابنفش به وجود آورند [۵۴]. در هنگام تابش اشعه فرابنفش، حسگر سفید و بی‌رنگ باقی می‌ماند اما زمانی که اکسیژن در معرض آن قرار گیرد، رنگ آبی اصلی آن بازسازی می‌شود. نرخ بازیابی رنگ آبی متناسب با میزان وجود اکسیژن است [۵۵]. فیلم‌های نازک نانوکامپوزیت MB-TiO<sub>2</sub> را با استفاده از روش رسوب فاز مایع (LPD) که یک روش شیمیایی نرم برای رسوب اکسیدها به روی چندین سوبستراست می‌توان تهیه کرد. میلز و هازافی (۲۰۰۹) نیز به طور مشابهی از SnO<sub>2</sub> نانو کریستالی به عنوان یک حساس کننده به نور در یک نشان گر رنگ سنجی اکسیژن استفاده نمودند [۵۶].

### نانوحسگر جاذب اکسیژن

موضوع دیگری که در بسته‌بندی مطرح است جذب کردن اکسیژن باقی‌مانده در داخل بسته‌بندی خصوصاً در مورد غذاهای حاوی چربی بالاست که این پدیده از کیفیت آنها می‌کاهد. اکسیژن مسؤوّل از بین رفتن بسیاری از مواد غذایی به طور مستقیم یا غیرمستقیم است. واکنش‌های اکسیداسیون مستقیم منجر به قهوه‌ای شدن میوه‌ها و فساد روغن‌های گیاهی می‌شود. تخریب مواد غذایی توسط تأثیر غیرمستقیم اکسیژن که بر فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی صورت می‌گیرد، رخ می‌دهد. افزودن ترکیب مواد جاذب اکسیژن به بسته‌بندی مواد غذایی می‌تواند اکسیژن را در سطوح بسیار کم حفظ کند. فعالیت فوتوکاتالیستی  $\text{TiO}_2$  تحت اشعه فرابنفش در این زمینه مورد توجه است. این ماده خواص جذب اکسیژن خوبی دارد و اکسیداسیون ماده غذایی را می‌کاهد [۵۷]. این

ماده به دلیل بی اثر بودن از نظر شیمیایی، خاصیت ضد میکروبی از طریق تشعشع نوری، مقاومت در برابر خوردگی، سختی و شاخص انکساری بالا<sup>۲</sup> توجه زیادی را جلب کرده است. در مطالعه‌ای یک جاذب اکسیژن بر پایه آهن که توسط رطوبت فعال می‌شود به پوشش افزوده شده و از آن برای بسته‌بندی استفاده شد. ورقه‌های حاوی جاذب اکسیژن یکپارچگی و قدرت یکسانی در مقایسه با ورقه‌های شاهد داشتند. غلظت اکسیژن موجود در کیسه‌ها در مدت یکساله نگهداری در دمای ۲۶/۷ در زیر محدوده ۰/۵٪ قرار داشت و هیچگونه رشد میکروبی هوازی، کلی‌فرم، کپک و مخمر مشاهده نشد، همچنین بسته‌بندی حاوی جاذب اکسیژن به علت کاهش بیشتر اکسیژن در فضای بسته‌بندی سبب حفظ بیشتر ویتامین C و کیفیت بالاتر غذا از لحاظ فیزیکوشیمیایی و ارگانولپتیکی شد [۵۸]. استفاده از بسته‌بندی فعال جاذب اکسیژن برای افزایش ماندگاری کراکر در جیره غذایی نظامی نیز بررسی شده است و تحقیقات نشان داده که اکسیژن باقی‌مانده در فضای بسته‌بندی در طول ۵۲ هفته در پوشش‌های دارا و فاقد ماده جاذب اکسیژن به ترتیب ۹، ۳، ۲ و ۵۵، ۴۱، ۴ ml/l در دماهای ۱۵، ۲۵، ۳۵ بود؛ همچنین جذب اکسیژن به طور معنی‌داری باعث کاهش غلظت هگزانال می‌شود. در ارزیابی حسی کراکریایی که در بسته‌بندی‌های فاقد جاذب اکسیژن بودند، طعم و بوی فساد اکسیداتیو بعد از ۲۴ هفته مشاهده گردید که عدم پذیرش آن را باعث می‌شود اما در پوشش‌های فعال پس از ۴۴ هفته هنوز هیچ طعم و بوی نامطلوبی حس نشد. شروع بوی فساد با غلظت هگزانال بالای ۶ mg/kg ارتباط دارد [۵۹]. بنابراین نتایج تمامی این تحقیقات ما را مجاب می‌کند که استفاده از فیلم‌های جاذب اکسیژن جایگزین مناسبی برای بسته‌بندی‌های معمولی جهت نگهداری طولانی مدت هستند.

2. high-refractive-index

1. liquid phase deposition

## نانوکامپوزیت‌های تثبیت‌کننده آنزیم

آنزیم‌ها به طور گسترده‌ای در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برخی موارد، استفاده مستقیم از آنزیم‌ها به دلیل حساسیت آنها نسبت به شرایط فرایند یا ترکیباتی در ماده غذایی که می‌تواند با ممانعت از عملکرد آنها باعث کوتاه شدن عمر مفید یا غیرفعال شدن آنها شوند، دارای محدودیت است. روش تثبیت آنزیم‌ها بر روی حامل‌های مختلف می‌تواند به منظور پایداری نسبت به pH و درجه حرارت، مقاومت در برابر پروتازها و دیگر ترکیبات دنا توره کننده و همچنین ایجاد محیط مناسب برای استفاده مکرر آنها و یا آزاد شدن کنترل شده آنها به کار رود [۶۰]. تثبیت آنزیم‌هایی مانند لاکتاز و کلاسترو-ردوکتاز بر روی مواد بسته‌بندی می‌تواند ارزش محصول غذایی را افزایش داده و نیاز مصرف‌کنندگان و مشکلات مربوط به آنزیم را پاسخ دهد. سیستم‌های تثبیت نانوساختاری سطح تماس در دسترس و انتقال جرم را افزایش می‌دهند و این عامل احتمالاً مهم ترین عامل مؤثر بر اثربخشی این سیستم‌هاست [۶۱]. در مورد ترکیبات معدنی مانند رس‌ها یک وابستگی برای جذب پروتئین‌ها گزارش شده است و انتظار می‌رود در سال‌های آینده روش‌های جدید جذب آنزیم در رس موجود در پلیمرها و استفاده از آن به عنوان یک ماتریس برای تثبیت بیومولکول و کنترل انتشار آن ارائه گردد [۶۲]. محققان گلوکز اکسیداز را نیز بر روی فیلم‌های پلی‌آنیلین-کوفلئوروآنیلین تثبیت کردند [۶۳]، نانوذرات سیلیکا نیز برای تثبیت گلوتامات دهیدروژناز و لاکتات دهیدروژناز مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۶۴]. آنزیم‌های تثبیت‌شده فعالیت بسیار خوبی را نشان داده‌اند. مونتاز لایه به لایه توسط Rudra و همکاران (۲۰۰۶) برای به دست آوردن یک نانوفیلم ضد میکروبی چندلایه پلی‌پیتید از لایه‌های ال-گلوتامیک اسید با بار منفی و لیزوزیم سفیده تخم مرغ به عنوان لایه‌های مثبت به طور گسترده‌ای به عنوان یک نگهدارنده مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته است. این نانوفیلم‌ها در مهار رشد میکروکوکوس لوتوس مؤثر بودند [۲۷]. همچنین می‌توان رهاسازی لیزوزیم را با تعدیل مقدار لایه‌های فیلم کنترل نمود.

برنامه‌های تحقیق و توسعه بسیاری در مرکز نظامی نایتیک با تمرکز بر استفاده از نانوکامپوزیت‌ها برای بسته‌بندی غذاهای آماده مصرف وجود دارد. این برنامه‌ها عمدتاً بر فرایند ذوب نانوذرات با مواد ترموپلاستیک تمرکز دارند. این اطلاعات اجازه می‌دهد تا با استفاده از نانوکامپوزیت‌های مناسب و با تغییر پارامترهای فرایند ذوب، تنظیمات شکل پیچ، سرعت پیچ، میزان تغذیه ورودی و درجه حرارت، فیلم‌های دمیدنی و قالبی مناسب را تولید کنند. تمرکز این مطالعه بر روی EVOH به همراه ۳٪ سیلیکا لایه‌ای مونتموریلونیت است. EVOH یک کوپلیمر تصادفی از PVA و پلی‌اتیلن است و به همین دلیل خاصیت هیدروفیلی کمتری نسبت به PVA دارد و خواص آن به نسبت ترکیب PVA بستگی دارد. EVOH حاوی ۴۴٪ اتیلن خواص مکانیکی خوبی مانند مدول یانگ ۲۰۶۲ MPa و قدرت کششی ۵۸/۸۷ MPa و ۲۸۰٪ کشیدگی داشته و ممانعت‌کنندگی اکسیژن عالی (OTR=31.0 cc/m<sup>2</sup>/24hr) ایجاد می‌کند؛ در عین حال کمی به رطوبت حساس است. در جیره‌های نظامی، برخی از بسته‌بندی‌ها تحت دما و فشار بالا استریلیزه می‌شوند، که در نتیجه نفوذپذیری اکسیژن با پلاستیسیته شدن رطوبتی EVOH افزایش می‌یابد و باعث تغییرات برگشت‌ناپذیر در ساختار EVOH می‌شود. برای حفظ نفوذناپذیری اکسیژن در محیط‌های با رطوبت بالا و پس از استریلیزاسیون، EVOH اغلب در بین دو لایه با خاصیت نفوذناپذیری به رطوبت مانند پلی‌اتیلن یا پلی‌پروپیلن اکسترود می‌شود. به طور کلی خواص فیزیکی، مدول یانگ و خواص ممانعت‌کنندگی با میزان رطوبت نمونه تحت تأثیر قرار می‌گیرد، همچنین جهت‌گیری ورقه‌های سیلیکا عامل مهمی است که در نفوذناپذیری اثر می‌گذارد [۲].

## بحث و نتیجه‌گیری

امروزه توجه زیادی به توسعه بیوپلیمرها و فن‌آوری‌های

نوآورانه که وابستگی به منابع فسیلی را کاهش می‌دهند و آنها را جایگزین مواد بسته‌بندی غیرقابل تجزیه پلاستیکی پایه نفتی می‌کند، جلب شده است. مناسب‌ترین نانوکامپوزیت‌های زیستی مناسب برای بسته‌بندی محصولات که تاکنون ارائه شده‌اند، عبارتند از: مشتقات سلولوز، PLA، PCL، پلی‌بوئیلن سوکسینات، پلی‌هیدروکسی بوتیرات و امیدوارکننده‌ترین نانوفیلرها، سیلیکات‌های لایه‌ای نانورس مثل مونتموریلونیت و کائولینیت هستند [۶۵]. موضوعات چالش‌برانگیز زیادی چون عملکرد نانوکامپوزیت‌ها، پلیمرهای سوپسترا، نانوفیلرهای کاربردی از قبیل نانومواد ضد میکروبی، حس‌گرهایی که آلاینده‌های غذایی را تشخیص می‌دهند یا تغییرات و یکنواختی داخل بسته‌بندی را رصد می‌کنند وجود دارد که قابل تأمل و بحث است. پیش‌بینی شده است که نانوتکنولوژی در سال ۲۰۲۰ بر اقتصاد جهان حداقل سه تریلیون دلار تأثیر بگذارد و توسعه جهانی در این زمینه به حداقل شش میلیون نفر نیاز دارد که تا پایان این هدف پشتیبانی شوند. با توجه به این بازدهی مالی، یکی از صنایعی

که می‌تواند از این تکنولوژی استفاده کند، قطعاً صنایع غذایی است. البته با اینکه در صنایع مختلف دید کاملاً مثبت و رو به پیشرفتی نسبت به نانوتکنولوژی وجود دارد، دید منفی مردم در تولید غذاهای طبیعی تا حدی مانع اجرای فناوری نوظهور نانوغذاها گشته است. در بخش‌های مختلفی از صنعت غذا از جمله کشاورزی تا فرآوری و بسته‌بندی مواد غذایی تا مکمل‌های غذایی با پایداری و فعالیت زیستی بیشتر، نانوتکنولوژی قابل کاربرد است اما بیشترین توسعه در زمینه بسته‌بندی صورت گرفته است. این تکنولوژی تقریباً یک دهه است که رو به صعود است و چندین شرکت تجاری در زمینه دارویی و درمان پزشکی، تولید انرژی، ترکیبات ساختاری و محاسبات مولکولی از این تکنولوژی استفاده می‌کنند [۸].

نهایتاً باید آگاه باشیم با توجه به اینکه موفقیت‌های بسیاری در رابطه با صنعت غذا پدیدار شده است که بدون تردید در ابتدا دارای نقاط ضعفی بوده‌اند، امروزه باید با توجه به امکانات، تنوع و عادات غذایی در تولید و بهینه‌سازی جیره‌های نظامی مورد توجه قرار گیرند.

## References

1. Morais H, Rodrigues P, Ramos C, Forgács E, Cserháti T, Oliveira J. Effect of ascorbic acid on the stability of beta-carotene and capsanthin in paprika (*Capsicum annum*) powder. *Nahrung*. 2002; 46(5):308-310.
2. Froio D, Lucciarini J, Thellen C, Ratto JA. Nanocomposites research for combat ration packaging: Army Natick Soldier Center, Natick MA. [Accessed 2004 December 1]
3. Poortavasoly H, Montazer M, Harifi T. Simultaneous synthesis of nano silver and activation of polyester producing higher tensile strength aminohydroxylated fiber with antibacterial and hydrophilic properties. *RSC Advances*. 2014; 4(86):46250-46256.
4. Textor T, Fouda MMG, Mahltig B. Deposition of durable thin silver layers onto polyamides employing a heterogeneous Tollens' reaction. *Applied surface science*. 2010; 256(8):2337-2342.
5. Farhoodi M. Nanocomposite materials for food packaging applications: characterization and safety evaluation. *Food engineering reviews*. 2016; 8(1):35-51.
6. Finnigan, B. Barrier polymer. In: Yam KL, editor. *The Wiley encyclopedia of packaging technology*. 3rd ed. New York, NY: John Wiley & Sons; 2010. 103-109.
7. Duncan TV. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of colloid and interface science*. 2011; 363(1):1-24.
8. Michaels F. *Modern plastics encyclopedia*. New York, NY: McGraw-Hill; 1995.
9. Tharanathan RN. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in food science & technology*. 2003; 14(3):71-78.
10. Othman SH. Bio-nanocomposite materials for food packaging applications: types of biopolymer and nano-sized filler. *Agriculture and agricultural science procedia*. 2014; 2:296-303.

11. Zhao R, Torley P, Halley PJ. Emerging biodegradable materials: starch-and protein-based bio-nanocomposites. *Journal of materials science*. 2008; 43(9):3058-3071.
12. Roco MC. Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine. *Current opinion in biotechnology*. 2003; 14(3):337-346.B
13. occuni F, Rondinone B, Petyx C, Iavicoli S. Potential occupational exposure to manufactured nanoparticles in Italy. *Journal of cleaner production*. 2008; 16(8-9):949-956.
14. Alexandre M, Dubois P. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. *Materials science and engineering*. 2000; 28(1-2):1-63.
15. Weiss J, Takhistov P, McClements DJ. Functional materials in food nanotechnology. *Journal of food science*. 2006; 71(9):R107-R116.
16. Adame D, Beall GW. Direct measurement of the constrained polymer region in polyamide/clay nanocomposites and the implications for gas diffusion. *Applied clay science*. 2009; 42(3-4):545-552.
17. Luo, D.; Wu, L.; Zhi, J. Nanocomposite for food encapsulation packaging. In: Grumezescu AM, editor. *Encapsulations: nanotechnology in the agri-food insutry volume 2*. Boston MA: Elsevier; 2016. 421-454.
18. Wu CL, Zhang MQ, Rong MZ, Friedrich K. Tensile performance improvement of low nanoparticles filled-polypropylene composites. *Composites science and technology*. 2002; 62(10-11):1327-1340.
19. Tan W, Zhang Y, Szeto Y-s, Liao L. A novel method to prepare chitosan/montmorillonite nanocomposites in the presence of hydroxy-aluminum oligomeric cations. *Composites science and technology*. 2008; 68(14):2917-2921.
20. Uyama H, Kuwabara M, Tsujimoto T, Nakano M, Usuki A, Kobayashi S. Green nanocomposites from renewable resources: plant oil- clay hybrid materials. *Chemistry of materials*. 2003; 15(13):2492-2494.
21. LeBaron PC, Wang Z, Pinnavaia TJ. Polymer-layered silicate nanocomposites: an overview. *Applied clay science*. 1999; 15(1-2):11-29.
22. De Paiva LB, Morales AR, Díaz FRV. Organoclays: properties, preparation and applications. *Applied clay science*. 2008; 42(1-2):8-24.
23. Picard E, Gauthier H, Gérard J-F, Espuche E. Influence of the intercalated cations on the surface energy of montmorillonites: consequences for the morphology and gas barrier properties of polyethylene/montmorillonites nanocomposites. *Journal of colloid and interface science*. 2007; 307(2):364-376.
24. Park H-M, Liang X, Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. Effect of compatibilizer on nanostructure of the biodegradable cellulose acetate/organoclay nanocomposites. *Macromolecules*. 2004; 37(24):9076-9082.
25. Bharadwaj RK. Modeling the barrier properties of polymer-layered silicate nanocomposites. *Macromolecules*. 2001; 34(26):9189-9192.
26. Nielsen LE. Models for the permeability of filled polymer systems. *Journal of macromolecular science—chemistry*. 1967; 1(5):929-942.
27. Rudra JS, Dave K, Haynie DT. Antimicrobial polypeptide multilayer nanocoatings. *Journal of biomaterials science. Polymer edition*. 2006; 17(11):1301-1315.
28. Kong H, Jang J. Antibacterial properties of novel poly(methyl methacrylate) nanofiber containing silver nanoparticles. *Langmuir*. 2008; 24(5):2051-2056.
29. Helbert W, Cavaille JY, Dufresne A. Thermoplastic nanocomposites filled with wheat straw cellulose whiskers. Part I: processing and mechanical behavior. *Polymer composites*. 1996; 17(4):604-611.
30. Azizi Samir MA, Alloin F, Dufresne A. Review of recent research into cellulosic whiskers, their properties and their application in nanocomposite field. *Biomacromolecules*. 2005; 6(2):612-626.
31. Gardner DJ, Oporto GS, Mills R, Aziz Samir MA. Adhesion and surface issues in cellulose and nanocellulose. *Journal of adhesion science and technology*. 2008; 22(5-6):545-567.
32. Wu Q, Henriksson M, Liu X, Berglund LA. A high strength nanocomposite based on microcrystalline cellulose and polyurethane. *Biomacromolecules*. 2007; 8(12):3687-3692.
33. Kvien I, Oksman K. Orientation of cellulose nanowhiskers in polyvinyl alcohol. *Applied physics A*. 2007; 87(4):641-643.
34. Freire CSR, Silvestre AJD, Neto CP, Gandini A, Martin L, Mondragon I. Composites based on acylated cellulose fibers and low-density polyethylene: Effect of the fiber content, degree of substitution and fatty acid chain length on final properties. *Composites science and technology*. 2008; 68(15-16):3358-3364.
35. Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: an overview. *Composite interfaces*. 2001; 8(5):313-343.
36. Hubbe MA, Rojas OJ, Lucia LA, Sain M. Cellulosic nanocomposites: a review. *BioResources*. 2008; 3(3):929-980.

37. Sriupayo J, Supaphol P, Blackwell J, Rujiravanit R. Preparation and characterization of  $\alpha$ -chitin whisker-reinforced chitosan nanocomposite films with or without heat treatment. *Carbohydrate polymers*. 2005; 62(2):130-136.
38. Azeredo HM, Mattoso LH, Avena-Bustillos RJ, Filho GC, Munford ML, Wood D, et al. Nanocellulose reinforced chitosan composite films as affected by nanofiller loading and plasticizer content. *Journal of food science*. 2010; 75(1):N1-N7.
39. Han W, Yu Y, Li N, Wang L. Application and safety assessment for nano-composite materials in food packaging. *Chinese science bulletin*. 2011; 56(12):1216-1225.
40. Dalmas F, Cavaillé J-Y, Gauthier C, Chazeau L, Dendievel R. Viscoelastic behavior and electrical properties of flexible nanofiber filled polymer nanocomposites. Influence of processing conditions. *Composites science and technology*. 2007; 67(5):829-839.
41. Zhou X, Shin E, Wang KW, Bakis CE. Interfacial damping characteristics of carbon nanotube-based composites. *Composites science and technology*. 2004; 64(15):2425-2437.
42. Lau AK-T, Hui D. The revolutionary creation of new advanced materials—carbon nanotube composites. *Composites part B: engineering*. 2002; 33(4):263-277.
43. Kim JY, Han SI, Hong S. Effect of modified carbon nanotube on the properties of aromatic polyester nanocomposites. *Polymer*. 2008; 49(15):3335-3345.
44. Liu L, Liu J, Wang Y, Yan X, Sun DD. Facile synthesis of monodispersed silver nanoparticles on graphene oxide sheets with enhanced antibacterial activity. *New journal of chemistry*. 2011; 35(7):1418-1423.
45. Heo S-Y, Choi H-J, Park B-J, Um J-H, Jung H-J, Jeong J-R, et al. Effect of protective layer on enhanced transmittance, mechanical durability, anti-fingerprint, and antibacterial activity of the silver nanoparticles deposited on flexible substrate. *Sensors and actuators A: physical*. 2015; 221:131-138.
46. Wiley B, Sun Y, Mayers B, Xia Y. Shape-controlled synthesis of metal nanostructures: the case of silver. *Chemistry-A European journal*. 2005; 11(2):454-463.
47. Cushen M, Kerry J, Morris M, Cruz-Romero M, Cummins E. Evaluation and simulation of silver and copper nanoparticle migration from polyethylene nanocomposites to food and an associated exposure assessment. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2014; 62(6):1403-1411.
48. Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Ramírez JT, et al. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*. 2005; 16(10):2346-2353.
49. Hu AW, Fu ZH. Nanotechnology and its application in packaging and packaging machinery. *Packaging engineering*. 2003; 24:22-24.
50. Espitia PJP, Soares NdFF, dos Reis Coimbra JS, de Andrade NJ, Cruz RS, Medeiros EAA. Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications. *Food and bioprocess technology*. 2012; 5(5):1447-1464.
51. Chen J, Wang F, Liu Q, Du J. Antibacterial polymeric nanostructures for biomedical applications. *Chemical communications*. 2014; 50(93):14482-14493.
52. Bouwmeester H, Dekkers S, Noordam MY, Hagens WI, Bulder AS, de Heer C, et al. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Regulatory toxicology and pharmacology*. 2009; 53(1):52-62.
53. Ahuja T, Mir IA, Kumar D, Rajesh. Biomolecular immobilization on conducting polymers for biosensing applications. *Biomaterials*. 2007; 28(5):791-805.
54. Lee S-K, Sheridan M, Mills A. Novel UV-activated colorimetric oxygen indicator. *Chemistry of materials*. 2005; 17(10):2744-2751.
55. Gutiérrez-Tauste D, Domènech X, Casañ-Pastor N, Ayllón JA. Characterization of methylene blue/TiO<sub>2</sub> hybrid thin films prepared by the liquid phase deposition (LPD) method: application for fabrication of light-activated colorimetric oxygen indicators. *Journal of photochemistry and photobiology A: chemistry*. 2007; 187(1):45-52.
56. Mills A, Hazafy D. Nanocrystalline SnO<sub>2</sub>-based, UVB-activated, colourimetric oxygen indicator. *Sensors and actuators B: chemical*. 2009; 136(2):344-349.
57. Xiao-e L, Green ANM, Haque SA, Mills A, Durrant JR. Light-driven oxygen scavenging by titania/polymer nanocomposite films. *Journal of photochemistry and photobiology A: chemistry*. 2004; 162(2-3):253-259.
58. Gomes C, Castell-Perez ME, Chimbombi E, Barros F, Sun D, Liu JD, et al. Effect of oxygen-absorbing packaging on the shelf life of a liquid-based component of military operational rations. *Journal of food science*. 2009; 74(4):E167-E176.
59. Berenzon S, Saguy IS. Oxygen absorbers for extension of crackers shelf-life. *LWT-food science and technology*. 1998; 31(1):1-5.
60. Kandimalla VB, Tripathi VS, Ju H. Immobilization of biomolecules in sol-gels: biological and analytical applications. *Critical reviews in analytical chemistry*. 2006; 36(2):73-106.
61. Fernández A, Cava D, Ocio MJ, Lagarón JM. Perspectives for biocatalysts in food packaging. *Trends in food science & technology*. 2008; 19(4):198-206.
62. Rhim J-W, Ng PK. Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2007; 47(4):411-433.
63. Sharma AL, Singhal R, Kumar A, Pande KK, Malhotra BD. Immobilization of glucose oxidase onto electrochemically prepared poly (aniline-co-fluoroaniline) films. *Journal of applied polymer science*. 2004; 91(6):3999-4006.
64. Qhobosheane M, Santra S, Zhang P, Tan W. Biochemically functionalized silica nanoparticles. *Analyst*. 2001; 126(8):1274-1278.
65. Rhim J-W, Park H-M, Ha C-S. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in polymer science*. 2013; 38(10-11):1629-1652.

## **Development of nanotechnology to improve the capability of maintaining critical and operational rations**

Talebzadeh S<sup>1</sup>, \*Sharifan A<sup>2</sup>

### **Abstract**

The packaging process is an essential in maintaining organoleptic, nutritional and sanitary properties of foods from production to consumption. The accumulation of materials which cannot be separated, especially the remains of various types of packaging materials in nature, has led to the use of biodegradable polymers in recent years, and the scientific significance of nanocomposites which increase due to their improved properties. polymer based nanocomposites are extensively used in modern technologies due to the advantages of advanced mechanical properties, thermal properties, impermeability properties, corrosion resistance and low cost. In the current study, we review the types of packaging compounds and applied nanofilters that are new generation of ready-to-eat food packaging in order to take advantage of the features of this system to maintain the quality of individual diets that are inevitable.

**Keywords:** Nanotechnology, Nanocomposites, Food Packaging

1. MSc, faculty of food science and technology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

2. Assistant professor, faculty of food science and technology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran (\*Corresponding Author)  
a.sharifan.s.t@gmail.com