افزایش ماندگاری مواد غذایی با بکارگیری نانو پوشش‌ها در صنعت بسته‌بندی

علیرضا سوخته سرایی[1*]، الهام نوروزی[2]

تاریخ دریافت مقاله:شهریورماه ۱۳۹۳

تاریخ پذیرش مقاله: خرداد ماه ۱۳۹٤

چکیده

در این تحقیق پتانسیل استفاده از نانو پوشش‌ها در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور این تحقیق در سه بخش کاربرد نانو پوشش‌ها در صنایع غذایی، نانو پوشش‌های طبیعی، خوراکی و تجزیه شونده طبقه‌بندی و ارائه گردیده است. استفاده از پوشش‌هایی در مقیاس نانو و یا چند اتمی، امکانات ویژه‌ای را در صنایع بسته‌بندی به وجود آورده است. پوشش‌ها که از دیرباز نقش خود را در حفاظت و زیباسازی سطوح نشان داده‌اند، امروزه و بخصوص در آینده، توانایی‌های ویژه‌ای را به کمک فنّاوری نانو به نمایش گذاشته و خواهد گذاشت. استفاده از پوشش‌ها در مقیاس نانو، مانند نانو موادی با پوشش‌های آنتی‌باکتریال فاقد میکروب‌کش‌های شیمیایی، مقاوم در برابر مواد شیمیایی، قلیایی و حرارت با انعطاف‌پذیری مناسب، لاک‌های مقاوم به خراش و خوردگی با انعطاف‌پذیری مناسب، پوشش‌های طبیعی و خوراکی که با درنظر گرفتن محل و نوع نانو پوشش مصرفی تغییر خواهد کرد، می‌تواند قابلیت‌ها و توانایی‌های بسیار خوبی را به صنعت بسته‌بندی مواد غذایی عرضه کنند. به طور کلی می‌توان گفت استفاده از نانو پوشش‌ها در صنایع بسته‌بندی باعث افزایش خواص کمی و کیفی محصول بسته‌بندی شده و زمان ماندگاری مواد غذایی را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی

نانو پوشش‌ها، بسته‌بندی، خوراکی و صنایع غذایی.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی خمیر و کاغذ دانشگاه تهران.

(* نویسنده مسئول: sukhtesaraie@ut.ac.ir)

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه تربیت مدرس(enouroozi@gmail.com).

۱- مقدمه

نانو مواد در اشکال و فرم‌های متعدّدی وجود دارند. تغییرات اساسی نه تنها از نظر کوچکی اندازه بلکه از نظر خواص جدید آن‌ها در سطح مقیاس نانو می‌باشد. مواد در مقیاس نانو به دسته‌های مختلفی نظیر نانو لایه‌ها[1]، نانو پوشش‌ها[2]، نانو خوشه‌ها[3]، نانو سیم‌ها[4] و نانو لوله‌ها[5] قابل تقسیم می‌باشند[۲۸]. اغلب مواد و محصولات مورد استفاده، نیاز به پوشش دارند؛ چون نباید در طی مراحل تولید، بسته‌بندی، ورود به بازار و مهم‌تر از همه در موقع مصرف، خواص و ویژگی‌های خود را از دست دهند. پوشش از یک لایه با ضخامت کم‌تر از مادهٔ پایه تشکیل شده است. پوشش‌ها دارای کاربردهای متنوعی در صنایع بسته‌بندی و لوزام خانگی هستند[۵ و ۲۸]. این پوشش‌ها سطوحی را که در معرض آسیب‌های محیطی مانند باران، برف، نمک‌ها، رسوب‌های اسیدی، اشعه ماوراء بنفش، نور آفتاب و رطوبت می‌باشند، محافظت می‌نمایند. از طرفی پوشش‌ها قابلیت خش برداشتن، تکّه تکّه شدن و یا آسیب‌دیدگی در زمان استفاده، ساخت و حمل‌ونقل را دارند. با یافتن راه‌حل‌هایی می‌توان از آسیب دیدن پوشش‌ها جلوگیری کرد. در حقیقت نانوپوشش‌ها نوعی از لایه‌های نازک هستند که یا ابعاد آن‌ها در حد چند نانومتر می‌باشد یا نانو ذرّات در آن‌ها پراکنده شده‌اند و خواص ویژه‌ای را به آن بخشیده‌اند. پوشش‌ها به دو صورت فعال و غیرفعال مطرح می‌باشند که در پوشش‌های غیرفعال، سازکار سد شوندگی فقط از طریق خواص ذاتی پوشش حاصل می‌شود حال آنکه در پوشش فعال از طریق ترکیب یک ماده که با اکسیژن و یا رطوبت واکنش می‌دهد، بهره می‌برند[۳٤]. بازار نانو پوشش‌ها در سال ۲۰۰۷ حدوداً ۸۱٤ میلیون دلار بوده است. دلیل این توجّه، ارزانی، دسترسی آسان، عملکرد و فرآیندپذیری خوب آن‌ها می‌باشد. در صنعت بسته‌بندی استفاده از مونت‌موریلونیت[6] به عنوان جزء افزودنی نانو مقیاس به انواع پلیمرها از جمله پلی‌اتیلن، پلی‌استر، نایلون و نشاسته در حال گسترش است. بسته‌بندی یکی از عوامل مؤثر در حفظ کیفیت و ایمنی غذا می‌باشد. تاریخچه بسته‌بندی به قرن نوزدهم برمی‌گردد. در آن زمان افرادی مانند آپرت[7] و لوئیس پاستور[8] بسته‌بندی مواد غذایی و مفاهیم نگهداری را توسعه دادند. در قرن بیستم نوآوری‌هایی همچون پوشش‌های سلوفان[9]، بطری‌های شیشه‌ای، فویل آلومینیوم و پلاستیک به صورت مفیدتر و با انعطاف‌پذیری بیشتری در مراقبت از غذاها به کار رفتند. از دیگر اختراعات قرن بیستم، ترکیب کردن بسته‌بندی ضدمیکروبی و تحت خلأ برای افزایش ماندگاری غذاها در برابر اثرات سوء محیط بود. با این حال، امروزه افزایش فرآوری غذا، میزان بالای صادرات، واردات و تولید و نبود زمان کافی برای تولید غذای تازه، صنایع بسته‌بندی و نگهداری را وادار به سرمایه‌گذاری برای توسعه بسته‌بندی‌های جدید کرده است[۸]. در این مطالعه سعی بر این است که با به کارگیری پوشش‌های نانویی، ویژگی‌های منحصر به فردی را که در صنایع بسته‌بندی به وجود می‌آیند، معرفی نماییم. چهار گروه مهم از نانوپوشش‌ها عبارتند از:

الف- پوشش‌های دانه‌ای

برای تولید پوشش‌های دانه‌ای، از نانو ذرّاتی استفاده می‌شود که ابعاد آن‌ها کم‌تر از ۵۰ نانومتر باشد. با چسباندن نانوذرّات روی یک مادهٔ زمینه، پوشش‌های دانه‌ای ایجاد خواهد شد. نانوذرّاتی مانند: دی اکسید تیتانیم[10]، اکسید مس، اکسید روی و آلومینا[11] از این دسته‌اند. به طور مثال از نانوذرّات آلومینا با خلوص ۹۹/۵ درصد و اندازه متوسط ۳٦ نانومتر می‌توان در پوشش‌های مقاوم به خراشیدگی، پوشش‌های نیمه رسانا و پوشش‌های محافظ در برابر پرتو ماوراء بنفش استفاده کرد[۷ و ۱۹]. به علاوه می‌توان ذرّات

1- Nanolayer
2- Nanocoating
3- Nanocluster
4- Nanowire
5- Nanotube

6- Montmorillonite
7- Apret
8- Louis Pasteur
9- Cellophane
10- Titanium dioxide
11- Alumina

آلومینا را بدون تغییر در ترکیب شیمیایی آن در رنگ‌های مختلف استفاده نمود. استفاده از پوشش‌دهی نانومتری موجب می‌شود که قطعات نیاز به رنگ مجدّد نداشته باشند؛ علاوه بر آن، سبک‌تر بوده و دارای طول عمر بیشتری باشند[۱۷ و ۱۹].

ب- پوشش‌های شبکه‌ای و چندلایه

این پوشش‌ها از هزاران لایه و هر لایه با ضخامتی در حدود ۱ تا ۵ نانومتر ساخته می‌شوند. هر لایه ساختار کریستالی[1] خاصی دارد و از عناصر مختلفی نظیر نیکل، تیتانیم، انادیم[2] و آلومینیوم ساخته می‌شوند[۱۹]. پوشش‌ها بسیار متراکم بوده و چگالی بالایی دارند و به عنوان پوشش‌های چند لایه با دانسیته بالا نیز شناخته می‌شوند. استفاده از این پوشش‌ها روی قطعات صنعتی موجب بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و همچنین دوام قطعات می‌گردد. از مهم‌ترین پوشش‌های شبکه‌ای می‌توان به پوشش‌های TiN/CrN و CrN/AlN و AlN/ZrN اشاره کرد[۲۰].

ج- پوشش‌های لایه نازک

پوشش‌های لایه نازک از لایه‌های متناوب با فازهای مختلف تشکیل شده‌اند. این لایه‌ها، سختی، مدول الاستیک[3] بالا و خواص سایشی خوبی دارند. دلیل افزایش سختی پوشش‌های نازک چندلایه، قرار گرفتن لایه‌های خیلی نازک با طول خط نابجایی[4] متفاوت روی هم و در نتیجه نزدیک شدن استحکام به حد تئوری آن است. به دلیل متفاوت بودن طول خطوط نابجایی‌ها در هر لایه، نابجایی‌ها نمی‌توانند از یک لایه به لایه دیگر حرکت کنند؛ چرا که طول خطوط نابجایی‌ها متفاوت است. بنابراین سختی این پوشش‌ها افزایش چشمگیری دارد. روش‌های مرسوم رسوب پوشش‌های لایه نازک شامل روش‌های رسوب فیزیکی بخار، شیمیایی بخار و الکتروشیمیایی هستند. روش دیگری که برای پوشش‌دهی لایه نازک استفاده می‌شود، روش لایه به لایه نام دارد. این روش براساس ایجاد چند لایه روی یک مادهٔ پایه استوار است. به طوری که هر دو لایه، باردار و دارای بار الکتریکی مخالف هستند. رسوب‌دهی به شکل متناوب انجام می‌شود تا ضخامت مورد نیاز حاصل گردد. در سال‌های اخیر، این روش توجّه زیادی را به خود جلب کرده است. این نوع پوشش‌دهی را برای قطعات هوایی و استخوان مصنوعی می‌توان به کار گرفت[۳۰].

د- پوشش‌های نانوکامپوزیتی

در بین چهار نوع از پوشش‌های نانوساختار، پوشش‌های نانوکامپوزیتی بیشترین کاربرد را دارند، زیرا با استفاده از آن‌ها می‌توان خواص منحصر به فرد شیمیایی و فیزیکی را بر روی سطح قطعات ایجاد نمود. این پوشش‌ها که از دو فاز زمینه و تقویت‌کننده تشکیل شده‌اند و فاز نانوکریستالی در مادهٔ زمینه جاسازی شده است. فاز آمورف می‌تواند پوشش‌های کربونیترید[5] یا برخی ترکیبات دیگر با سختی و مدول الاستیک مناسب باشد. به عنوان مثال می‌توان از شبه الماسی استفاده کرد که با جاسازی ذرّات TiN،Si_3N و AlN به عنوان فاز تقویت‌کننده و ساختار نانوکریستالی سختی در حدود ۵۰ تا ۷۰ گیگا پاسکال به دست می‌آورد[۱۹ و ۲۱].

فیلم‌های پلاستیکی نانو کامپوزیتی این قابلیت را دارند که از نفوذ اکسیژن، دی اکسید کربن و رطوبت به داخل ظروف جلوگیری کنند. بدین ترتیب ظروفی که در داخل آن‌ها از فیلم‌های نانو کامپوزیتی استفاده شده است باعث افزایش ماندگاری مواد غذایی می‌شود. نانو کامپوزیت‌های پلیمری سیستم‌های دوفازی هستند که یک ماتریس پلیمری و نانو ذرّات معدنی را شامل می‌شوند. در نهایت بکارگیری نانو ذرات در کامپوزیت باعث کاهش وزن و افزایش مقاومت‌های مکانیکی و حرارتی می‌شود.

1- Crystal structure
2- Vanadium
3- Elastic modulus
4- Dislocations
5- CarboNitride coating

۲- نانو پوشش‌ها در صنایع غذایی

فنّاوری نـانو، در بـسیاری از زمینـه‌هـای صـنایع غـذایی توانایی اثرگذاری دارد. این علم و فنّـاوری جدیـد مـی‌توانـد نقاط ضعف صنعت بسته‌بندی را برطرف کند. به عنوان مثـال در ساخت فیلم‌هایی با ساختارهای نانویی بـا افـزودن برخـی مواد در ساخت آن‌ها، به تولید بسته‌بندی‌هایی ختم مـی‌شـود که می‌تواند از تهاجم عوامل بیماری‌زا و میکروب‌هـا و دیگـر میکروارگانیسم‌هایی که بهداشت و سلامت غذا را به مخاطره مـی‌اندازنـد، جلـوگیری کننـد[۸ و ۹]. بمیـستر[1] و همکـاران (۲۰۰۹) اعلام کرده‌اند که همچنین نانو حسگرها نیز می‌توانند برای نمایش کیفیت مـواد غـذایی بـسته‌بنـدی شـده و اعـلام وضعیت سلامت آن‌ها به کار روند. به این شـکل کـه وجـود میکروب‌ها نانو حسگرهای به کار رفته تغییر رنـگ و حالـت می‌دهنـد[۷]. چـاو[2] و همکـاران (۲۰۰۷)، ابـراز داشـتند کـه استفاده از دانش نانو می‌تواند مسائل اساسی در زمینـهٔ ایمنـی صنایع غذایی را بهبود بخشد و سبب بهبود کیفیت و کـارایی مواد بسته‌بندی و در نتیجه اطمینـان از امنیـت غـذایی گـردد. بسته‌بندی‌هـای دارای نـانو ذرّات مـی‌تواننـد هوشـمندانه بـه شرایط محیطی(دما و رطوبت) پاسخ دهند و یا مصرف‌کننده را در زمینهٔ آلودگی‌ها و یا حضور مـواد سـمّی آگـاه سـازند. برخی نانو موادی که می‌توانند ویژگی‌های نفوذپـذیری مـواد بسته‌بندی را تغییر دهند، سبب بهبود ویژگـی‌هـای مکـانیکی، شیمیایی، حرارتی و میکروبـی مـی‌شـوند[۸]. ایـن بـسته‌هـا توانایی کاهش رشد قارچ‌ها را دارند[۲۹]. نـانو ذرّات اکـسید مس، منیزیم و نقره دارای خاصـیت ضـد میکروبـی هـستند. فعالیت ضدمیکروبی نقره به دلیل واکنش یـون‌هـای نقـره بـا ریبوزوم‌ها[3] و جلوگیری از بیان آنـزیم‌هـای مـرتبط بـا ATP می‌باشد. پلاستیک‌ها به طور وسـیعی در صـنایع بـسته‌بنـدی استفاده می‌شوند. با این وجود، استفاده از آن‌ها به دلیـل عـدم توانایی آن‌ها در جلوگیری از عبور اکسیژن، دی‌اکسید کـربن، آب و ترکیبات معطر، با محدویت‌هایی روبرو اسـت[۳٤]. استفاده از نانو ذرّات در پلاستیک‌ها می‌تواند سـبب بهبـود خاصیت نفوذ و همچنین تغییر قابلیـت نفوذپـذیری غـشاء شود. به عنوان مثال بسته‌های حاوی نانو ذرّات رس دارای مزایایی از قبیل نفوذ ناپذیری هـستند کـه ایـن نـانو ذرّات سبب جلوگیری از عبور اکسیژن، اشعه‌های نوری، حرارتی و ممانعت‌کنندگی مـی‌گردنـد، همچنـین موجـب افـزایش شفافیت بسته می‌شـوند. فـیلم‌هـای زیـست تخریـب‌پـذیر نشاسته و نانو ذرّات رس نیز می‌توانند در بسته‌بنـدی مـواد غذایی به منظور افزایش ایمنی غذایی با توجّه به خاصـیت ضد میکروبی نانو ذرّات به کـار رونـد[۱۱]. بـا اسـتفاده از نانو ذرّات امکان تولید بطری‌هـایی بـا نفوذپـذیری کـم‌تـر نسبت به نور و مقاومت مکانیکی و حرارتـی بهتـر وجـود دارد. این بسته‌ها سـبب افـزایش زمـان مانـدگاری، حفـظ رنـگ، عطـر و طعـم مـواد غـذایی، جلـوگیری از رشـد میکروارگانیسم‌ها و تسهیل عملیات حمل‌ونقل و نگهداری می‌شوند. با اسـتفاده از بـسته‌هـای حـاوی نـانو حـسگرها مصرف‌کننده نیز می‌تواند نسبت به پیشینهٔ شرایط نگهداری (ماننـد دمـا و غیـره) آگـاه شـود. آولا[4] (۲۰۰۵)، از نـانو سیلیکات[5] برای بسته‌بندی مواد غذایی و فسادپذیر اسـتفاده کرد و اعلام نمود کـه نـانو ذرّات سـیلیکات کلـسیم دارای سـاختار متخلخـل و خاصـیت جـذب رطوبـت هـستند. آلکان‌های فاز متغیر[6] می‌تواننـد بـرای ذخیـرهٔ حـرارت در بسته‌های غذایی استفاده شوند. در این حالـت، نـانو ذرّات سیلیکات کلسیم می‌توانند آلکان‌های فـاز متغیـر بـا دمـای ذوب ۸ درجه سانتی‌گراد را درون ساختار متخلخـل خـود قـرار دهنـد. ایـن بـسته‌هـا دارای ویژگـی‌هـای حرارتـی فوق‌العاده‌ای بوده که می‌توانند دمای داخل بسته را پـس از افزایش دمای محیط تا ۲۳ درجه سـانتی‌گـراد بـه مـدّت ۵ ساعت در حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد حفظ نمایند. از ایـن ویژگی می‌توان برای حفظ کیفیت مواد غذایی حساس طی حمل‌ونقـل و افـزایش زمـان مانـدگاری و امنیـت غـذایی

1- Bimester
2- Chuv
3- Ribosomes
4- Uvla
5- Nano-silicate
6- Variable phase

بهره جست[٤]. ساکاریدهای[1] زیست تخریب‌پذیر، غیر سمّی و زیست سازگار هستند. نانوفیبرهای[2] تولید شده از کیتوزان[3] به عنوان پوشش‌های بسته‌بندی خاصیت ضد میکروبی و آنتی باکتریال خوبی از خود نشان دادند[١٦]. استفاده از نانو ذرّات نقره با غلظت ۱ و ۲ درصد در بسته‌بندی زرشک باعث کاهش رشد کپک‌ها، شمارش کلی باکتری‌ها و بهبود رنگ محصول می‌شود[١٥]. نانو کامپوزیت یک جایگزین جدید برای روش‌های سنتی به منظور بهبود خصوصیات پلیمرها به حساب می‌آید یک نانو کامپوزیت[4] پلیمری؛ هیبریدی[5] متشکل از یک ماتریس[6] پلیمری است که به وسیله فیبرها، صفحات یا ذرّاتی تشکیل شده‌اند که در یک بعد در مقیاس نانو دارند به دلیل اندازه نانومتری ذرّاتی که در ماتریس پلیمری پراکنده می‌شوند. این نانو کامپوزیت‌ها در مقایسه با پلیمرهای خالص یا کامپوزیت‌های قدیمی خصوصیات مکانیکی، حرارتی، نوری، فیزیکی و شیمیایی به مراتب بهبود یافته‌تری را نشان می‌دهند که از جمله می‌توان به افزایش مدول، استحکام، مقاومت حرارتی و کاهش نفوذپذیری به گازها با افزودن مقادیر کم از این مواد اشاره کرد[٣ و ٤]. صنعت بسته‌بندی به طور خاصی توجّه خود را روی ترکیبات جامد معدنی نظیر ذرّات رس‌ها و سیلیکات‌ها متمرکز کرده است. علت این توجّه در دسترس بودن آن‌ها، ارزانی، بهبود آشکار خواص و توانایی عمل‌آوری نانو رس متشکل از صفحاتی به ضخامت یک نانو و نسبتاً ساده می‌باشد[٤]. به طور کلی لایه‌های رس در برابر نفوذ گازها و بخار آب مانع خوبی ایجاد می‌کنند. بنابراین افزودن آن‌ها به پلیمرهای زیستی به طور مؤثری موجب افزایش خواص بازدارندگی و بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی می‌شود. سطوح بسیار زیاد نانو رس، مانع‌شوندگی فیلم‌های کیتوزانی را به طور قابل توجّهی افزایش می‌دهد که برای کاربرد بسته‌بندی مواد غذایی ضروری می‌باشد[٣].

٣- نانو پوشش‌ها در صنعت کاغذ و کارتن

جانسون[7] و همکاران (۲۰۰۷)، با تزریق ماده تغییر فازی (نظیر موم پارافین[8]) به میزان ۳۰۰ ٪ وزنی، در ساختار متخلخل نانوسیلیکات کلسیم، کامپوزیتی را تهیه نمودند؛ سپس به منظور بررسی افزایش مقاومت بسته‌بندی از جنس مقوا، در برابر تغییرات دید دمایی این ترکیب را به دیواره داخلی بسته‌بندی اضافه کردند. در دماهای بالاتر از نقطه ذوب پارافین، این فاز متغیر داخل ساختمان کامپوزیت به مایع تبدیل می‌شود. با تعبیه کامپوزیت اخیر در جداره داخلی بسته‌بندی کاغذی، ظرفیت تغییرات دمایی به میزان کافی افزایش می‌یابد. به طوری که پس از مواجهه با دمای محیط تا حدود ۲۳ درجه سانتی‌گراد، این ترکیب قادر است در زمانی حدود ۵ ساعت، دمای محیط داخل بسته‌بندی را در ۱۰ درجه سانتی‌گراد، در طول مدّت حمل‌ونقل و ماندگاری، به ویژه در مواجهه با درجه حرارت‌های متغیر محیطی که از محل تولید تا مصرف متغیر خواهند بود در ۱۰ درجه سانتی‌گراد نگه دارد[٢١].

٤- نانو پوشش‌های طبیعی، خوراکی و تجزیه شونده

مطالعات زیادی بر روی تولید و عرضه فیلم‌های خوراکی صورت گرفته؛ اما تاکنون گزارشات کمی در خصوص امکان اختلاط نانو ذرّات در فیلم های خوراکی، به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها ارائه شده است. اجزاء پوشش‌های خوراکی در سه گروه طبقه‌بندی می‌گردند:

الف- پلی‌ساکاریدهای محلول در آب نظیر هیدروکلوئیدها[9] و پروتئین‌ها.

1- Saccharides
2- Nanofibers
3- Chitosan
4- Nanocomposite
5- Hybride
6- Polymer matrix

7- Johnston
8- Paraffin
9- Hydrocolloids

ب- چربی‌ها و لیپیدهای[1] محلول نظیر موم، آسیل گلیسرول[2] و اسیدهای چرب.

پ- کامپوزیت‌ها (حاصل تلفیق پلی‌ساکارید، پروتئین و چربی)[۳۱].

٤-١- نانو پوشش‌های خوراکی

نانو لایه‌ها به دلیل مزیت‌هایی که در آماده‌سازی فیلم‌های خوراکی دارند، کاربردهای مهمی در صنعت مواد غذایی برای خود ایجاد کرده‌اند. امروزه از فیلم‌های خوراکی به منظور پوشش شمار زیادی از مواد غذایی نظیر میوه و سبزیجات، گوشت، سیب زمینی سرخ شده، محصولات نانوایی، شیرینی و شکلات استفاده می‌شود[۲۲ و ۲۹]. این قبیل فیلم‌ها سبب حفاظت مواد غذایی در برابر رطوبت، فساد چربی و عبور گاز می‌شوند، همچنین به عنوان حامل عوامل فعالی نظیر رنگ، عطر و طعم، آنزیم، آنتی‌اکسیدان‌ها، ترکیبات ریزمغذّی، ضد قهوه‌ای شدن و میکروبی معرفی می‌گردند. اولین ماده تشکیل‌دهنده فیلم‌های خوراکی پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و چربی‌ها می‌باشند. فیلم‌های بر پایه پروتئین و پلی‌ساکارید ممانعت‌کننده خوبی در برابر نفوذ گازهای اکسیژن، دی اکسید کربن و ممانعت‌کننده ضعیفی در برابر انتقال رطوبت می‌باشند؛ اما نانو لایه‌های بر پایه چربی، از نفوذ رطوبت به مقدار زیاد جلوگیری کرده و در برابر ممانعت از انتقال گاز هم موفق عمل می‌کنند[۲ و ۱۱]. بررسی‌ها در زمینه بهبود ویژگی‌های عملکردی فیلم‌های خوراکی، منجر به کاربرد برخی مواد افزودنی نظیر پلی‌ال‌ها[3]، قطرات امولسیون[4]، ماده فعال سطحی[5] و فیبرها[6] گردید. ماده غذایی به داخل تانک حاوی مواد جاذب که مستقیماً به سطح ماده غذایی چسبیده می‌شوند، غوطه‌ور شده و یا محلول حاوی مواد جاذب بر روی سطح مواد غذایی پاشیده می‌شود. نیروهای متعدّد الکترواستاتیک[7]، هیدروژنی[8] و هیدروفوبی[9] سبب اتصال لایه‌ها و سطح ماده غذایی می‌گردند. درجه جذب مواد بستگی به سطح غذا و نیز طبیعت ماده جذب‌شونده دارد؛ همچنین در حین عملیات، به طور پیوسته ضخامت و ویژگی ساختمان لایه‌های تشکیل‌دهنده در اطراف، کنترل می‌شود[۳٦ و ۳۷].

٤-٢- نانو پوشش‌های تجزیه شونده، حاصل از منابع تجدید شونده

٤-٢-١- نانو کامپوزیت نشاسته

تاکنون پژوهش‌های زیادی در خصوص نانو کامپوزیت‌های تجزیه‌پذیر صورت گرفته است؛ اما بیش‌ترین سهم بازار مربوط به بسته‌بندی بر پایه نشاسته و مشتقات آن انجام گرفته است. نشاسته از جمله موادی است که به دلیل دسترسی زیاد طبیعت متخلخل و قیمت پایین در صنعت بسته‌بندی مزایای زیادی را به همراه دارد؛ به عنوان مثال جایگزینی نشاسته در بسته‌بندی گوشت، منجر به جذب خونابه به میزان قابل توجّهی می‌شود[۵ و ۳۵]. افزون بر مطالب اخیر، نشاسته به طور کامل در خاک و آب تجزیه‌پذیر است و در اختلاط با پلاستیک‌های غیرقابل تجزیه سبب پیشبرد تجزیه زیستی آن‌ها می‌گردد. نشاسته، به تنهایی، به عنوان ترکیب بسته‌بندی قادر به تشکیل فیلم با ویژگی مکانیکی مناسب نمی‌باشد مگر زمانی که به صورت شیمیایی و به کمک نرم کننده‌ها[10] تغییراتی روی آن صورت گیرد، پلاستی‌سایزرهای رایج جهت پلیمر آبدوستی چون نشاسته، شامل گلیسرول و سایر ترکیبات پلی‌هیدروکسی با وزن مولکولی پایین نظیر پلی‌اتیلن گلایکول[11]، اوره و آب می‌باشند. فیلم‌های نانو کامپوزیت حاصل از اختلاط نشاسته/ خاک‌رس، با قابلیت تجزیه‌پذیری زیستی بالا، نسل جدیدی از مواد بسته‌بندی را در مقیاس ۱ نانومتر در بستر نشاسته- سطح نانو فراهم می‌سازد. در این قبیل فیلم‌ها که از انتشار یکنواخت نانو

1- Lipide
2- Acylglycerol
3- Polyols
4- Emulsion droplets
5- Surfactants
6- Fibers
7- Electrostatic Force
8- Hydrogen Bond
9- Hydrophobic
10- Plastisizer
11- Polyethylene glycol

ذرّات منوتموریلونیت[1] با متوسط قطر ۱۰۰ نانومتر و از طریق فرآیند ذوب پلیمر حاصل می‌شوند در واقع نوعی ادغام مناسب میان فاز پلیمری و لایه‌های داخلی خاک رس انجام می‌گیرد به نحوی که سبب بهبود ویژگی‌های مکانیکی بسته‌بندی نظیر افزایش مدول‌ها و قدرت کشسانی بسته‌بندی می‌گردد[۱ و ۳۳]. تأثیر الحاق دو نوع مونت‌موریلونیت آبگریز و آبدوست اصلاح شده با یون سدیم در غلظت ۵ درصد وزنی در پلیمر نشاسته گندم، ذرّت، سیب زمینی و ذرّت مومی را بر ویژگی‌های رئولوژیکی(مدول الاستیک)، فیلم تولیدی مطالعه نمودند؛ بر این اساس نانو کامپوزیت‌های حاصل از مونت‌موریلونیت آبدوست دارای مدول الاستیک بیشتر در مقایسه با نوع آبگریز بودند؛ همچنین از میان کلیه تیمارها، دو فیلم نانو کامپوزیت بر پایه نشاسته سیب زمینی و ذرّت مومی دارای بیشترین مدول الاستیک بودند. این امر ناشی از حضور آمیلوز[2] بیشتر در بافت آن‌هاست که منجر به پیوند بیشتر میان آمیلوز آزاد، گرانول‌های[3] نشاسته و نانو ذرّات رس می‌گردد[۲۵ و ۳۲]. استفاده از فیلم‌های زایلانی[4] و مانانی[5] باعث ایجاد یک پوشش مناسب با نرخ سد شوندگی بسیار بالا در برابر اکسیژن و روغن‌ها می‌گردد که این مواد باعث ازدیاد مسیرهایی در بستر پوشش می‌شوند که مسیر عبور مواد را طولانی می‌کنند[۱۸].

٤-۲-۲- نانو کامپوزیت نشاسته ترموپلاستیک[6]

نشاسته طی فرآیند ترزیق و تحمل انرژی مکانیکی و حرارتی، تبدیل به ماده‌ای ترموپلاستیک می‌گردد؛ در حین تولید نشاسته ترموپلاستیک، پلاستی‌سایزر با کاهش پیوندهای هیدروژنی درون مولکولی، مقاومت و ثبات محصول را تأمین می‌نمایند[۱۱]. اخیراً خاک رس به عنوان پرکننده‌ای مناسب جهت بهبود ویژگی‌های نشاسته ترموپلاستیک مورد استفاده قرار گرفته است. از این رو، نشاسته ترموپلاستیک قادر خواهد بود، در بسته‌بندی میوه و سبزیجات، انواع اسنک[7] و مواد غذایی خشک که نیاز به شرایط محافظتی در برابر اکسیژن، رطوبت و ضربات مکانیکی دارند، شرایط مطلوب را تأمین نماید[۵ و ۱۱]. اولاً(۲۰۰۵)، امکان افزودن نانو ذرّات رس بر دو نوع کامپوزیت نشاسته ترموپلاستیک و نشاسته/ پلی‌استر را مورد ارزیابی قرار داد و اعلام کرد که نانو کامپوزیت نشاسته/ اکسید روی/ پلی‌پروپیلن را در بسته‌بندی مواد غذایی از قبیل کاهو و اسفناج استفاده کردند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانو اکسید روی، ویژگی مکانیکی فیلم افزایش یافت. همچنین فعالیت ضد میکروبی نانو کامپوزیت تولیدی در برابر دو باکتری پاتوژن استافیلو کوکوس اورئوس[8] و کلبسیلا پنومونیا[9]، آن را به عنوان گزینه‌ای مطلوب جهت صنایع بسته‌بندی غذایی معرفی می‌نماید[۵].

٤-۲-۳- پلی‌لاکتیک اسید[10]

از جمله پلیمرهای دیگر دوستدار محیط زیست می‌توان به پلی‌لاکتیک اسید اشاره کرد. مطالعاتی برای بررسی و ارزیابی کیفیت پنیر نیمه سخت[11] در بسته‌بندی پلی‌لاکتیک اسید در مقایسه با بسته‌بندی پلی استر انجام شده است. مهاجرت اجزای فرار پلی‌لاکتیک اسید به داخل پنیر بسیار جزئی بوده و کاملاً از شاخص‌های بحران پایین‌تر است. پیشرفت اکسیداسیون لیپیدین[12] و تخریب و کاهش ریبوفلاوین[13]، در حضور اکسیژن و نور به صورت توأم رخ می‌دهد. میزان اکسیژن موجود در بسته‌بندی پلی‌لاکتیک اسید از دیگر مواد پایه‌ای بسته‌بندی بیشتر است، در نتیجه سرعت انتقال اکسیژن در بسته‌بندی پلی‌لاکتیک اسید افزایش می‌یابد. برای کاهش درجه

1- Montmorillonite
2- Amylose
3- Granules
4- Xylane
5- Mannan
6- Termoplastic

7- Snacks
8- Staphylococcus aureus
9- Klebsiella pneumoniae
10- Poly lactic acid Nanocomposite
11- Semi-hard
12- Lipidin
13- Riboflavin

اکسیداسیون[1] لیپیدی می‌توان از تاریکی(غیاب نور) استفاده کرد و برای کاهش بیشتر می‌توان از اکسیژن استفاده نمود. ریبوفلاوین به یک میزان در بسته‌بندی پلی‌لاکتیک اسید و بسته‌بندی‌های شاهد، کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که در صورت استفاده از بسته‌بندی پلی‌لاکتیک اسید، نگهداری در تاریکی و استفاده از مواد غیر شفاف و کاهش میزان بخار آب خروجی از پنیر، امکان‌پذیر خواهد بود که در این صورت، محصول در برابر اکسیداسیون و کاهش رطوبت محافظت خواهد شد[۳۲].

٤-۲-٤- نانو کامپوزیت کیتوزان

کیتوزان از جمله فراوان‌ترین آمینو پلی‌ساکاریدهای طبیعی است که به صورت وسیعی در تولید مواد غذایی و به منظور شفاف‌سازی و اسیدزدایی آب میوه‌ها، جهت تصفیه آب و به عنوان نگهدارندهٔ ضد اکسیداتیو در مواد غذایی گوشتی استفاده می‌شود؛ اما ویژگی‌هایی نظیر قابلیت تشکیل فیلم، تجزیه شوندگی زیستی و فعالیت ضد میکروبی، ترکیب اخیر را به عنوان گزینه‌ای مطلوب جهت بسته‌بندی مواد غذایی معرفی نموده است. در کنار کاربرد وسیع کیتوزان، تحقیقات زیادی در خصوص بهبود ویژگی‌های فیلم کیتوزان خالص انجام شده است. فیلم‌های نانوکیتوزان به دلیل پراکنش مناسب ذرّات نانو سیلیکات در ماتریس کیتوزان از شفافیت بالایی برخوردارند؛ اما با افزایش میزان هکتوریت، ویژگی نوری فیلم‌های نانو کامپوزیت نیز به تدریج کاهش می‌یابد. پدیده اخیر به واسطه افزایش تمایل ذرّات رس به تشکیل توده و در مواجهه با افزایش میزان هکتوریت[2] می‌باشد. بهترین ویژگی فعالیت ضد میکروبی نانو کامپوزیت هکتوریت/ کیتوزان موجود در محلول کیتوزان می‌تواند با فرضیه‌های متفاوتی در خصوص فعالیت ضدمیکروبی کیتوزان مطرح شود. در گزارشی دیگر مشخص شده که هکتوریت به واسطه جذب سطحی توکسین‌های[3] باکتریایی تجمع یافته در مجاری گوارشی دارای ویژگی توکسین‌زدایی می‌باشد. فعالیت ضد میکروبی نانو کامپوزیت هکتوریت/ کیتوزان را به دو مرحله تقسیم می‌نمایند. اولین مرحله شامل جذب باکتری از محلول و تثبیت آن بر روی لایه هکتوریت و دومین مرحله شامل تجمع کیتوزان بر سطح لایه رس می‌باشد. کتیوزان موجود در اطراف لایه‌های هکتوریت از رشد باکتری‌ها ممانعت به عمل می‌آورد[۲٦ و ۳۵].

۵- نانو پوشش‌های رنگی

یکی از مهم‌ترین مسائل در اقتصاد جهانی حمل و نقل کالا می‌باشد و حمل ونقل‌ها بایستی دارای ویژگی‌های خاصی نظیر ایمنی و ارزان قیمت بودن باشند. حال در صنایع گوناگون از مواد و مصالح مختلفی نظیر چوب، فلز، پلاستیک، شیشه و همچنین فرآورده‌های مرکب جهت بسته‌بندی قطعات الکترونیکی، ابزارآلات و ماشین‌آلات کارخانه‌ها و دیگر وسایل استفاده می‌شود. همچنین نوع بسته‌بندی و پوشش اعمال شده بر سطوح آن‌ها می‌توانند تأثیر زیادی بر کیفیت محصولی که در داخل آن‌ها نگهداری می‌شود، داشته باشند. می‌توان با استفاده از نانو پوشش‌هایی بر سطوح این بسته‌بندی‌ها، مقاومت آن‌ها را نسبت به عوامل مخرب فیزیکی(جذب رطوبت، عبور اشعه ماوراء بنفش، قارچ‌ها و موریانه‌ها)، مکانیکی (سایش، مقاومت به ضربه و خوردگی) و شیمیایی افزایش داد[٦].

٦- نانو پوشش‌های هیبریدی

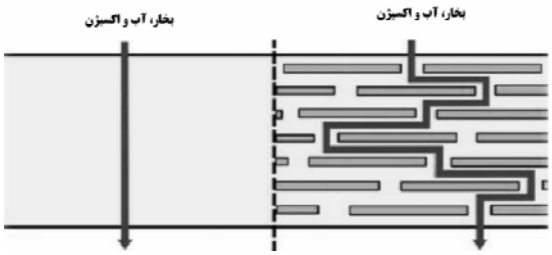
نانوپوشش‌های هیبریدی به دلیل دارا بودن ساختارهای آلی و معدنی، ترکیبی از خواص مانند چقرمگی، فرآیندپذیری، الاستیسیته[4]، مقاومت در برابر نفوذ آب، بخار و اکسیژن را برای بسته‌بندی ایجاد می‌کنند[۵ و ۱۱]. اغلب پوشش‌های سطح از خواص مکانیکی، فیزیکی، حرارتی، شیمیایی و نوری برخوردار هستند؛ اما برای بسته‌بندی محصولات دارویی خواصی مانند نفوذ ناپذیری بسیار حائز اهمیت است. جذب رطوبت در سلول‌های خورشیدی و

1- Oxidation Rate
2- Hectorite
3- Toxins
4- Elasticity

دیودهـای نـور گـسیل و یـا نمایـشگرها باعـث اخـتلال در عملکرد الکتریکی و نوری می‌شود به همـین علـت بـازار در صدد استفاده از نانو پوشش‌ها جهت ایجاد لایه سدی شـونده با خاصیت نفوذ ناپذیری بسیار زیاد برای کاربردهـای خـاص می‌باشد. اتیلن وینیل الکل[1] یکی از بهترین پوشـش‌هـا بـرای ایجاد خواص سد شوندگی می‌باشـد. ایـن مـاده بـه صـورت مجزا استفاده می‌شود. البته قابل توجّه است که دما و رطوبت (رطوبت در فصل مشترک) خواص سد شوندگی را به شدّت کاهش می‌دهند. شنگیو[2] و همکاران(۲۰۱۳)، فـیلم هیبریـدی نانوسیلیکا/ کیتوزان را با استفاده از تترا اتوکـسید[3] بـا فرآینـد سل-ژل تولید کردند که این فیلم باعث افزایش چرخه مجـاز نگهداری مواد غذایی، کاهش شاخص قهوه‌ای شدن، کـاهش نرخ کاهش وزن مواد و افزایش میزان مانـان دی آالدئیـد[4] در مواد غذایی شد[۴۳]. فعالیت پروکسیداز میوه‌هایی که با فیلم هیبریدی پوشش داده شده بودند، پایین‌تر از تیمارهای دیگـر بوده است. کاهش میزان مواد جامد، اسیدیته قابل تیترسـنجی و اسید اسکوبیک[5] با استفاده از فیلم هیبریدی منجـر بـه ایـن شد که فیلم نانو سیلیکا/ کیتـوزان یـک لایـه مـانع شـوندگی مناسب برای ذخیره مواد غذایی بـرای طـولانی مـدّت تولیـد نمایند.

۷- نانو پوشش‌های نفوذ ناپذیر

امروزه از نانو پوشـش‌هـای نفـوذ ناپـذیر در بـسیاری از بسته‌بندی‌های پلیمری شفاف و منعطف به دلیل هزینه و وزن کم و همچنین حمل و نقل آسان استفاده مـی‌شـود. همچنـین این مواد از خاصیت سد شـوندگی بـسیار بـالایی برخـوردار هستند. این نانو پوشش‌هـا کـارایی بهتـری نـسبت بـه فویـل آلومینیـوم دارنـد. بـه عنـوان مثـال بکـارگیری نـانو رس ویژگی‌های خوبی برای استفاده در بسته‌بندی مانند باز شـدن لایه‌ها از همدیگر و پراکنده شدن آن‌ها در ماتریس پلیمری و همچنین اصلاح سطح آن‌ها جهت بر هم کـنش بهتـر بـین ماتریس پلیمری و نانو ذرّات دارد. نـانو ذرّات خـاک رس معمولاً به صورت صفحات دو بعدی با ضخامت نانومتری می‌باشند هنگامی کـه ایـن صـفحات در مـاتریس پلیمـری پراکنده می‌شوند مـسیر بـسیار پـر پـیچ و خمـی را ایجـاد می‌کنند که نفوذ گاز را به شدّت کاهش می‌دهد (شکل-۱). اخـتلاط سـاده خـاک رس و پلیمـر باعـث تـشکیل نـانو کامپوزیت نمی‌شود زیرا لایه‌ها به صورت کلوخه‌ای شـکل تشکیل می‌شوند و برهم کنش ضعیفی بین پلیمـر و خـاک رس حاصل می‌شود؛ اما بکارگیری میزان کمی از نـانو رس در بستر پلیمر به شدّت ویژگی نفـوذ ناپـذیری را افـزایش می‌دهد.



شکل۱- مکانسیم سد شوندگی نانو پوشش‌های نفوذ ناپذیر

۸- نانو لوله‌های کربنی

خواص ویژه نانو لوله‌های کربنی از جمله مدول یانـگ و استحکام کششی زیاد، کـم وزن بـودن، پایـداری زیـاد و سادگی باعث شـده کـه در دهـه اخیـر شـاهد کاربردهـای صنعتی این ماده باشیم. تحقیقات زیادی پیرامون استفاده از نانو لوله‌های کربنی از نـوع زیگزاکـی بـرای پوشـش‌هـای بسته‌بندی صورت گرفته است زیرا این نانو مـواد، توانـایی بالایی در ایجاد مانع شوندگی نسبت به اکسیژن و رطوبـت را حاصل می‌کنند و این نوع بسته‌بندی‌ها بیشتر برای مـواد غذایی که ارزش افزوده بالا دارند و برای صادرات مطـرح می‌باشند بکار گرفته می‌شوند[۴۳].

1- Ethylene vinyl alcohol (EVOH)
2- Shengu
3- Tetraethoxide
4- Dialdehyde
5- Ascobic acid

۹- اثرات نانو پوشش‌ها بر شاخص‌های مختلف

۹-۱- تأثیر نانو پوشش‌ها در کاهش جذب رطوبت چوب

طراحی ساختار پوشش باید براساس چگالی اتصالات عرضی، قطبیت مناسب(آب دوستی/ آب گریزی) و درجه بلورینگی معین استوار باشد. همچنین نکته بسیار مهم در انتخاب پوشش‌ها سازگاری پوشش با خود محصول می‌باشد و در صورتی که محصول دارای آب باشد انتخاب پوشش محدود می‌شود[۲۱ و ۳٤]. مطالعات نشان می‌دهند که اجزای تشکیل دهندهٔ لاک‌ها بر روی ضریب انتشار آن‌ها تاثیرگذار هستند و بیش‌ترین ضریب نفوذپذیری مربوط به پوشش رنگی است که در آن از حلال آبی استفاده شده باشد[۱۲]. تحقیقات غلامیان و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که با پوشش‌دهی سطح چوب با نانو پوشش‌های زایکوسیل[1] و زایکوفیل[2] می‌توان نفوذپذیری گازها و مایعات را در سطح چوب کاهش داد. همچنین با استفاده از نانو پوشش‌های رنگی پلی(وینیلیدن‌فلورید) به نتایج یکسانی دست یافتند. پوشش دادن سطح چوب با ترکیبات پلی‌اولفین اصلاح شده با نانو زیرکونیم[3] به دلیل افزایش زاویه تماس آب، مقاومت آن را نسبت به جذب آب افزایش می‌دهد. تحقیقات انجام گرفته بر روی تأثیر نانو ذرّات کربنات مس و اکسید آهن بر روی خواص جذب آب نشان می‌دهند که میزان جذب رطوبت ارتباط نزدیکی با نوع نانو پوشش مصرفی دارد[۱۷]. تحقیقات غلامیان و همکاران(۱۳۸۹) بر روی تأثیر پوشش‌های رنگی و نانو ذرّات مختلف مانند نانو رس و نانو تیتانیوم بر روی جذب آب نشان داد که می‌توان با نانو پوشش‌ها میزان نم‌پذیری و جذب آب را کاهش داد[۱۸].

۹-۲- تأثیر نانو پوشش‌ها بر اشعه ماوراء بنفش

پژوهش‌های زیادی پیرامون تأثیر نانو پوشش‌های رنگی بر روی کاهش تغییر رنگ در سطوح مواد صورت گرفته است. تحقیقات نشان داد که می‌توان با استفاده از نانو رنگ‌های اکریلیکی اصلاح شده با یورتان از تغییر رنگ سطح چوب‌هایی که در معرض اشعه ماوراءبنفش می‌باشند، جلوگیری نمود. لانگ چو[4](۲۰۰) بر روی تأثیر پوشش‌های رنگ بر افزایش ثبات و جلوگیری از تغییر رنگ سطوح مواد مختلف آزمایشاتی انجام دادند. نتایج نشان دادند که با اضافه نمودن پلی‌یورتان‌ها به رنگ‌های شفاف می‌توان تا حد زیادی از تغییر رنگ سطح چوب جلوگیری نمود. در این تحقیق از دو نوع پلی‌یورتان با و بدون مواد نگهدارنده روشنی استفاده شد، پلی‌یورتان‌های خطی مقاومت بیش‌تری به تغییرات رنگی نسبت به پلی‌یورتان‌های آروماتیک از خود نشان دادند[۲۷].

۹-۳- تأثیر نانوپوشش‌ها در مقاومت به قارچ‌ها و موریانه‌ها

باکتری‌ها و قارچ‌های مخرب در مناطقی بیشتر رشد می‌کنند که رطوبت و اکسیژن به اندازه کافی وجود داشته باشد، معمولاً سطوح خارجی بسته‌بندی که در معرض رطوبت قرار می‌گیرند، اغلب در معرض حملات باکتری‌هایی مانند لکه آبی، کپک و قارچ‌های نابودکننده قرار دارند. جلوگیری از تماس باکتری‌ها با سطوح می‌تواند روش مناسبی برای به حداقل رساندن تکثیر کلونی‌های میکروبی یا تشکیل کپک در چوب باشد[۲۳]. لیچ[5] (۲۰۰٤)، اصلاح سطح با استفاده از نانو ذرات سیلیکا، تکثیر باکتری‌ها و کلونی‌های قارچ‌ها را به طور چشمگیری کاهش داد. ذرّات کروی سیلیکا، با قطری در حدود ۱۰ نانومتر، از طریق ایجاد لایه اتصالی پلی‌کاتیونی و با استفاده از یک فرآیند غرقابی ساده به سطوح شیشه‌ای متصل می‌شوند. از این روش می‌توان برای ساخت روکش‌های نانوکامپوزیتی پلیمری با خاصیت خود تمیز شوندگی و حذف آلاینده‌های میکروبی استفاده نمود[۲٤]. کوپر[6] (۲۰۰۸) و همکاران نیز گزارش کردند که نانو ذرّات مس

1- Zycosil
2- Zycophil
3- Zyrconum

4- Lank cho
5- Lich
6- Cooper

پوشش داده شده به میزان خیلی کمی، دچار آبشویی[1] شدند. میزان آبشویی نانو فلزات روی و فرمول‌بندی روی با نقره در طی ۲ روز اول آبشویی کم‌تر از سولفات روی بود. ۹۹ درصد از نانو بور[2] و بوریک اسید در طی این آزمون آبشویی شد. تغییر در بار الکتریکی و نیروی واندروالس[3] ممکن است سبب کاهش آبشویی در نانو فلزات شده باشد. نانو نقره یک دستاورد شگرف علمی از فنّاوری نانو است که در عرصه‌های مختلف پزشکی، صنایع بسته‌بندی با ایجاد پوشش در سطح مواد کاربرد دارد. با نانو نقره امکان مقاوم نمودن این سطوح نسبت به حمله انواع عوامل مخرب کاهش می‌یابد[۱۳]. سونتاکه[4] و همکاران (۲۰۱۲) نانو اکسید روی را بر متا آکریلات اسید[5]/ آکریلات بوتیل[6]/ متیل اکریلات[7] استخلاف کردند و به عنوان پوشش مورد ارزیابی قرار دادند. این کار مانع از کلوخه شدن این مواد در زمان پوشش‌دهی شد. همچنین این پوشش به علت حضور نانو اکسید روی به عنوان یک پوشش ضدمیکروبی محسوب می‌شود.

۹-٤- تأثیر نانو پوشش‌ها در برابر نیروهای مکانیکی

یکی از محدودیت‌ها در صنعت بسته‌بندی، کم بودن مقاومت مکانیکی محصول بسته‌بندی شده می‌باشد که می‌توان با استفاده از نانوپوشش‌های مقاوم به نیروهای مکانیکی، مقاومت این بسته‌بندی‌ها را در مکان‌هایی که در معرض فشارهای مکانیکی زیاد می‌باشند مثلاً در زمان حمل‌ونقل افزایش داد که در این زمینه محققان بسیاری فعالیت نموده‌اند[۱ و ۱۰]. تحقیقات آلدم[8] و همکاران(۲۰۰۹) نشان داد که می‌توان با اعمال پوشش نانو مواد فلزی کریستالی، خواص ویژه‌ای مانند استحکام و سختی پوشش را تا حد قابل توجّهی افزایش داد. آن‌ها این افزایش مقاومت را به دلیل ماهیت نانو ذرّات فلزی آمورف نسبت به خوردگی و ساختار همگن و نداشتن شبکه کریستالی گزارش کردند. اخیراً فنگ[9] و همکاران (۲۰۰٤) در تحقیقی اعلام کردند که برای بهتر شدن کاتدهای پوشش داده شده، اکسید روی را بر روی سطوح، رسوب و پوشش می‌دهند[١٤]. همچنین کرسان اسکای[10] و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که با پوشش‌دهی نانو پوشش‌های سخت بر روی سطوح فلزی و فولادی، می‌توان مقاومت به خراش را افزایش داد. با استفاده از نانو ذرّات معدنی می‌توان پوششی بر سطوح اعمال نمود که مقاومت مکانیکی بالایی داشته باشند[۲۰]. با بکارگیری فنّاوری پیونددهی فعال سطحی می‌توان سیستم پیوندهی پلیمرها با فلز را در مقیاس نانو ارتقا داد تا پوششی با بهترین عملکرد حاصل گردد و همچنین می‌توان از ضخامت لایه پوشش داده شده کاست. بعد از اعمال سیستم پیونددهی فعال سطحی، نانو حفرات در سطح پوشش حاصل می‌شود که با گذشت زمان آب را جذب می‌کنند و در نتیجه پیوندهای کووالانسی[11] افزایش می‌یابد[٤٣].

۹-۵- تأثیر نانو پوشش‌های مقاوم در برابر مواد شیمیایی

مواد بسته‌بندی در صورتی که فاقد پوشش مقاومی در برابر انواع مواد شیمیایی باشند ممکن است در حین حمل و نقل و یا ذخیره سازی در معرض برخورد با مواد شیمیایی مختلف اسیدی و قلیایی قرار گیرند، در صورتی که پوشش مناسب بر سطوح آن‌ها اعمال شده باشد، میزان تخریب شیمیایی را کاهش می‌دهد. می‌توان مقاوت سطوح را با استفاده از نانو پوشش‌ها افزایش داد. ناتالی[12] و همکاران (۲۰۰۵) سطوح را با نانو ذرّه Al_2O پوشش دادند و در شرایط مختلف گرمایی در معرض مواد شیمیایی قرار دادند، که با اعمال نانو اکسید آلومینیوم مقاومت سطحی

1- Leaching
2- Bor
3- Wanderwalles
4- Suntaka
5- Meta acrylic acid
6- Butyl acrylate
7- Methyl acrylic
8- Aldam
9- Fang
10- Kersan sky
11- Covalent
12- Nathaly

مواد به مواد شیمیایی به طور چشمگیری افزایش یافت[۳۰].

۱۰- نتیجه گیری

نانو پوشش‌ها بـه عنـوان یـک فنّـاوری نـوین، امکانـات بـالقوه‌ای را بـرای بهبـود کیفیـت و امنیـت غـذایی فـرآهم آورده‌اند. بیش‌ترین کاربرد نانو پوشش‌ها در صنایع غذایی در زمینه بسته‌بندی به جهت افـزایش سـد شـوندگی، تـشخیص عوامـل بیمـاریزا و افـزایش چرخـه نگهـداری مـواد غـذایی می‌باشد. از جمله مهم‌ترین نانو پوشش‌های تجزیه شونده کـه به دلیل سازگاری با طبیعـت و دسـترس‌پـذیری آسـان مـورد توجّه صاحبان و متخصصین صنایع بسته‌بندی قرار گرفتـه‌انـد می‌توان به نانو کیتوزان، نانو سلولز، پلی‌لاکتیک اسـید و نـانو نشاسته اشاره کرد. نانو کیتوزان خاصـیت ضـدمیکروبـی دارد که ماده مناسبی برای ایجاد لایه پوشش‌دهنده برای مقابلـه بـا باکتری‌ها و قارچ‌ها می‌باشد. از دیگر نانو مواد مـی‌تـوان نـانو لوله‌های کربنی، نانو پوشش‌های رنگی، نانو پوشش هیبریدی و نانو پوشش‌های نفـوذ ناپـذیر را نـام بـرد. طبـق تحقیقـات صورت گرفته، استفاده از نـانوذرّات رس در مقـادیر کـم بـه طـور قابـل ملاحظـه‌ای موجـب بهبـود خـواص مکـانیکی و فیزیکی فیلم‌های کیتوزانی شده و از حساسیت آن‌ها نسبت به رطوبت می‌کاهد. هم‌چنین استفاده از نانوپوشش‌های نقـره در ظروف بسته‌بندی یک و یا چند لایـه بـه عنـوان پوشـش، بـه علت غیـر قابـل نفـوذ بـودن نـسبت بـه اکـسیژن و رطوبـت می‌تواند از رشد باکتری و کپک در بسته جلـوگیری نمـوده و در نتیجه سبب افزایش طول عمر نگهداری محـصول و عـدم تغییر ویژگی‌های ظاهری و فیزیکـی شـود. بـسته‌بنـدی مـواد غذایی با فیلم‌ها یا پوشش‌های خوراکی، یک فنّـاوری جدیـد در صـنعت بـسته‌بنـدی اسـت. اسـتفاده بـیش از حـد از روان‌کننده‌ها باعث افزایش نفوذپذیری بسته‌بندی خوراکی در مقابل بخار آب می‌شود که کـارایی محـافظتی بـسته‌بنـدی را پایین می‌آورد. صمغ کهور و پروتئین شیر که در حال حاضـر بـه عنـوان یکـی از بهتـرین پوشـش‌هـای خـوراکی جهـت بسته‌بندی مواد غذایی شناخته شده است، این نوع بسته‌بنـدی جهت نگهداری مواد غذایی حساس در مقابـل اکـسید شـدن مانند انواع آجیـل، گوشـت و مـاهی‌هـا مناسـب اسـت. نـوع دیگری از بسته‌بندی بر پایه پلیمرهای طبیعی، فـیلم تولیـد شده از نانو سلولز و نانو کیتوزان- سـیلیکا اسـت کـه سـد محافظ بسیار خوبی در مقابل اکسیژن است. این نـوع فـیلم مـی‌توانـد محافظـت خـوبی از محـصولات غـذایی در محیط‌های بسیار مرطوب را به عهده گیرد. ایـن نـوع فـیلم در بسته‌بندی انواع شیرینی, که در گذشته با فویل آلومینیوم بسته‌بندی می‌شدند، بسیار کاربرد دارد. به طور کلی، نتـایج تحقیقات نشان می‌دهند که نانو پوشش‌ها در مقابل عوامـل مخرب فیزیکی مانند رطوبت، اشعه ماورا بنفش، قارچ‌ها و کپک‌هـا، عوامـل مکـانیکی(نیروهـای وارد شـده در حـین حمل‌ونقل و ذخیره‌سـازی) و عوامـل شـیمیایی مـی‌تواننـد مقاومت خوبی را از خود نشان دهند و نکته مهم و اساسی در استفاده از نانو پوشش‌هـا در صـنایع مختلـف شـناخت ماهیت خود نانو پوشش‌ها و مکانیسم پوشـش‌دهـی آن‌هـا می‌باشد. در صورتی کـه از نـانو پوشـش‌هـای مناسـبی بـه عنوان عامل حفاظتی و بسته‌بندی اسـتفاده شـود مـی‌تـوان قابلیت‌های ویژه‌ای از آن را مشاهده نمود.

۱۱- منابع

1. Adame, D., and Beall, G., (2009). "Direct measurement of the constrained polymer regionin polyamide/clay nanocomposites and the implications for gas diffusion". Applied clay science, 552-545, (403)42.
2. Arora, A., and Padua, G., (2009)."Review: Nanocomposites in Food Packaging". Journal of food science,75(1), 43-49.
3. Azeredo, H. (2009). Nanocomposites for food packaging applications. Food research international, 42(9), 1240-1253.
4. Avella, J.B., Vlieger, De., A Emanuela Errico, S.B., Fischer, C.P.,(2005). Food chemistry, Vol 93. No. 3, 467–474.
5. Avella, M., De Vlieger, J.J., (2005). "Biodegradable starch/ clay nanocomposite films for food packaging applications". Food Chemistry journal, 93(3): 467-474.

6. Bouwmeester, H., Dekkers, S., Noordam, M., Hagens, W., Bulder, A., de Heer, C., tenVoorde, S., Wijnhoven, S, .Marvin, H., & Sips, A., (2009). "Review of health safety aspects of nano technologies in food production". Regulatory toxicology and pharmacology, 53(1), 52-62.
7. Cagri, A., Ustunol, Z., and Ryser, E.T., (2004). "Antimicrobial edible films and coatings". J. Food protect. 67: 833-848.
8. Chau C., Wu, S., & Yen, G., (2007)."The development of regulations for food nanotechnology". Trends in food science and technology, 18(5) 269-280.
9. Cha D. S. &Chinnan M. S.(2005). Biopolymer-based antimicrobial packaging: A review. Critical Reviews in Food science and nutrition, 44, 223-237.
10. Chandramouleeswaran, S., Mhaske, S.T., Kathe, A.A., Varadarajan, P.V., Prasad. V., and Vigneshwaran, N., (2007). "Functional behaviour of polypropylene/ ZnO-soluble starch nanocomposites". Nanotechnology, 18, 8.
11. Chen, B., and Evans, J.R.G. (2005)."Thermoplastic starch- clay nanocomposites and their characteristics". Carbohydrate polymers 61(4): 455-463.
12. Chen, R., Chen, D., Li, H., (2006). "Wood preservative containing copper and ammonium compounds". Chinese patent 1883899, 10 pp.
13. Cooper, A., Ung, Y., (2008). "Comparison of laboratory and natural exposure leaching of copper from wood treated with three wood preservatives". International research groupon wood protection, Stockholm, sweden, IRG/WP/08-50258.14p.
13. Fang, J.G. Duh and S.R. Sheen,. (2004). "LiCoO2 cathode material coated with nanocrystallized ZnO for Li-ion batteries". Thin solid films, 470, pp.361-365.
14. Farris, K., Schaich, L., Liu, L., Piergiovanni, K.L., (2009). "Trends in food scienceand technology". Vol. 20, No. 8,316-33.
15. Faucheu, J., Wood, KA., Sung, LP., Martin, JW., (2006). "Relating Gloss Loss to topographical features of a PVDF coating". J. Coatings technol. Res. 3: 29-39.
16. Gholamiyan, H., Tarmian, A., Doost Hosseini, K., and Azadfallah, M., (2009)."The effect of nano particles and common furniture paints on water resistance behavior of poplar wood (P.nigra)". Iranian scientific association of wood & paper industries (in Persian), 4:18-29.
17. Gholamiyan, H., Tarmian, A and Azadfallah, M., (2011)."Gas and water permeability of poplar coated with paints and Nano-particles". Journal of forest and wood products,(Iranian journal of natural resources, Vol. 63, No. 3, 2010. Pp.281-291.
18. Jie, S, Zhu Zhang, H., hu Men, X., (2006). "Effect of nano-Al2O3 surface treatment on the tribological performance of phenolic composite coating". Surface & coatings technology 201, 3767–3774.
19. Tuck, J.R. and Korsunsky, A.M., (1992). "The influence of coating crackingand debonding on the hardness of coated system". Journal of material research, 7, pp. 1564.
20. Johnston, J.H., Grindrod, J.E., Dodds, M.M, (2007)."Nano-structured calcium silicate phase change material: A new product for thermal buffering in packaging". Proceedings of the 61st Appita conference, pp 366-369.
21. Kaygin, B., and Akgun, E., (2008). "Comparison of conventional varnishes with Nanolacke UVVarnish with respect to hardness and adhesion durability". Int. J. Mol. Sci. 9: 476-485.
22. Kaygin, B., and Akgun, E., (2009). "A Nano-technological product: An innovative varnish type

forwooden surfaces". Scientific research and essay, 4 (1), 1-7.
23. Leach, RM., Zhang J,. (2004). "Micronized wood preservative formulations comprising metal compounds and organic biocides". World patent 2004091875, 32 pp.
24. Lee, SH., Kang, H., Kim, YS., Char, K., (2003). "Hierarchical surface topography in block copolymer thin films induced by residual solvent". Macromolecules; 36:4907–15.
25. Lima, M.M.D., Borsali, R., (2004). "Rodlike cellulose microcrystals: structure, properties, and applications". Macro molecular rapid communications, 25(7), 771–787.
26. Chou, P., Chang, H., Feng, Yeh, T., Tzen Chang, S., (2008). "Characterizing the conservation effect of clear coatings on photodegradation of wood". Bioresource technology, 99.1073–1079.
27. Mahmodi, M., (2008). "Nano technology simply". Publications sabzan, 100 (In prsian).
28. Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M., and Voilley, A., (2002). "Factors affectingthe moisture permeability of lipid-based edible films: A review". Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 42:67-89.
29. Natali, M., Carta, G., Rigato, V., Rossetto, G., Salmaso, G., Zanella, P., (2005). "Chemical, morphological and nano-mechanical characterizations of Al_2O_3 thin films deposited by metalorganic chemical vapour deposition on AISI 304 stainless steel". Electrochimica acta: 50, 4615–4620.
30. Park, H.J., (1999). "Development of advanced edible coatings for fruits". Trends food Sci.Technol. 10: 254-260.
31. Paul, M.A., Alexandre, M., Degee, P., Henrist, C., Rulmont, A., Dubois, P., (2003). "New nanocomposite materials based on plasticized poly (L-lactide) and organo modified montmorillonites". thermal and morphological study. Polymer, 44(2), 443–450.
32. Petersson, L., Kvien, I., &Oksman, K. (2007). "Structure and thermal properties of poly (lactic acid)/ cellulose whiskers nanocomposite materials". Composites science and technology journal, 67,2535–2544.
33. Rhim, J.W. (2004)."Increase in water vapor barrier property of biopolymer-based edible films and coatings by compositing with lipid materials". Food Sci. Biotech. 13:528-53.
34. Rhim, J., Hong, S., Park, H., & Ng, P., (2006). "Preparation and characterization of chitosanbased nanocomposite films with antimicrobial activity". Journal of agriculture and food chemistry, 54(16), 5814-5822.
35. Lee, SH., Kang, H., Kim, YS., Char, K., (2003). "Hierarchical surface topography in block copolymer thin films induced by residual solvent". Macromolecules; 36:4907–15.
36. Johnston, J.H., Grindrod, J.E., Dodds, M.M, (2007). "Nano-structured Calcium silicate phase change Material: A new product for thermal buffering in packaging". Proceedings of the 61stAppita conference, pp 366-369.
37. Tang, C., Chen, N., Zhang, Q., Wang, K., Fu, Q., & Zhang, X., (2009). "Preparation and properties of chitosan nanocomposites with nanofillers of different dimensions". Polymer degradation and stability, 94(1), 124-131.

آدرس نویسنده:

کرج- بلوار هفت تیر- چهـار راه کارخانـه قنـد- خیابان کوثر- بن بست اشکان- ساختمان عرفان- واحد ۱.