

واژه‌های کلیدی:

زیست پلیمر
نانوفناوری
نانوکامپوزیت‌های زیست‌پلیمری
بسته‌بندی نوین
بسته‌بندی هوشمند
بسته‌بندی فعال

کاربرد نانوفناوری در بسته‌بندی‌های نوین زیست پلیمری

مهرنوش توکلی^۱، محمدهادی آریائی منفرد^{۲*}

۱ دانشجوی دکتری صنایع خمیر کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲ استادیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده ...

امروزه بسته‌بندی مواد غذایی بخش مهمی از صنعت جهانی غذا را به خود اختصاص داده است که اهمیت آن در دنیا به دلیل افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای دستیابی به غذای ایمن، اهمیت مدت ماندگاری مواد غذایی بسته‌بندی شده، کاهش هزینه‌ها، مسائل زیست‌محیطی و رفاه بیشتر مصرف‌کنندگان، روز به روز در حال افزایش است. در دهه‌های اخیر، به‌علت افزایش کاربرد نانو فناوری، پیشرفت شگرفی در صنایع تولیدی به‌وجود آمده است. نانو فناوری طراحان را قادر ساخته تا ساختار عناصر بسته‌بندی را در مقیاس مولکولی تغییر دهند و ویژگی‌های آن را بهبود بخشند. در صنعت غذایی بسته‌بندی‌های اولیه به بسته‌بندی‌های نوین و هوشمند تغییر یافته‌اند تا جوابگوی روند جهانی، پیشرفت‌های فناوری و نیازهای مشتری باشند. تحقیقات فعال در صنایع غذایی و دیگر زمینه‌های علمی موجب توسعه بسته‌بندی‌های نوین شامل بسته‌بندی‌های هوشمند و فعال مواد غذایی، با مشکلات زیست‌محیطی کمتر، شده است. مهم‌ترین مزیت استفاده از آن‌ها، کاهش هدر رفت مواد غذایی به دلیل افزایش عمر مفید آن‌هاست. در این تحقیق برخی از ویژگی‌های بسته‌بندی‌های پلیمری نوین مواد غذایی و جنبه‌های زیست‌محیطی آن‌ها مطرح شده است.

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات:

Hadiaryaie@gmail.com

۱ مقدمه

در حال حاضر بسته بندی، جزئی اساسی در تجارت مدرن کالاهاست که کیفیت محصولات غذایی را تضمین می کند. همچنین نقشی کلیدی در محافظت از محصولات بسته بندی شده در برابر شرایط بیرونی ایفا می کند. بر کیفیت و سلامت ایمنی محصولات غذایی تأثیری می گذارد. حمل و نقل، ذخیره سازی و توزیع محصولات را آسان ترمی کند. با توجه به افزایش رشد مصرف کنندگان در مصرف محصولات تازه با عمر مفید زیاد و کیفیت کنترل شده، تولیدکنندگان باید بسته بندی های جدید و ایمنی را ارائه دهند. بنابراین، تولیدکنندگان بسته بندی به دنبال راه حل هایی هستند که باعث بهبود ویژگی های مواد بسته بندی مانند ممانعت کافی نسبت به گازها، حفاظت در برابر اشعه فرابنفش، افزایش مدت ذخیره سازی مواد، قابلیت گذر خوب و عملکرد زیست محیطی مناسب شود [۱]. در گذشته مهم ترین اهداف بسته بندی، حفاظت از مواد در برابر آسیب های مکانیکی و جلوگیری از آثار نامطلوب عواملی مانند اکسیژن، نور، ریزاندام واره ها، بوهای خارجی نامطلوب و ... بوده در حالی که در دهه های اخیر با ورود فناوری های نوین مانند بسته بندی های فعال، هوشمند و حتی نانوفناوری، افق های جدید و روشنی در این عرصه ایجاد شده است. نانو فناوری، یکی از دانش های نوین و رویکردهای جدیدی است که برای ایجاد تحول و نوآوری در صنعت بسته بندی مد نظر قرار گرفته است. هدف استفاده از دانش نانو، بهبود کیفیت و کارایی مواد بسته بندی، آگاه ساختن مصرف کننده از منافذ و پارگی های کوچک و ترمیم آن با توجه به شرایط محیطی مانند تغییرات دما و رطوبت و در نتیجه اطمینان از امنیت مواد غذایی است. نانوفناوری توانایی به کارگیری طبیعت در سطح اتم و مولکول بوده، بر روی ویژگی ها، سنتز و دست کاری ساختار زیستی و غیرزیستی کمتر از ۱۰۰ نانومتر متمرکز شده است. این فناوری علاوه بر تأمین اهداف بسته بندی های سنتی، در پی اهداف با ارزش تر از جمله کاهش مصرف مواد افزودنی ضد میکروبی، افزایش راحتی، ایجاد ارتباط با مصرف کننده، افزایش مصرف مواد زیست تخریب پذیر و کاهش هر چه بیشتر ضایعات صنعت بسته بندی است. صنعت مواد غذایی نیز با پیشرفت های فناوری، تغییر در فرایند بسته بندی و ذخیره مواد غذایی خود، از این پیشرفت فوق العاده

برخوردار شده است. بسته بندی مواد غذایی سنتی به تدریج به سامانه های بسته بندی نوین، بسته بندی هوشمند و بسته بندی فعال تغییر می کند [۲،۳]. علاوه بر این، صنایع غذایی پیشگام در حال استفاده از مواد بسته بندی چندگانه مانند نانوکامپوزیت ها با ویژگی های بسته بندی مطلوب از طریق نانو فناوری است. اولین عرصه ارتباط نانو فناوری با صنایع غذایی، بسته بندی مواد غذایی است. بسته بندی یکی از عوامل موثر در حفظ کیفیت و امنیت غذا است و از آنجایی که استفاده از نانوکامپوزیت ها در ساختار پلیمرهای بسته بندی غذایی، موجب بهبود خواص نگهدارندگی پلیمرها می شود، کارایی زیاد نانوذرات، زمینه استفاده از پلیمرهای زیست تخریب پذیر را در صنعت بسته بندی مواد غذایی فراهم می کند. نانوکامپوزیت ها باعث بهبود ویژگی های مکانیکی، الکترونیکی، نوری و ویژگی های ممانعتی شده، می توانند با دستگاه های ارتباطی شامل دستگاه های شناسایی بسامدرادیویی (Radio Frequency Identification) [۴]، نانو حسگرهای، حسگرهای زیستی [۳]، بارکدها و حسگرهای الکترونیکی به کار رود [۵]. از مزایای بسته بندی های نوین بهبود کیفیت، ایمنی و افزایش عمر مفید مواد غذایی، تولید مواد بسته بندی ارزان تر، کاهش دشواری فرایند، تولید محصولات غذایی مناسب، کاهش استفاده از مواد نگهدارنده در مواد غذایی و نظارت بر کیفیت مواد غذایی است [۶،۷]. در بسته بندی هوشمند، خودترمیمی و خودتمیز کردن مدل ها غالب هستند. خودترمیمی توسط واکنشیدگی دینامیک و بازسازی الکترواستاتیکی پلی الکترولیت های چندلایه در مجاورت شکستگی، سختی، تنش، خوردگی، پارگی، ویژگی های ممانعتی و حتی شکستگی های وزن مولکولی اتفاق می افتد [۸،۹،۱۰]. برای مواد خودتمیزشونده، آب گریزی زیاد و کاهش زاویه سطحی باعث کاهش تنش سطحی و انرژی شده که سطح عاری از مواد آلاینده ایجاد می کند [۱۱،۱۲] بسته بندی فعال مانند بسته بندی ضد میکروبی حاوی مواد نگهدارنده در مواد پلیمری است که منجر به کاهش میزان نگهدارنده ها می شود [۱۳]. این امر منجر به حفظ ماندگاری مواد غذایی و طولانی شدن عمر مفید مواد غذایی با مهار رشد میکروبی شده که باعث بهبود ایمنی و کیفیت محصولات غذایی می شود [۷،۱۴]. بنابراین، این عمل برای جلوگیری از آلودگی های پس از فرایند و فساد مواد غذایی اهمیت دارد [۱۵،۱۶،۱۷].

جدیدی از پلیمر می‌شود. برخی از مؤلفه‌های کیفیتی مانند مقاومت کششی، نفوذپذیری بخار آب و رطوبت، کامپوزیت‌های ترکیبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. حتی مقدار کم نانوذرات، باعث پخش همگن نانوذرات در داخل نانوکامپوزیت‌های پلیمری می‌شود که منجر به تشکیل سطح نسبتاً فشرده و صاف از پلیمرها و بهبود پایداری حرارتی می‌شود. زمانی که نانوذرات به نقطه اشباع خود می‌رسد، اثرات منفی مانند سطح ضعیف و شفافیت نوری به علت جمع شدن ذرات گزارش شده است [۲۰].

۳ بسته‌بندی‌های نوین مواد غذایی (Innovative Food Packaging)

بسته‌بندی نوین، بهترین راهکار برای طیف گسترده‌ای از مصارف و کاربردها در صنایع غذایی است. مهم‌ترین مزیت آن نیز کاهش هدررفت مواد غذایی به دلیل افزایش عمر مفید آن‌ها و سامانه نظارت بر وضعیت و چگونگی مواد غذایی بسته‌بندی شده است. توسعه و استفاده از بسته‌بندی نوین مواد غذایی تا حد زیادی به درک و آگاهی از مزیت‌های حاصل از به‌کارگیری آن بستگی دارد. در مقایسه با روش‌های سنتی، این بسته‌بندی دارای مزایایی نظیر دستیابی، فراوری، ارتباط با مصرف‌کننده و نیز اطلاعات مربوط به مواد غذایی است [۱].

کاربرد نانوفناوری برای بسته‌بندی‌های نوین مواد غذایی تا حدودی الهام گرفته از ساختارهای طبیعی و بیشتر با استفاده از پلیمرهای زیستی است.

همان‌طور که می‌دانیم، بسیاری از اجزای مهم سلول‌های زنده از پلیمرهایی نظیر کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و همچنین اسیدهای چرب یا لیپیدها با کنترل فرایندهای زیستی تشکیل شده‌اند [۸]. بنابراین بسته‌بندی‌های نوین مواد غذایی، توسعه سامانه‌های هوشمند، فعال و بسته‌بندی‌های هوشمند برگرفته از فرایندهای زیستی است که باعث حفظ یکپارچگی بسته‌ها و مواد غذایی در سامانه‌های زنجیره غذایی می‌شوند. در دیگر زمینه‌های علمی، واژه "مواد هوشمند یا پلیمر" براساس علوم بنیادی و ویژگی‌های اساسی آن‌ها (شکل ۱) تعریف شده است.

۴ بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی

بسته‌بندی هوشمند، سامانه‌ای است که بر شرایط و

در حال حاضر، نانو فناوری از پلیمرهای زیست‌پلاستیکی بیش‌تر از پلاستیک‌های نفتی متداول به دلیل ویژگی‌های بسته‌بندی مناسب، مانند زیست‌تخریب‌پذیری، سازگاری با محیط‌زیست و پایداری، استفاده می‌کند [۱۳]. با وجود محدودیت‌های پلیمرهای زیست‌پلاستیکی برای بسته‌بندی از جمله فرایندپذیری کم، شکنندگی بیش از حد، هزینه‌های زیاد، درجه حرارت کم، ویژگی‌های ممانعتی کم نسبت به اکسیژن و رطوبت و آب‌گریز بودن، نانو فناوری راهکارهایی برای بهبود عملکرد آن‌ها اعمال کرده است [۱۷]. راهکارهایی مانند مخلوط کردن پلیمرها، نانوکامپوزیت‌ها، پیوند عرضی و دیگر روش‌های اصلاح شده برای بهبود خواص نوری، مکانیکی و شیمیایی آن‌ها امروزه برای بسته‌بندی استفاده شده است. نانو فناوری، سنگ بنای پژوهش‌ها در فناوری بسته‌بندی نوین نظیر بسته‌بندی هوشمند و فعال است.

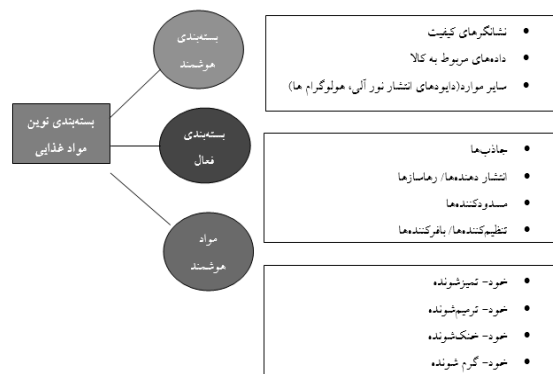
۲ نانوکامپوزیت‌های پلیمری و بسته‌بندی

پلیمرهای مصنوعی و طبیعی به‌طور خاص در صنایع غذایی و دیگر زمینه‌های علمی مانند بخش زیست‌پزشکی، دارویی و کشاورزی به علت ویژگی‌های مطلوب خاص خود از جمله بهبود عملکرد در خواص مکانیکی و مقاومت در برابر ضربه، افزایش ویژگی‌های ممانعتی، سرعت زیست‌تخریب‌پذیری، کاهش هزینه و مقاومت در برابر حرارت، استفاده می‌شوند. راهکارهای برجسته‌ای که برای تولید مواد ترکیبی برای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود شامل ترکیب پلیمرها و نانوکامپوزیت‌های پلیمری است. نانوکامپوزیت‌ها، کامپوزیت‌ها یا مواد ترکیبی هستند که پراکنش ذرات نانومتری را در بستر پلیمری تشکیل می‌دهند [۱۷]. نانو مواد مورد استفاده برای این منظور نانولوله‌های کربنی (Carbon Nanotubes)، خاک رس و نانوکامپوزیت‌های زیستی [۱۸] هستند. پیشرفت‌های قابل توجهی برای نانوکامپوزیت‌های پلیمری شامل کنترل سرعت زیست‌تخریب‌پذیری، ویژگی‌های ممانعتی، مقاومت مکانیکی، مقاومت در برابر حرارت، انعطاف‌پذیری، سازگاری و حتی کندسوزکنندگی به وجود آمده است. ویژگی‌های نهایی بستگی به پراکنش نانوکامپوزیت‌ها و برهم‌کنش آن‌ها دارد [۱۹]. نانوکامپوزیت‌ها به بخش غیرآلی لایه‌ای متصل می‌شوند که این‌گونه‌ها را به بخش‌های دوبعدی هدایت می‌کنند که منجر به عملکرد

رادییوی بر روی مواد بسته بندی متداول باعث هوشمند شدن آن‌ها می‌شود. نوارهای فلئوئورسنتی از نانوذرات اکسیدروی که روی پلی وینیل پیرولیدن قرار دارند، حساسیت زیادی نسبت به تغییرات شدت فلئوئورسنتی مواد غذایی مختلف دارند [۴]. این مواد برای توسعه دستگاه‌هایی مانند پوشش‌های چاپ فلکسوگرافی و مواد چاپ جوهرافشان که قابلیت بسته بندی‌های جدید را تضمین می‌کنند، به کار می‌روند. نشانگرهای کیفیت غذا یا نشانگرهای تازگی در صنایع غذایی بسیار مهم هستند. نشانگرهای غذا، مواد شیمیایی هستند که می‌توانند حضور، عدم حضور یا غلظت سایر مواد شیمیایی را در ترکیبی خاص نشان دهند. آن‌ها همچنین نشان دهنده مواد شیمیایی هستند که میزان برهم کنش دو یا چند ماده را با استفاده از ویژگی‌های خاص استاندارد مانند تغییرات رنگ مواد نشان می‌دهد [۱۴]. نشانگر تازگی، اطلاعاتی در خصوص کیفیت محصولات غذایی و تغییرات مشخصی از اثرات شیمیایی یا رشد ریزاندام واره‌های فاسد در محصولات غذایی بسته بندی شده، ارائه می‌دهد. بسیاری از مواد شیمیایی فرار تولید شده از فعالیت‌های میکروبی مانند دی‌استیل، آمین‌ها، دی‌اکسیدکربن [۲]، گاز آمونیاک و گاز سولفید هیدروژن تولید شده در حین فرایند کهنگی غذا، به ویژه در محصولات گوشتی به آسانی توسط دستگاه‌های هوشمند قابل تشخیص هستند [۱۵، ۲۱]. نشانگرزمان-دما برای بررسی غیرمستقیم کیفیت غذاهای بسته بندی شده توسط تشخیص تغییرات pH زمانی که در معرض دماهای نگهداری نامناسب قرار می‌گیرند، به کار می‌رود. این نشان می‌دهد که چگونه توسعه نشانگرهای تازگی ابزار مفیدی در صنایع غذایی برای جلوگیری از مصرف محصولات غذایی فاسد توسط مصرف کنندگان است [۲۳]. حسگرها، مؤلفه دیگری در بسته بندی هوشمند است که برای شناسایی، مکان‌یابی، ثبت، اندازه گیری انرژی و انتقال اطلاعات مربوط به ویژگی‌های فیزیکی یا شیمیایی اندازه گیری شده، استفاده می‌شود [۱۴]. حسگرهای زیستی می‌توانند علائم خارجی مانند نور، pH، دما، نیروی مکانیکی، میدان الکتریکی یا ترکیب حلال را با استفاده از حالت‌های آب دوستی و آب‌گریزی مواد، تنظیم کنند [۲۶].

۵ بسته بندی فعال مواد غذایی

پیشرفت‌های وسیعی برای بسته بندی مواد غذایی طی



شکل ۱ طبقه بندی و ویژگی‌های بسته بندی نوین مواد غذایی. بسته بندی‌های هوشمند و بسته بندی‌های فعال، اطلاعاتی برای نظارت بر یکپارچگی مواد غذایی بسته بندی شده فراهم می‌کنند.

کیفیت محصولات غذایی به خصوص در هنگام توزیع و ذخیره سازی مواد غذایی، نظارت دارد و وضعیت مواد غذایی را برای کاربر نهایی یا مصرف کننده نشان می‌دهد [۱۴]. شکل ۱ نشان می‌دهد که سامانه‌های هوشمند را می‌توان به گروه‌های زیر دسته بندی کرد: - داده‌های مربوط به حمل بار مانند بارکد، شناساگرهای بسامد رادیویی [۴]، نظارت الکترونیکی کالا (Electronic Article Surveillance) و علائم دیجیتالی

- نشانگرهای کیفیت مانند نشانگر تازگی [۲۱]، نشانگر زمان-دما [۲۲، ۲۳] - حسگرها [۱۴] - سایر موارد شامل دیوهای نشر نور ارگانیک (Organic Light Emitting Diodes) و هولوگرام‌ها [۵] در صنایع غذایی، اکثر موارد گزارش شده به ترتیب مربوط به گروه ۲، ۳ و ۱ هستند. در صنایع غذایی تحولی به وجود آمده تا از سلامت عمومی و ایمنی مواد غذایی محافظت شود [۱۵]. این امر می‌تواند در ارتباط با تغییرات دما [۲۳]، رطوبت نسبی، pH و ترکیبات فرار [۲۴] به منظور اطمینان از سلامت محصول در سامانه تأمین مواد غذایی باشد [۲۵]. ظروف ساخته شده حاوی شناساگرهای بسامد رادیویی، حساسیت بسیار بالایی را نسبت به رطوبت نسبی در محدوده ۲۰ و ۷۰ درصد نشان می‌دهند. فنگ و همکاران پیشنهاد کردند، استفاده از حسگرهای ارزان قیمت حاوی شناساگرهای بسامد

مواد هستند. مواد ضد میکروبی طبیعی با منشأ گیاهی و جانوری شامل باکتریوسین‌ها، آنزیم‌ها، عصاره‌های فنلی و اسانس‌های روغنی به دلیل مسائل ایمنی و نظارتی آن‌ها بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند [۱۶].

۶ بسته‌بندی فعال زیستی

بسته‌بندی فعال زیستی، بسته‌بندی جدیدی است که بسته‌بندی یا پوشش دهی را به گونه‌ای تغییر می‌دهد تا اثر مثبت بر سلامت مصرف‌کننده داشته باشد. روش‌های مختلف شناخته شده برای حفظ ویژگی مشخصی از پلیمرهای زیستی در بسته‌بندی نوین شامل کپسوله کردن آنزیمی، کپسوله کردن در مقیاس نانو (Nano Encapsulation)، کپسوله کردن در مقیاس میکرو (Micro Encapsulation) و بی حرکت شدن آنزیم‌ها است. با توجه به ویژگی عملکردی مورد نیاز ترکیبات فعال زیستی خاص، بسته‌بندی‌های کاربردی یا فعال زیستی، توان بالقوه‌ای برای حفظ مواد فعال زیستی در ابعاد دلخواه تا انتشار کنترل شده آن‌ها در مواد غذایی بسته‌بندی شده در طول نگهداری یا قبل از مصرف دارند [۳۰]. فرایند فناوری بسته‌بندی فعال زیستی با استفاده از:

- مواد بسته‌بندی زیست تخریب پذیر برای انتشار ترکیبات فعال زیستی

- کپسوله کردن ترکیبات فعال زیستی به مواد غذایی یا مواد بسته‌بندی

- مواد بسته‌بندی فعال آنزیمی که قادر به تبدیل به بعضی ترکیبات غذایی به منظور ارائه خدمات بهداشتی است، انجام می‌شود.

توسعه سامانه‌های بسته‌بندی ارتقای سلامت، شامل روغن‌های دریایی، پری بیوتیک‌ها، پروبیوتیک‌ها، ویتامین‌های کپسول شده، مواد شیمیایی گیاهی، غذاهای بدون لاکتوز، فلاونوئیدهای زیستی و بسیاری دیگر، باعث افزایش صنعت بسته‌بندی در آینده نزدیک به دلیل افزایش آگاهی انسان‌ها شده است [۳۱].

۷ مواد هوشمند

امروزه، علم بنیادین مواد هوشمند، مواد خودتمیزشونده (Self-cleaning)، خودترمیم شونده (Self-healing)، خودخنک شونده (Self-cooling) و خودگرم شونده (Self-heating) را بررسی می‌کند، در حالی که خودترمیم شونده‌ها

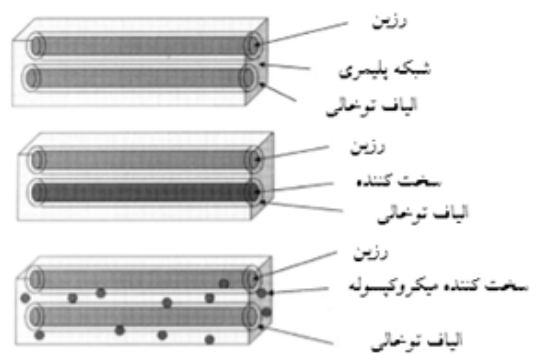
چند دهه گذشته برای رفع نیازهای مصرف‌کننده در ارتباط با روش نگهداری، روش‌های کنترل بسته‌بندی و ذخیره‌سازی برای اطمینان و ایمنی مواد غذایی توسعه یافته است. بسته‌بندی فعال قطعاً یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های این حوزه است که می‌تواند به عنوان نوعی از بسته‌بندی تعریف شود که شرایط بسته‌بندی را تغییر داده، باعث افزایش عمر مفید مواد غذایی، بهبود ایمنی و ویژگی‌های حساسیتی و حفظ کیفیت مواد غذایی شود [۲۷]. سامانه‌های بسته‌بندی فعال، سامانه‌هایی هستند که توسط برهم کنش میان محصولات، مواد بسته‌بندی و محیط زیست به وجود آمده تا بتوانند طول عمر، کیفیت و ایمنی محصولات غذایی را افزایش دهند [۱۴، ۲۸]. سامانه‌های بسته‌بندی مواد غذایی فعال می‌توانند به عنوان:

- ۱) جاذب‌ها از جمله برای دی اکسید کربن، اکسیژن و اتیلن [۱۳]
- ۲) مسدودکننده‌ها (مانند مسدودکننده اتیلن)
- ۳) رهاسازها (از جمله بسته‌بندی ضد میکروبی، آنتی اکسیدان، رهاکننده‌های ضد حشره و ضد بو)
- ۴) تنظیم‌کننده‌ها/بافرکننده‌ها (مانند تنظیم رطوبت) دسته‌بندی شوند.

شکل‌های مهم بسته‌بندی مواد غذایی فعال براساس:

- ۱) عوامل ضد میکروبی [۱۶]
- ۲) سامانه‌های جاذب اکسیژن با استفاده از اکسید آهن، زئولیت، پالادیم، کبالت، رنگ‌های حساس به نور، اکسیداز گلوکز، کربن فعال، اکسیداز اتانول، آسکوربیک اسید، نمک‌های آسکوربات [۱۳]
- ۳) جذب رطوبت با استفاده از کیسه، پد، ورق یا پتو و مواد غذایی پروبیوتیک درمانی [۲۸] هستند.

سامانه‌های بسته‌بندی ضد میکروبی با عامل ضد میکروبی به منظور جلوگیری از رشد میکروبی و نفوذ آن در محصولات غذایی و افزایش عمر مفید مواد غذایی به کار می‌روند. این هدف با تضمین ایمنی، نگهداری کافی و گسترش عمر مفید مواد غذایی با جلوگیری از رشد و ورود مواد فاسد و ریزاندام واره‌های بیماری‌زا امکان پذیر است [۲۹]. رایج‌ترین مواد ضد میکروبی مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی شامل آنزیم‌ها، نمک‌های آلی و اسیدهای آن‌ها، درشت مولکول‌ها (کیتوزان)، باکتریوسین‌ها، عصاره‌های طبیعی، اسانس‌های روغنی (Essential Oils)، قارچ کش‌ها، نمک‌های فلزی و نانو

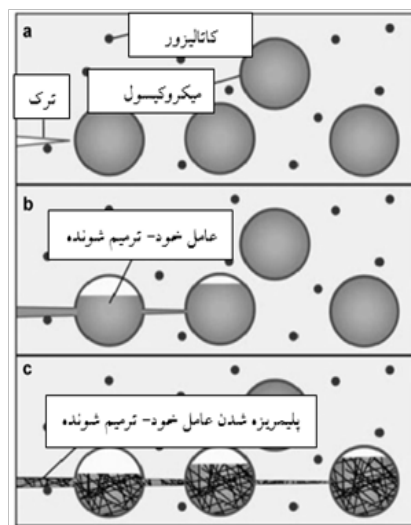


شکل ۳ طرح واره ای از مفهوم بازسازی هوشمند غیرفعال برای شبکه پلیمر. هنگامی که ظروف توسط ضربات خارجی آسیب می بیند، رزین های پلیمری مایع شکل به منطقه آسیب دیده رفته، باعث بهبود آسیب دیدگی می شوند [۳۲].

عامل خودترمیم شونده در پلیمر، هم کشیدگی حجمی (Volume Shrinkage) در طول فرایندهای پلیمری شدن، درجه اتصالات عرضی پلیمر و عامل خودترمیم شونده، تکرارپذیری فرایند و کاتالیزور موجود در مواد، دارد [۳۵]. خودترمیمی به طور کلی به دو دسته تقسیم شده است؛ خودترمیمی بیرونی و پلیمرهای خودترمیم شونده درونی. خودترمیمی بیرونی بر اصول شیمیایی، فیزیکی و برهم کنش های بین مولکولی و درون مولکولی در شبکه پلیمری که در مقیاس میکروسکوپی، یا میکروبی است، دلالت دارد [۱۰،۳۴،۳۵،۳۶]. سامانه های بیرونی از عوامل خودترمیم شونده پیشگیرانه در رزین های پلیمری استفاده می کنند و شامل تغییرات مولکولی نیستند. عامل های خودترمیم شونده مایع در مقیاس میکرو/نانو در داخل ظروف پوسته دار و لوله مانند قبل از ترکیب در شبکه پلیمری توسط عامل خودترمیم شونده کپسوله شده از طریق نیروی موئینگی روی سطح آسیب دیده قرار گرفته و باعث بهبود سطح می شود (شکل ۳) [۱۰،۳۲،۳۶]. برخی از منومرهای موجود که می توانند برای بهبود ترک ها استفاده شوند، متیل متاکریلات، سینوآکریلات، آزوبنزن [۳۳]، اکریلیک و منومرهای تیئولن و پلی (اتیلنک و بوتیلن) هستند.

۷-۲ مواد پلیمری خودتیمز شونده

فرایند خودتیمز کردن براساس شست و شوی سطوح جامد فوق العاده آب گریز است که باعث سهولت حرکت



شکل ۲ عامل خودترمیم شونده و کاتالیزور را در شبکه کامپوزیتی در مقیاس میکرونشان می دهد. a- ترکی در مواد کامپوزیتی به علت آسیب ایجاد شده است. b- علائم آسیب دیدگی، میکروکپسول های مربوط را جدا می کنند و عامل های خودترمیم شونده را برای بازیابی توسط نیروی موئینگی آزاد می کنند. c- ترک شبکه کامپوزیتی در سطح، پس از کاتالیزوری عامل خودترمیم شونده از طریق فرایند پلیمری شدن بسته می شود [۳۶].

و خودتیمز شونده ها غالب هستند [۹،۳۲،۳۳].

۷-۱ مواد پلیمری خودترمیم شونده

پلیمرهای خودترمیم شونده توانایی بازیابی و درمان مواد آسیب دیده را به شکل اولیه یا ویژگی های ساختاری خود در مقابل عوامل محرک خارجی شده، دارند [۲۲]. شکل ۲، تعادل برگشت پذیری را در مواد پلیمری نشان می دهد که با کاهش وزن مولکولی و گرانیروی خود به ویژگی خودترمیمی دست پیدا می کنند و در آن ترک ها به آسانی توسط فرایند دوباره پلیمری شدن، بهبود می یابد [۲۶،۳۴]. مواد زیستی خودترمیم شونده معمولاً شکننده هستند یا ماهیت بی نظمی دارند که منجر به تشکیل تعادل برگشت پذیر توسط پیوندهای کوالانسی، غیرکوالانسی، پیوندهای برگشت پذیر، پیوند عرضی کوالانسی تشکیل شده توسط شبکه های فیزیکی منظم و بلوری، پیوندهای متراکم یونی و پیوندهای هیدروژنی چندگانه می شود [۳۵]. فرایندهای خودترمیمی موفق و موثر بستگی به ثبات مواد، ثبات عوامل خودترمیم شونده، سرعت عمل عوامل خودترمیم شونده، واکنش پذیری

رشد پایدار اهمیت زیادی دارد [۳۹]. استفاده از واحدهای حمل و نقل برگشت پذیر نیز علاوه بر مزایای عملیاتی و زیست محیطی، به تنظیم پسماندها هم کمک می‌کند.

۹ گرایش‌های آینده

نانوفناوری احتمالاً در آینده نزدیک، نقش مهمی را باتوجه به نگرانی‌های ایمنی مربوط به بسته‌بندی ایفا خواهد کرد. برای دستیابی به ایمنی و همچنین مسائل تحقیق و توسعه در زمینه بسته‌بندی فعال و هوشمند، با سرعتی پویا با هدف ارائه بسته‌بندی‌های جایگزین دوست‌دار محیط‌زیست گام برمی‌دارد. این مسئله، چالش طراحی مواد بسته‌بندی را با استفاده از رویکرد مهندسی معکوس بر اساس الزامات مواد غذایی به‌علاوه در دسترس بودن مواد بسته‌بندی، مطرح ساخته است. به‌طور کلی پاسخ به مسائل و مشکلات ایمنی مرتبط با بسته‌بندی‌های نوین و هوشمند براساس سه رکن اصلی صورت می‌گیرد:

- برچسب زدن با هدف جلوگیری از سوءاستفاده و سوء برداشت توسط مصرف‌کنندگان
- انتقال مواد فعال و هوشمند باید به‌دقت و با توجه به میزان سمیت آن‌ها صورت گیرد.
- کارایی و اثر بخشی بسته‌بندی: در برخی از موارد ویژه، بسته‌بندی می‌تواند منجر به افزایش مشکلات زیست محیطی در نگهداری مواد غذایی شود [۴۰].

۹-۱ پیشرفت‌های آینده بسته‌بندی فعال

پیشرفت در زمینه بسته‌بندی فعال مواد غذایی، منجر به توسعه مواد پلیمری مقاوم در برابر عوامل تحریک‌شده. این مواد منحصراً به‌فرد ویژگی‌های شگرف، نوآورانه و کاربردی را ارائه می‌دهد که به‌طور کامل با محیط‌های موجود سازگاری دارد و انتشار مولکول‌ها را در پاسخ به عوامل محرک خارجی تنظیم می‌کند. در نتیجه برای حفظ عملکرد زیستی و ارائه عملکرد شیمیایی خاص، مجموعه‌های مولکولی طراحی شده به‌صورت گزینشی منجر به آزادسازی مواد تشکیل‌دهنده فعال در زمان مشخص توسط سامانه می‌شود. این نانوساختارهای ماکرومولکولی واکنشگر به‌عنوان محرک به‌منظور ایجاد تغییرات سازنده و همچنین تغییرات شیمیایی به‌عنوان واکنشی به عوامل محرک خارجی مانند تغییر ترکیب شیمیایی، دما یا pH طراحی شده‌اند [۴۱].

قطرات آب [۱۲] و سایر ذرات با کنترل ویژگی‌های ترشوندگی می‌شود [۱۱،۳۵]. حرکت ذرات ریز، نقطه تماس و کشش سطحی آب را که توسط انرژی سطحی به‌وسیله بخار آب فشرده ایجاد می‌شود، کاهش می‌دهد و قادر به شناسایی و مکان‌یابی ذرات ریز برای تولید سطوح عاری از مواد آلاینده می‌شود [۱۱]. این سازوکار، تنش برشی هیدرودینامیکی که توسط جریان گازی یا جریان مایع کنترل می‌شود از طریق سه ساز و کار حذف یعنی جابه‌جایی، بالا آمدن و سپس جمع‌آوری پس از غلبه بر نیروهای موئینگی و برهم‌کنش‌های واندروالسی انجام می‌شود [۱۲]. خود تمیز کردن سطوح فوق‌العاده آب‌گریز با افزایش زاویه تماس و کاهش پدیده جذب سطحی، افزایش می‌یابد و از طریق سه فاز تماسی قطره‌ای مایع-گاز، جامد-گاز و جامد-مایع، کنترل می‌شود [۱۱].

۸ مسائل زیست محیطی (زیست‌منبع، زیست تخریب‌پذیر، قابل بازیافت)

افزون بر پیشرفت‌های علمی و فنی حاصل از به‌کارگیری نانوفناوری در مواد غذایی، سامانه نظارت بر میزان ایمنی، سمیت، اثرات زیست محیطی و اقتصاد نیز مورد نیاز است. تولیدکنندگان محصولات کشاورزی و مواد غذایی در استفاده از نانوفناوری به رقابت با یکدیگر پرداخته‌اند و این امر منجر به ارائه روش‌های جدید برای بهبود ایمنی و ارزش غذایی محصولات شده است. در درازمدت، مصرف‌کنندگان از این رقابت و پیشرفت نانوفناوری بهره می‌برند. به‌عنوان مثال نشاسته و کیتوزان دو ماده زیست تخریب‌پذیر به‌کار رفته در بسته‌بندی مواد غذایی هستند [۳۷]. در زنجیره تأمین مواد غذایی استفاده از میوه‌ها و سبزیجات تازه در سطوح مختلف بسته‌بندی محصولات تازه (دست اول، دست دوم و دست سوم) مسئول تولید هزاران تن پسماند در مراحل مختلف چرخه محصول است. به‌منظور حل این مشکل، اتحادیه اروپا، دستورالعمل‌های بسته‌بندی مورد نیاز را به‌اجرا گذاشته است [۳۸]. اهداف سیاست‌های زیست محیطی عبارتند از کاهش یا حتی جلوگیری از استفاده از بسته‌بندی، بازیابی و بازیافت تمام پسماندها و این‌که تولیدکننده مسئول تولید زباله‌ها و نیز هزینه‌های بازیابی و بازیافت است. این سیاست‌های زیست محیطی قطعاً هزینه‌های اضافی را در تمام زنجیره تأمین، اضافه می‌کند اما برای

و کشاورزی به حساب آورد. نانوفناوری این توانایی را به بشر بخشیده است تا عمق ذرات، حد مولکول، اتم و حتی ذرات کوچکتر از اتم را بشناسد و قادر باشد با انجام تغییراتی در این ذرات غیرقابل دسترسی، آن‌ها را به صورت دلخواه تغییر داده، مورد استفاده قرار دهد. فناوری بسته بندی زیست تخریب پذیر باعث بهبود کیفیت و ایمنی و منجر به نوآوری در فرایندهای بسته بندی شده است. تحقیق و توسعه در پاسخ به سلیقه مصرف کننده باعث شد فناوری های بسته بندی فعال، هوشمند و زیست فعال که کاملاً نوین هستند، به وجود بیایند. این فناوری های بسته بندی نوین باعث افزایش کیفیت غذا و افزایش ایمنی شده است. کاربرد روش های بسته بندی نوین به علت اثرات بهداشتی آن‌ها به طور گسترده ای در حال افزایش است و بنابراین باعث کاهش شکایات مصرف کنندگان شده است. بسته بندی های نوین مواد غذایی، ابزاری برای ایجاد تغییرات اساسی در محصولات کشاورزی و مواد غذایی در سطح جهانی است. بسته بندی نوین مواد غذایی دارای ویژگی های مطلوبی در صنایع بسته بندی مواد غذایی از کنترل کیفیت محصولات غذایی تا حفاظت زیستی و کاربردهای ایمنی است. به طور کلی، نوع بسته بندی ها در این دوران، کمبود ایمنی مواد غذایی جهانی، وجود تلفات زیاد پس از برداشت، افزایش جمعیت جهان، تغییرات آب و هوایی و افزایش رقابت بر سر آب برای کشاورزی و مصارف داخلی اهمیت دارد. در آینده ای نزدیک، بسته بندی های سنتی به طور کامل با بسته بندی نوین مواد غذایی جایگزین خواهد شد، زیرا این فناوری ها به سرعت در حال ورود به بازار جهانی هستند. کشورهای در حال توسعه باید بیشتر پذیرای فناوری های بسته بندی نوین باشند که باعث کاهش هدررفت مواد غذایی در زنجیره های عرضه مواد غذایی، به ویژه در طول ذخیره، پردازش، بسته بندی و حمل و نقل و توزیع می شوند.

۹-۲ پوشش دهنده های خوراکی

فیلم ها و پوشش دهنده های خوراکی توانایی بالقوه ای در برآورده کردن تمایل مصرف کنندگان به غذاهای دوست دار محیط زیست و طبیعی دارند. آن ها به طور کامل جایگزین بسته بندی های مواد غذایی سنتی نمی شوند؛ اما ویژگی های بسیاری را برای مواد غذایی فراهم می کنند. از آنجا که این مواد بسته بندی از ضایعات کشاورزی یا محصولات مواد غذایی صنعتی تولید می شوند، ارزش زیست توده ای دارند. استفاده از فیلم ها و پوشش دهنده های خوراکی علاوه بر افزایش قدرت نگهداری مواد غذایی باعث کاهش هزینه و حجم بسته بندی های سنتی نیز می شوند. پوشش دهنده های خوراکی و فیلم ها از مواد زیست پلیمری هیدروکلوئیدی مانند پلی ساکاریدهایی نظیر سلولز، نشاسته، آلژینات ها، کیتوزان، صمغ ها، پکتین ها و پروتئین ها با منشأ گیاهی و جانوری تشکیل می شوند. علاوه بر ویژگی های ممانعتی نسبت به عبور گاز و رطوبت، پیشرفت های نوین جدید، شامل استفاده از کامپوزیت ها یا ترکیبات برای تنظیم انتشار افزودنی های مواد غذایی و مواد مغذی است [۴۲]. فیلم های ساخته شده از سلولز و مشتقات سلولزی، حاوی مواد شیمیایی جاذب آب و رطوبت، اما مقاوم در برابر جذب روغن و چربی است. پروتئین های گیاهی و جانوری مانند گلوتن گندم، پروتئین ذرت، پروتئین سویا، پروتئین های آب پنیر، کازئین، سفیده تخم مرغ، کراتین، کلاژن و ژلاتین از جمله شناخته شده ترین پروتئین ها با ویژگی های ممانعتی بسیار خوب هستند که به طور گسترده ای برای توسعه فیلم ها و پوشش دهنده های خوراکی به کار می روند [۴۳].

۱۰ نتیجه گیری

نانوفناوری را می توان به عنوان یاری رسان آینده صنایع بسته بندی به خصوص در دو زمینه بسته بندی مواد غذایی

مراجع

- Barska A., Wyrwa J., Innovations in the Food Packaging Market- Intelligent Packaging: A Review, *Food. Sci. Biotechnology*, 35, 1-6, **2017**.
- Meng X., Lee K., Kang T-Y., Ko S., An Irreversible Ripeness Indicator to Monitor the CO₂ Concentration in the Headspace of Packaged Kimchi During Storage, *Food. Sci. Biotechnology*, 24, 91-97, **2015**.
- Ranjan S., Dasgupta N., Chakraborty AR., Melvin Samuel S., Ramalingam C., Shanker R., Kumar A., Nanoscience and Nanotechnologies in Food Industries: Opportunities and Research Trends, *J. Nanopart. Res.*, 16, 1-23, **2014**.
- Feng Y., Xie L., Chen Q., Zheng L-R., Low-Cost Printed Chipless RFID Humidity Sensor Tag for Intelligent Packaging, *Sens. J. IEEE*, 1, 3201-3208, **2015**.
- Sarapulova., Sherstiuk V., Shvalagin V., Kukhta A., Photonics and Nanophotonics and Information and Communication Technologies in Modern Food Packaging. *Nanoscale, Res. Lett.*, 10, 1-8, **2015**.
- Bastarrachea L., Dhawan S., Sablani SS., Engineering Properties of Polymeric-Based Antimicrobial Films for Food Packaging: A Review, *Food. Eng. Rev.*, 3, 79-93, **2011**.
- De Jong A., Boumans H., Slaghek T., Van Veen J., Rijk R., Van Zandvoort M., Active and Intelligent Packaging for Food: Is It the Future? *Food. Addit. Contam.*, 22, 975-979, **2005**.
- Sharon E., Swell Approaches for Changing Polymer Shapes, *Science*, 335, 1179-1180, **2012**.
- Wu D.Y., Meure S., Solomon D., Self-Healing Polymeric Materials: A Review of Recent Developments, *Prog. Polym. Sci.*, 33, 479-522, **2008**.
- Zhu DY., Rong MZ., Zhang MQ., Self-Healing Polymeric Materials Based on Microencapsulated Healing Agents: from Design to Preparation, *Prog. Polym. Sci.*, 49-50, 175-220, **2015**.
- Liu S., Liu X., Latthe SS., Gao L., An S., Yoon SS., Liu B., Xing R., Self-Cleaning Transparent Super Hydrophobic-Coatings Through Simple Sol-Gel Processing of Fluoro-Alkyl Silane, *Appl. Surf. Sci.*, 351, 897-903, **2015**.
- Ye Y., Huang J., Wang X., Fabrication of a Self-Cleaning Surface Via the Thermosensitive Copolymer Brush of P(nipam-pegma), *ACS. Appl. Mater. Interfaces*, 7, 22128-22136, **2015**.
- Mahieu A., Terrie' C., Youssef B., Thermoplastic Starch Films and Thermoplastic Starch/Poly Caprolactone Blend with Oxygen-Scavenging Properties: Influence of Water Content. *Ind. Crops. Prod.*, 72, 192-199, **2015**.
- Biji K.B., Ravishankar C., Mohan C.O., Srinivasa Gopal T.K., Smart Packaging Systems for Food Applications: A Review, *J. Food. Sci. Technol.*, 52, 6125-6135, **2015**.
- Koskela J., Sarfraz J., Ihalainen P., Maattanen A., Pulkkinen P., Tenhu H., Nieminen T., Kilpela A., Peltonen J., Monitoring the Quality of Raw Poultry By Detecting Hydrogen Sulfide With Printed Sensors, *Sens. Actuators. B. Chem* 218, 89-96, **2015**.
- Wen P., Zhu D-H., Wu H., Zong M-H., Jing Y-R., Han S-Y., Encapsulation of Cinnamon Essential Oil in Electrospun Nanofibrous Film for Active Food Packaging, *Food. Control*, 59, 366-376, **2016**.
- Tang X.Z., Kumar P., Alavi S., Sandeep KP., Recent Advances in Biopolymers and Biopolymer-Based Nanocomposites for Food Packaging Materials. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 52, 426-442, **2011**.
- De Azeredo H.M.C., Nanocomposites for Food Packaging Applications. *Food. Res. Int.*, 42, 1240-1253, **2009**.
- Ghanbarzadeh B., Oleyaei S.A., Almasi H., Nanostructured Materials Utilized in Biopolymer-Based Plastics for Food Packaging Applications, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 55, 1699-1723, **2015**.
- Li X., Qiu C., Ji N., Sun C., Xiong L., Sun Q., Mechanical, Barrier and Morphological Properties of Starch Nanocrystals-Reinforced Pea Starch Films, *Carbohydr. Polym.*, 121, 155-162, **2015**.
- Shukla V., Kandeepan G., Vishnuraj M.R., Development of On-Package Indicator Sensor for Real-Time Monitoring of Buffalo Meat Quality During Refrigeration Storage, *Food. Anal. Methods*, 8, 1591-1597, **2015**.
- Pereira V.A., de Arruda I.N.Q., Stefani R., Active Chitosan/PVA Films With Anthocyanins from Brassica Oleraceae (Red Cabbage) as Time-Temperature Indicators for Application in Intelligent Food Packaging, *Food. Hydrocolloids*, 43, 180-188, **2015**.
- Wanihsuksombat C., Hongtrakul V., Suppakul P., Development and Characterization of a Prototype of a Lactic Acid-Based Time-Temperature Indicator for Monitoring Food Product Quality, *J. Food. Eng.*, 100, 427-434, **2010**.
- Qin H., Huo D., Zhang L., Yang L., Zhang S., Yang M., Shen C., Hou C., Colorimetric Artificial Nose for Identification of Chinese Liquor with Different Geographic Origins, *Food.*

- Res. Int.*, 45, 45–51, **2012**.
25. Neethirajan S., Jayas D.S., Nanotechnology for The Food and Bioprocessing Industries, *Food. Bioprocess. Technol.*, 4, 39–47, **2011**.
26. Meng H., Jinlian H., A Brief Review of Stimulus-Active Polymers Responsive to Thermal, Light, Magnetic, Electric, and Water/Solvent Stimuli, *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, 21, 859–885, **2010**.
27. Suppakul P., Miltz J., Sonneveld K., Bigger S.W., “Active Packaging Technologies with an Emphasis on Antimicrobial Packaging and Its Applications”, *Journal. of. Food. Science*, 68, 408-420, **2003**.
28. Dobrucka R., Cierpiszewski R., Active and Intelligent Packaging Food-Research and Development—a Review, *Pol. J. Food. Nutr. Sci.*, 64, 7–15, **2014**.
29. Alkan D., Yemenicioglu A., Potential Application of Natural Phenolic Antimicrobials and Edible Film Technology Against Bacterial Plant Pathogens, *Food. Hydrocolloids*, 55, 1–10, **2016**.
30. Lopez-Rubio A., Gavara R., Lagaron J.M., Bioactive Packaging: Turning Foods into Healthier Foods Through Biomaterials, *Trends. Food. Sci. Technol.*, 17, 567–575, **2006**.
31. Lagaron J.M., Biodegradable and Sustainable Plastics as Essential Elements in Novel Bioactive Packaging Technologies. In: First Conference on Biodegradable Polymers for Packaging Applications. *PIRA. International. Leatherhead (UK)*, 5–6, **2005**.
32. Bleay S.M., Loader C.B., Hawyres V.J., Humberstone L., Curtis P.T., A Smart Repair System for Polymer Matrix Composites, *Compos. A. Appl. Sci. Manuf.*, 32, 1767–1776, **2001**.
33. Wu X., Liu L., Fang W., Qiao C., Li T., Effect of Hard Segment Architecture on Shape Memory Properties of Polycaprolactone Based Polyurethane Containing Azobenzene. *J. Mater. Sci.*, 51, 2727–2738, **2016**.
34. Blaiszik B., Kramer S., Olugebefola S., Moore J.S., Sottos N.R., White S.R., Self-Healing Polymers and Composites. *Annu. Rev. Mater. Res.*, 40, 179–211, **2010**.
35. Youngblood J.P., Sottos N.R., Bioinspired Materials for Self-Cleaning and Self-Healing, *MRS. Bull.*, 33, 732–741, **2008**.
36. White S.R., Sottos N.R., Geubelle P.H., Moore J.S., Kessler M.R., Sriram S.R., Brown E.N., Viswanathan S., Autonomic Healing of Polymer Composites. *Nature*, 409, 794–797, **2001**.
37. Weiss J., Takhistov P., Mc Clements J., Functional Materials in Food Nanotechnology, *J. Food. Sci.*, 71, 107–116, **2006**.
38. European Parliament, Directive 2004/12/EC of The European Parliament and of The Council of 11 February 2004 Amending Directive 94/62/EC on Packaging and Packaging Waste— Statement by The Council, The Commission and The European Parliament, Official, *Journal. of. the. European. Communities*, 47, 26–32, **2004**.
39. Bechini A., Cimino M., Marcelloni F., Tomasi A., Patterns and Technologies for Enabling Supply Chain Traceability Through Collaborative E-business, *Inf. Softw. Technol.* 50, 342–359, **2008**.
40. Dainelli D., Gontard N., Spyropoulos D., Zondervan-van den Beuken E., Tobback P., Active and Intelligent Food Packaging: Legal Aspects and Safety Concerns, *Trends. Food. Sci. Technol.*, 19, 103–112, **2008**.
41. Stuart M.A.C., Hyck W.T.S., Genzer J., Muller M., Ober C., Stamm M., Sukhorukov G.B., Szleifer I., Tsukruk V.V., Urban M., Winnik F., Zauscher S., Luzinov I., Minko S., Emerging Applications of Stimuli-Responsive Polymer Materials. *Nat. Mater.*, 9, 101, **2010**.
42. Campos C.A., Gerschenson L.N., Flores S.K., Development of Edible Films and Coatings with Antimicrobial Activity, *Food. Bioprocess. Technol.*, 4, 849–875, **2011**.
43. Mensitieri G., Di Maio E., Buonocore G., Nedi I., Oliviero M., Sansone L., Iannace S., Processing and Shelf Life Issues of Selected Food Packaging Materials and Structures from Renewable Resources, *Trends. Food. Sci. Technol.*, 22, 72–80, **2011**.