

تولید و ارزیابی نانوجندسازه های زیستی برای کاربرد در بسته بندی مواد غذایی

بهجت تاج الدین

عضو هیئت علمی بخش تحقیقات صنایع غذایی و مسائل پس از برداشت، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

چکیده

مواد طبیعی در مقیاس نانو ممکن است در کاربردهای متعددی از جمله صنعت بسته بندی استفاده شوند. دلایل اصلی بسته بندی غذاها با این مواد، حفاظت ماده غذایی از گرد و خاک، گازها، نور، میکروب های بیماریزا، و رطوبت است. اصولاً، این مواد ایمن، خنثی، ارزان و قابل دسترس هستند. علاوه بر این، خصوصیات ماند و ویژگی های مکانیکی، الکتریکی، حرارتی، نوری، و الکتروشیمیایی نانوکامپوزیت ها نسبت به ترکیبات معمولی، کاملاً متفاوت است. یکی از کاربردی ترین استفاده از نانوکامپوزیت ها در بسته بندی مواد غذایی، افزودن ترکیبات در اندازه نانو به مواد بسته بندی متداول مثل فلز، شیشه، کاغذ، پلاستیک های ساختگی مانند پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی استایرن، پلی اتیلن ترفتالات، و پلی وینیل کلراید می باشد. همچنین، در سال های اخیر، استفاده از مواد پرکننده نانویی در تهیه فیلم های طبیعی بسیار مطالعه شده است. از این رو، مقاله حاضر، تلاش می کند تا نانوکامپوزیت های طبیعی مختلف را به خوانندگان معرفی کند، و کاربرد پلیمرهای طبیعی نانویی در صنعت بسته بندی مواد غذایی را همراه با مثال، مرور نماید. در اصل، مواد بسته بندی نانویی با استفاده از مواد معدنی رس از جمله مونت موریلونیت در سال ۱۹۸۶ به نوعی شروع شد و استفاده از آن همچنان در پلیمرهای طبیعی مختلف رو به گسترش است. جزئیات بیشتر در مورد کاربرد پلیمرهای طبیعی نانویی در صنعت بسته بندی در طول مقاله ارائه می شود.

واژه های کلیدی: آزمون های ارزیابی، بسته بندی مواد غذایی، نانوپلیمرهای طبیعی، نانوکامپوزیت ها، پلیمرهای طبیعی.

behjattajeddin@gmail.com

۱- مقدمه

زیستی به کار می روند (Silva et al. 2004; Chen et al. 2011; Vroman and Tighzert 2009; Wang et al. 2013; Galus et al. 2012; Zavareze et al. 2013). این پلیمرها، بیشتر برای تهیه پوشش ها یا فیلم های خوراکی توصیه می گردند.

به هر حال، پلیمرهای زیستی نیز به دلیل خواص مکانیکی و نفوذناپذیری ضعیف، محدودیتهایی دارند که ممکن است با اضافه کردن پرکننده های نانویی آن ها را اصلاح کرد و به نانوکامپوزیت ها رسید. افزودن ترکیبات طبیعی که حداقل یکی از ابعاد آن ها در حد نانومقیاس است، منجر به تولید نانوکامپوزیت های طبیعی می شود (Azeredo 2009).

کمیته علمی شناسایی خطر سلامت مصرف کننده اروپا (SCENIHR) (2007)، به تفکیک مفاهیم نانومواد، نانوکامپوزیت، نانومواد کریستالی، نانوساختار و غیره را به خوبی تعریف کرده است. بر اساس این تعاریف، نانوکامپوزیت یک ماده چندسازه ای است که قسمت اعظم ترکیبات پخش شده در ساختار، در مقیاس نانو هستند یعنی یک یا چند بعد آن ها برابر یا کمتر از ۱۰۰ نانومتر می باشد. پخش مواد نانویی درون شبکه پلیمری منجر به تولید خواص جدید می شود.

پرکننده ها در کاربردهای بسته بندی مواد غذایی ممکن است در شکل های گوناگونی از نانومواد به کار روند (Han et al. 2011). به طور کلی، بسته به تعداد بعد ذرات پخش شده در مقیاس نانو، نانوکامپوزیت ها به شرح زیر طبقه بندی می شوند (Alexandre and Dubois 2000; SCENIHR 2010; ISIRI 2010; Han et al. 2011; Simoneau 2012):

۱- نانورقه، یک ساختار چند سازه ای است که یک بعد آن در سطح ۱۰۰ نانومتر یا کمتر بوده و دو بعد دیگر بلندتر هستند. الفاظ دیگری مثل نانوفیلم، نانوصفحه، نانولایه، و پوشش های خیلی نازک نیز با وجود اختلافاتی در این طبقه قرار می گیرند.

مدت زمان زیادی است که پلیمرهای ساختگی از جمله پلی اتیلن (PE)، پلی پروپیلن (PE)، پلی استایرن (PS)، پلی اتیلن ترفتالات (PET)، و پلی وینیل کلراید (PVC) به دلایلی مانند هزینه کم، خواص مکانیکی مناسب، و ویژگی های نفوذناپذیری در برابر اکسیژن، دی اکسید کربن، و ترکیبات معطر به عنوان مواد بسته بندی استفاده می شوند. به هر حال، استفاده از این مواد مشکلاتی دارد که مهمترین آن ها تخریب ناپذیری یا دیرتخریب پذیری است که مسئله مهمتری به نام آلودگی زیست محیطی را ایجاد می کند. علاوه بر این، آلودگی ماده غذایی به دلیل مهاجرت مونومرهای مواد پلاستیکی از دیگر مسائل پلیمرهای ساختگی می باشد که ایمنی ماده غذایی را کاهش داده و ممکن است تغییراتی را بویژه در طعم محصول ایجاد کند (Del Nobile et al. 2008). بنابراین، برای کاهش چنین مشکلاتی، استفاده از کامپوزیت هایی که هم بخش پرکننده یا تقویت کننده و هم بخش شبکه آن، یا یکی از این دو بخش، مواد طبیعی (الیاف طبیعی/پلیمرهای طبیعی) باشند، رو به افزایش است. به عنوان مثال، اختلاط PVC (یک گرمانرم سخت که به وفور در کاربردهای مختلف از جمله بسته بندی استفاده می شود) با الیاف طبیعی توجه خیلی زیادی را به خود جلب کرده است (Wirawan et al. 2009). به طور کلی، کامپوزیت های پر یا غنی شده با الیاف طبیعی، گزینه ای مناسب برای جایگزینی با پلیمرهای ساختگی هستند (Bongarde and Shinde 2010; Thakur et al. 2014; Westman et al. 2014). این کامپوزیت ها عمدتاً برای تهیه ظروف بسته بندی توصیه می شوند. برخی از خواص الیاف طبیعی و ساختگی در جدول ۱ مشاهده می شود.

از طرف دیگر، اختلاط پلیمرهای ساختگی با پلیمرهای طبیعی، یا استفاده از پلیمرهای طبیعی به تنهایی، گزینه مناسب دیگری برای جایگزینی با پلیمرهای ساختگی و تولید فیلم های زیستی است. به طور کلی، پلی ساکاریدها و پروتئین ها یا مخلوطی از آن ها مثال های متداولی هستند که در تهیه پلیمرهای

۱- پلیمرهای مستخرج از مواد طبیعی مثل پلی-ساکاریدها از قبیل کیتوزان، نشاسته، کاراژینان، و سلولز؛ پروتئین‌ها مانند گلوتن، سویا، و ژئین؛ و برخی از چربی‌ها.

۲- مونومرهای مشتق شده از مواد طبیعی که با روش‌های مصنوعی شیمیایی رایج برای به دست آوردن پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر و / یا تجدیدپذیر، از جمله گرمانرم‌ها و گرماسخت‌ها استفاده می‌شوند.

۳- پلیمرهایی که توسط میکروارگانیسم‌های طبیعی یا دست‌ورزی شده تولید می‌شوند مثل پلی هیدروکسی الکانوئیت (PHA) و پلی پیتیدا.

۴- مخلوطی از مونومرهای مصنوعی و طبیعی مانند پلی‌کاپرولاکتون (PCL)، پلی‌وینیل الکل (PVOH)، و کوپلیمرهای آن با اتیلن (EVOH) و بعضی از پلی‌استایرن‌ها.

کاربردهای نانوکامپوزیت‌های طبیعی در صنعت بسته‌بندی را ممکن است حول محورهای اصلی مواد نانوکامپوزیتی آلی و معدنی (غیرآلی) بحث کرد. در واقع، آن‌ها ممکن است کاملاً آلی، کاملاً غیرآلی و یا مخلوطی از هر دو باشند.

۱-۳- نانوکامپوزیت‌های غیرآلی

مواد لایه‌ای معدنی در انواع مختلفی وجود دارند. مواد معدنی نقش مهمی در ایجاد مواد نانوکامپوزیت و نانو-ساختار بازی می‌کنند و معمولاً در طبیعت یافت می‌شوند. متخصصین مواد، شیمی، و بسته‌بندی تلاش زیادی برای ساخت نانوکامپوزیت‌های طبیعی با استفاده از مواد معدنی کرده‌اند که منجر به تولید مواد گوناگون بسته بندی با خواص متفاوتی شده است.

ترکیبات معدنی ممکن است دارای شبکه سه بعدی مثل ژئولیت؛ مواد لایه‌ای دو بعدی مانند رس، اکسیدهای فلزی، فسفات‌های فلزی؛ مواد یک بعدی و صفر بعدی مثل زنجیرها و خوشه‌های سلنید مولیبدنوم باشند (Ajayan 2003). از میان انواع این مواد، رس و سیلیکات‌های لایه‌ای به دلایلی چون ایجاد خواص اصلاحی مکانیکی، حرارتی، نوری و فیزیکوشیمیایی، به طور گسترده‌ای مورد مطالعه و توجه قرار گرفته‌اند. منظور از خواص اصلاحی، به عنوان مثال، افزایش مقاومت کشش و مقاومت حرارتی، کاهش نفوذپذیری نسبت به گازها و غیره است (Alexandre and Dubois 2000). اولین بار کوجیما و همکاران (Kojima et al. 1993) خصوصیات نانو کامپوزیت‌های نایلون/رس را مطالعه کردند. خواص مکانیکی، حرارتی و نفوذناپذیری نانوکامپوزیت تولیدی به طور چشمگیری با حضور کمتر از ۵٪ نانورس اصلاح شد (Lagaron 2010). نانورس یک ساختمان نانولایه‌ای دارد که عایق مناسبی برای نفوذ گازها ایجاد می‌کند و معمولاً به شکل مونت موریلونیت که از خاکستر یا صخره‌های آتشفشانی مشتق می‌شود، کاربرد دارد (Simoneau 2012). علاوه بر مونت موریلونیت، هکسوریت و ساپونیت از انواع رس هستند که به صورت سیلیکات‌های لایه‌ای استفاده می‌شوند (Kato and Usuki 2006). اولاً و همکاران (Avela et al. 2005)، فیلم‌های نانوکامپوزیت نشاسته/رس را با پخش یکنواخت نانوذرات مونت موریلونیت در مواد بر پایه نشاسته از طریق فرآیند ذوب پلیمر، برای کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی تهیه کردند. نتایج، قرارگیری خوب فاز پلیمری در لایه‌های درونی رس را نشان داد، و خصوصیات مکانیکی از جمله مودولوس و مقاومت کشش فیلم‌ها افزایش یافت.

علاوه بر این، مواد معدنی عمدتاً در ساختمان نانوذرات مغناطیسی استفاده می‌شوند. نانوذرات مغناطیسی، دسته مهمی از نانوذرات هستند که عناصر مغناطیسی مثل آهن، نیکل، کبالت، و ترکیبات شیمیایی آن‌ها را شامل

۲- نانومیل، یک ساختار چند سازه ای است که دو بعد آن در سطح ۱۰۰ نانومتر یا کمتر بوده و یک بعد دیگر بلندتر می‌باشد. ماهیت‌های دیگری مانند نانولیف، نانوسیم، نانومو نیز با وجود تفاوت‌هایی، در این دسته جای دارند.

۳- نانولوله، یک ساختار چندسازه‌ای توخالی است که دو بعد آن در سطح ۱۰۰ نانومتر یا کمتر بوده و یک بعد دیگر بلندتر می‌باشد. در واقع، نانولوله‌ها به شکل استوانه‌های با قطر نانومتری هستند. نانولوله‌های کربنی و موهای سلولزی مثال‌هایی از نانولوله‌ها هستند که به عنوان مواد نانویی پرکننده یا غنی‌کننده مورد توجه قرار گرفته‌اند.

۴- نانوذرات، یک ساختار چندسازه‌ای است که هر سه بعد آن در سطح ۱۰۰ نانومتر یا کمتر می‌باشد.

به‌طور کلی، نانوکامپوزیت‌های طبیعی دسته‌ای از پلیمرهای زیستی هستند که از دو بخش اصلی تشکیل شده‌اند؛ بخش پلیمر زیست‌تخریب‌پذیر که به عنوان شبکه عمل می‌کند، و بخش نانوپلیمر که به عنوان پرکننده یا تقویت‌کننده نقش دارد و بایستی زیست‌تخریب‌پذیر باشد (Arora and Padua 2010).

۲- هدف اصلی

هدف اصلی از نگارش این مقاله، کاهش یا حذف استفاده از پلیمرهای ساختگی در صنعت بسته‌بندی با رویکرد به اهمیت و کاربرد نانوکامپوزیت‌ها در این صنعت است.

۳- نانوکامپوزیت‌های طبیعی و بسته‌بندی مواد غذایی

توسعه سریع نانوفناوری در زمینه‌های مختلف، توجه زیادی را برای کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی جلب کرده است. به‌طور کلی، نقش اصلی نانو در بسته‌بندی، اندازه کوچک آن است که مساحت سطحی بزرگی را ایجاد می‌کند. بیشترین کاربرد نانوفناوری در حوزه غذا را بسته‌بندی مواد غذایی به خود اختصاص داده است (Simoneau 2012). نانومواد در بسته‌بندی مواد غذایی برای حفاظت غذا از گرد و خاک، گازها (CO₂, O₂)، نور، میکروب‌های بیماری‌زا، و رطوبت به کار می‌روند. این روش بسته‌بندی، ایمن، خنثی، ارزان، و زیست‌تخریب‌پذیر است. مواد بسته‌بندی متداول مانند فلز، شیشه، کاغذ، پلاستیک (PE, PP, PS, PVC و غیره)، یا پلیمرهای چند لایه، قابلیت اصلاح با ترکیبات نانویی را دارند. به‌طوری که در میان کاربردهای فناوری نانو، ترکیب مواد بسته‌بندی سنتی (متداول) با مواد نانویی با سرعت زیادی رو به گسترش است (Han et al. 2011; Ivask 2013).

اخیراً، بیشترین استفاده از فناوری نانو در بسته‌بندی مواد غذایی شامل نانورس‌ها، نانومواد سلولزی، نانومولسیون‌ها، نانوالیاف، نانوکپسول‌ها، نانومواد کربنی، نانوذرات فلزی و اکسیدهای فلزی، نانوحسگرها، و نانوذرات حاوی حامل‌ها است. این مواد با اهداف گوناگون از جمله عایق یا نفوذناپذیری در برابر گازها، اشعه UV و بخار آب؛ افزایش خواص مکانیکی و حرارتی؛ کاهش مهاجرت؛ و بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند، در بسته‌بندی مواد غذایی به کار می‌روند (Duncan 2011; Lagaron 2010). به دلیل خواص مکانیکی یا نفوذناپذیری ضعیف پلیمرهای کاملاً طبیعی به عنوان جایگزینی برای پلیمرهای سنتی، وجود نانومواد در ساختار آن‌ها کمک بزرگی برای رفع عیوب است (Jiménez et al. 2014; Rhim and Ng 2007).

به‌طور کلی، مواد طبیعی را که معمولاً در بسته‌بندی مواد غذایی مورد توجه هستند، ممکن است به چهار دسته زیر تقسیم کرد که بسیاری از آن‌ها در ساختار نانویی قابلیت استفاده دارند:

آلژینات سدیم (SA)، و نشاسته سیب زمینی (PS) را بررسی کردند. بهترین فیلم‌ها با استفاده از محلول‌های SC و G (۴٪ و ۸٪)، WPI (۸٪ و ۱۲٪)، CMC (۲٪ و ۳٪)، و SA (۱٪ و ۱/۵٪) تهیه شده در ۸۰°C در ترکیب با ۵۰٪ وزنی/وزنی گلیسرول بدست آمد.

سلولز، فراوان‌ترین پلی‌ساکارید روی زمین است و اخیراً، تهیه نانوسلولز بسیار مورد علاقه محققین قرار گرفته است. به‌طوری که، تحقیقات متعددی روی استخراج نانوالیاف و نانوکریستال‌های سلولز از مواد اولیه گوناگون، اصلاح خصوصیات شیمیایی آن‌ها، تعیین ویژگی‌ها، و استفاده از آن‌ها به عنوان پرکننده یا تقویت‌کننده، انجام شده است. نانوسلولزها، چه به صورت الیاف و چه کریستالی، خواص قابل توجهی از خود نشان داده‌اند (Berglund et al. 2005).

دهناد و همکاران (Dehnad et al. 2014)، نانوکامپوزیتی مرکب از کیتوزان (یکی دیگر از انواع پلی‌ساکاریدها)/نانوسلولز/گلیسرول تهیه و تاثیر آن بر افزایش ماندگاری گوشت چرخ‌کرده را بررسی کردند. نتایج نشان داد که نانوکامپوزیت حاصل اثر ضد میکروبی در برابر باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت دارد. در واقع، کیتوزان با فرمول مولکولی $(C_6H_{11}NO_5)_n$ ، یک پلیمر طبیعی است که از بدن موجودات زنده‌ای چون سخت‌پوستان و بی‌مهرگان بویژه میگو، پوست خرچنگ و برخی از قارچ‌ها بدست می‌آید (Ravi Kumar 2001; Dutta et al. 2008). از میان انواع نانوذرات، نانوذرات کیتوزان به دلیل دارا بودن خواص مکانیکی، حرارتی، ضد میکروبی، غیرسمی بودن و غیره بسیار مورد توجه واقع شده‌اند (Martelli et al. 2012; Grehna 2012). عشقی و همکاران (Eshghi et al. 2013)، از نانومولسیون کیتوزان به جای قارچ‌کش‌های شیمیایی برای افزایش ماندگاری میوه توت‌فرنگی استفاده کردند. برای این کار، توت‌فرنگی را با نانومولسیون حاوی ۰/۲۵٪ کیتوزان با اندازه ذرات ۱۰۰-۵۰ نانومتر پوشش دادند و در دمای $25 \pm 1^\circ C$ با ۷۰٪ رطوبت نسبی نگهداری کردند. نتایج اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی در فواصل ۴ روز، نشان داد که در مقایسه با نمونه‌های پوشش داده نشده، پوشش نانومولسیون تاثیر بسیار مثبتی بر ویژگی‌های کیفی توت‌فرنگی داشته و حدود ۲/۵ برابر باعث افزایش ماندگاری میوه شده است.

فیلم‌های بر مبنای پروتئین (تهیه شده از کازئین، آب پنیر، کلاژن، سفیده تخم‌مرغ، ژلاتین، ایزوله پروتئین سویا، ذرت، گندم، و غیره) به دلایلی چون زیست‌تخریب‌پذیری و نفوذناپذیری خوب از جایگاه خاصی برخوردارند. تشکیل نانوساختارهای بر مبنای پروتئین توسط آنجلیبر-کاسی و براون (Angellier-Coussy et al. 2013; Braun 2003) به خوبی بحث شده است. چانگ و همکاران (Chang et al. 2009a)، اثر ساختمان لایه‌ای سیلیکات‌ها را روی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌های بر پایه پروتئین را مطالعه کردند. آن‌ها، پرکننده‌های مونت‌موریلونیت و رکتوریت را در ایزوله پروتئین نخود به کار بردند. اگرچه خواص کشش و مقاومت مکانیکی نمونه‌های حاصل افزایش نیافت، خواص فیزیکی قابل‌توجهی به دلیل تداخل بین سیلیکات‌های لایه‌ای و ایزوله پروتئین نخود حاصل شد.

ژئین ذرت، پروتئینی آب‌گریز و غیر قابل حل در آب است. قنبرزاده و ارومیه‌ای (Ghanbarzadeh and Oromiehi 2008)، خواص مکانیکی فیلم‌های بر پایه پروتئین آب پنیر و ذرت را با نرم‌کننده‌های گلیسرول و روغن زیتون بررسی کردند و اعلام نمودند که یکی از عوامل مهم در استفاده از ژئین برای تهیه فیلم، مقاومت کشش (TS) بالای آن است. در مطالعه نانوساختار

می‌شوند (Willard et al. 2004). به عنوان مثال، نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن (Damm et al. 2006; Osaka et al. 2006; Weiss et al. 2006) در حوزه‌های مختلف از جمله علوم و فنون غذایی مثل تثبیت آنزیم‌ها، خالص‌سازی پروتئین‌ها، و تجزیه غذا استفاده می‌شود. همچنین، مزایای بالقوه مواد نانو نقره به دلیل فعالیت‌های ضد میکروبی قوی نقره در برابر باکتری‌ها، ویروس‌ها، و قارچ‌ها پذیرفته شده است. اثر ضد میکروبی افزودنی‌های نقره‌ای، عمدتاً در انواع محصولات پلاستیکی فرآوری شده با روش تزریق- قالبگیری، منسوجات، پوشش‌ها در صنایع غذایی و غیره استفاده می‌شود (Galeano et al. 2003; Gao and Cranston 2008). علاوه بر خواص ضد میکروبی، مقاومت حرارتی عالی، ایمن بودن و سازگاری با طبیعت از مزایای مواد حاوی نقره است (Kumar and Münstedt 2005). با این حال، کاربرد نقره در صنایع غذایی کاملاً توسط قوانین مختلف جوامع علمی کنترل می‌شود.

اسدآبادی و همکاران، تاثیر ضد میکروبی غلظت‌های مختلف نانو ذرات نقره را با استفاده از محیط‌کشت‌های اختصاصی مانیتول سالت آگار و اوسین متیلن بلو به‌ترتیب روی باکتری‌های *Staphylococcus aureus* و *Escherichia coli* مطالعه کردند. نتایج نشان داد که هر سه عامل نوع باکتری، مدت زمان تماس میکروب با نانو نقره و غلظت نانو ذرات تاثیر معنی داری روی رشد میکروبی دارند اما تاثیر دو عامل نوع باکتری و غلظت نانو ذرات بیشتر بود (Asadi Asadabadi et al. 2014). زندی و همکاران (Zandi et al. 2013) تاثیر انواع بسته‌بندی نانوکامپوزیتی (PE حاوی نانونقره، PP حاوی نانونقره، PE حاوی نانوسیلیکات، و PP حاوی نانوسیلیکات) و زمان نگهداری (۷، ۳۰، و ۱۰ روز) را روی کیفیت نگهداری توت فرنگی بررسی کردند. نتایج نشان داد که میوه‌های نگهداری شده در ظروف PE و PP حاوی نانونقره و نانوسیلیکات نسبت به شاهد (بدون استفاده از نانوذرات)، از کیفیت بهتری برخوردار بودند.

محققین دانشگاه لیدز انگلستان، خواص ضد میکروبی نانواکسید روی (ZnO) و اکسید منیزیم (MgO) را بررسی کردند. در مقایسه با نانو ذرات نقره‌ای، نانو ذرات ZnO و MgO علاوه بر ایمن بودن در بسته‌بندی مواد غذایی، خواص بازدارندگی عالی در برابر رشد میکروارگانیسم‌ها از خود نشان دادند (Han et al. 2011). براون (Braun 2003) گزارش کرد که بسیاری از انواع گیاهی دارای نانوذرات دی‌اکسید سیلیسیم (SiO_2) در ساختمان سلولی خود هستند. استفاده از نیتريد نانوتیتانیوم نیز به دلیل مقاومت مکانیکی بالا توسط سایمونو (Simoneau 2012) گزارش شده است. علاوه بر این، نانوالومینیوم به عنوان پوشش در بسته‌بندی‌های انعطاف‌پذیر استفاده شده است.

۳-۲- نانوکامپوزیت‌های آلی

غشاهای سلولی چربی، پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، DNA، تار عنکبوت، و غیره مثال‌هایی از مواد نانویی در طبیعت هستند. در ساختار این مواد، حداقل یک بعد و اغلب سه بعد در مقیاس نانومتری وجود دارد. ونگ و همکاران (Wang et al. 2007)، قابلیت تشکیل فیلم از شش نوع پروتئین (۰-۱۶٪) و شش نوع پلی‌ساکارید (۰-۴٪) شامل کازئینات سدیم (SC)، ایزوله آب پنیر (WPI)، ژلاتین (G)، کربوکسی متیل سلولز (CMC)،

۴- ارزیابی کیفی نانوکامپوزیت‌ها

در کامپوزیت‌های پلیمر/الیاف در بسته‌بندی مواد غذایی، همه روش‌های ارزیابی و آزمون‌ها برای نانو مواد بایستی قوانین مرتبط با ایمنی غذا، سمیت برای محیط‌زیست، تجمع در محیط‌زیست، و تخریب محیط‌زیست را در نظر بگیرد. شناخت تاثیر ساختار روی خواص نانوکامپوزیت‌ها، کلیدی برای تعیین نقش آن هاست. به عنوان مثال، افزودن برخی از نانومواد ممکن است هدایت حرارتی را بهبود بخشد، برخی باعث بهبود خواص مکانیکی یا خواص نوری شوند. بنابراین، لازم است تا مواد نانویی بسته‌بندی بسته به هدف از تولید، روش تولید، فرمولاسیون مواد، کاربرد اختصاصی، و عوامل دیگر، از طریق تعداد زیادی از فنون و دستگاه‌های مربوط ارزیابی گردند. از طرف دیگر، نانو مواد علاوه بر مزایای بسیار، ممکن است دارای عیوبی هم باشند که از طریق بررسی دقیق این آزمون‌ها، مشخص خواهد شد. به برخی از مهم‌ترین و متداول‌ترین آزمون‌ها در زیر اشاره می‌شود:

۴-۱- ضخامت فیلم

اگر محصول نهایی تهیه شده به شکل فیلم باشد، بایستی ضخامت فیلم تعیین گردد که با استفاده از یک میکرومتر در چند نقطه از فیلم انجام می‌گیرد. میانگین اندازه‌گیری ضخامت نقاط، ممکن است در آزمون‌های دیگر، بویژه در محاسبه مساحت نمونه‌ها برای تعیین خواص مکانیکی مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۲- خواص مکانیکی

خواص مکانیکی خود شامل آزمون‌های متعددی از قبیل مقاومت کشش (TS) و درصد کشش تا نقطه پارگی (E%) است. ارزیابی منحنی فشار-کشش فیلم با استفاده از دستگاه بافت‌سنج مجهز به یک بار مشخص طبق شرایط مطرح در روش‌های استاندارد از جمله استاندارد امریکا (ASTM882-09 2009) انجام می‌گیرد. به طور کلی، خواص مکانیکی نانوکامپوزیت‌ها به عوامل زیادی بستگی دارد که ممکن است تداخل بین نانو پرکننده‌ها و شبکه را تحت تاثیر قرار دهند. برخی از مهم‌ترین این عوامل عبارتند از (Hu et al. 2010):

- ۱- سازگاری بین شبکه پلیمر و نانو پرکننده،
- ۲- درجه و میزان پخش شدگی پرکننده در شبکه،
- ۳- کارایی نانو پرکننده برای تحمل فشار،
- ۴- سهم وزنی یا حجمی پرکننده،
- ۵- شکل هندسی پرکننده (نسبت منظر)؛ نسبت منظر به عنوان نسبت بزرگی طول به بزرگی عرض تعریف می‌شود،
- ۶- جهت پرکننده‌ها،
- ۷- درجه کریستالی شبکه.

۴-۳- نفوذپذیری به آب (WVP)

WVP با استفاده از استانداردهای مختلف از جمله استاندارد امریکا (ASTM E96-95 1995) انجام می‌گیرد.

۴-۴- خواص نفوذناپذیری یا عایقی

مسئله بسیار مهم در بسته‌بندی مواد غذایی، حفظ تازه‌گی و ایمنی ماده غذایی است. بنابراین، نفوذناپذیری نسبت به گازها، مواد معطر و غیره حتماً بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد.

ژئین حاصل از ذرت توسط گوآ و همکاران (Guoa et al. 2005)، در محلول اتانلی آن، ذرت به‌صورت گلوله‌های کوچک با قطری بین ۱۵۰ تا ۵۵۰ نانومتر وجود دارد.

چربی‌ها گرچه خود به عنوان پلیمر تعریف نمی‌شوند و به صورت درشت مولکول‌های طبیعی کاربرد زیادی دارند، شکل‌هایی از آن پلیمر محسوب می‌گردند. به هر حال، عمدتاً از چربی‌ها به عنوان نانو حامل‌ها برای تثبیت مواد فعال طبیعی در برابر تغییرات شیمیایی و محیطی در اینکپسولاسیون یا بسته‌بندی‌های فعال استفاده می‌کنند. به عنوان مثال، نانولیپوزوم (لیپوزوم در چربی‌های طبیعی وجود دارد) به‌طور گسترده‌ای با اهداف گوناگون در صنایع غذایی به کار می‌رود (Barenholz 2001; Siegel and Tenchov 2008). محمدی و همکاران (Mohammadi et al. 2013)، کاربرد لیپوزوم را به عنوان یک حامل نانویی برای تسریع در رسیدن آنزیم پنیر در فرآیند تهیه پنیر توصیه کردند.

۳-۳- نانوکامپوزیت‌های ترکیبی از مواد آلی/غیرآلی

نانوکامپوزیت‌های ترکیبی از هر دو مواد آلی و غیرآلی نیز خواص اصلاحی قابل توجهی نسبت به پلیمرهای معمولی نشان داده‌اند. فضاها درون لایه لایه‌های مواد غیرآلی این امکان را فراهم می‌کند تا آن‌ها به عنوان شبکه یا میزبان برای پلیمرهای طبیعی عمل کنند. نانوذرات مغناطیسی با مولکول‌های آلی به طور گسترده برای کاربردهای بیوتکنولوژی و داروهای طبیعی استفاده می‌شوند (Osaka et al. 2006). با وجودی که رس یک ماده غیرآلی محسوب می‌شود، تیواری (Tiwari et al. 2008) امکان تهیه مونت-موریلونیت آلی را گزارش کرده است.

به‌طور کلی، دو سازوکار برای تشکیل نانوکامپوزیت‌های آلی/غیرآلی وجود دارد. حالتی که ابتدا شبکه آلی شکل می‌گیرد و بعد معدنی می‌شود، و حالت دیگری که مواد آلی و غیرآلی با هم داخل کامپوزیت نانو ساختار قرار می‌گیرند. مثالی که ابتدا ساختمان غیرآلی شکل بگیرد و بعد ترکیب آلی با آن تشکیل شود، وجود ندارد. بیشتر مثال‌های موجود در طبیعت به حال اول مربوط می‌شود (Braun 2003).

چانگ و همکاران (Chang et al. 2009b)، فیلم‌های نانوذرات تری‌اکسیدآنتیمون (Sb_2O_3)//سدیم کربوکسی‌متیل سلولز (CMC) به عنوان پرکننده با نرم‌کننده گلیسرول داخل شبکه نشاسته را تهیه کردند و خصوصیات آن را بررسی نمودند. معلوم شد که Sb_2O_3 (حدود ۸۴% وزنی) بوسیله CMC (حدود ۱۶% وزنی) با اندازه ذرات حدود ۵۰-۳۰ نانومتر اینکپسوله شده بود. نتایج نشان داد که به دلیل یکنواخت پخش شدن نانوذرات پرکننده در شبکه پلیمری، بویژه در سطوح کمتری از پرکننده، مقاومت کشش، جذب UV، و مقاومت در برابر نفوذپذیری بهبود یافته است. از آنجایی که کیتوزان و نانوذرات نقره هر دو خواص ضد میکروبی دارند، هانگ و همکاران (Huang et al. 2011)، اثر هم‌افزونی ترکیب این دو ماده را مطالعه کردند. نتایج، تخریب چشمگیری را نشان داد. چانگ و همکاران (Chang et al. 2011)، از پلی‌ساکاریدها به عنوان پایدارکننده برای تهیه نانوذرات مغناطیسی استفاده کردند. برای این کار، نانوذرات Fe_3O_4 را با نشاسته محلول، سدیم کربوکسی‌متیل سلولز (CMC) و آگار به عنوان پایدارکننده به‌کار بردند. نتایج TEM معلوم کرد که Fe_3O_4 توسط پلی‌ساکاریدها اینکپسوله شده است.

قرار می‌گیرند. سپس، رقت‌های مختلف از ۲۰ میلی‌لیتر محلول آماده با pH ۷/۴ مشتمل بر ۰/۱٪ حجمی/حجمی توین ۲۰، ۱۴۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، ۲۰/۵ میلی‌مولار فسفات سدیم، به ظروف اضافه و به مدت ۲ دقیقه هم زده می‌شود و مجدداً در 37°C قرار می‌گیرند. پرگنه‌های ظروف شمارش می‌شوند.

۱۲-۴- مهاجرت

گرچه استفاده از نانو فناوری مزایای زیادی دارد، احتمال خطر سلامت برای انسان و محیط زیست نیز همواره وجود دارد. به دلیل اندازه کوچک، واکنش‌پذیری سطح و امکان انتقال نانوذرات در سراسر غشاهای زیستی و همچنین فعل و انفعالات بالقوه نانوذرات با شبکه اطراف آن و اثرات غیر منتظره ناشی از آن، ارزیابی‌های لازم ضروری است (Huyghebaert et al. 2010). انتقال ترکیبات از مواد در تماس با غذا به مواد غذایی، مهاجرت نامیده می‌شود. خطر اصلی مصرف‌کننده، مهاجرت نانوذرات از بسته‌بندی مواد غذایی به داخل مواد غذایی و نوشیدنی‌ها می‌باشد (Han et al. 2011). برای اطمینان از حفظ سلامت مصرف‌کننده و جلوگیری از تقلب در مواد غذایی، دو نوع محدودیت مهاجرت در زمینه مواد پلاستیکی وجود دارد (Avella et al. 2005):

۱- حد مهاجرت کلی (OML). ۶۰ میلی‌گرم از مواد/ کیلوگرم ماده غذایی است که برای تمام موادی که می‌تواند از مواد در تماس با غذا به مواد غذایی مهاجرت کنند، اعمال می‌شود.

۲- حد مهاجرت خاص (SML). برای مواد بر اساس ارزیابی سمیت از آن‌ها، اعمال می‌شود.

سایمون و همکاران (Simon et al. 2008)، گزارش کردند که مهاجرت نانوذرات از مواد بسته‌بندی به غذا فقط در مواردی رخ می‌دهد که شعاع نانوذرات در حد ۱ نانومتر بوده و شبکه‌های پلیمری ویسکوزیته نسبتاً پائینی داشته باشند. چنین شرایطی در نانوکامپوزیت‌های نقره با پلی‌اولفین‌هایی مثل پلی‌اتیلن سبک، پلی‌اتیلن سنگین و پلی‌پروپیلن دیده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، افزایش معنی‌داری در استفاده از پلاستیک‌ها بویژه در کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی رخ داده است. با وجود مزایای بسیار زیاد پلاستیک‌ها، مشکلات زیست‌محیطی و مدیریت ضایعات آن‌ها از طرفی و احتمال مهاجرت به مواد غذایی از طرف دیگر، استفاده فراوان از پلاستیک‌ها را زیر سوال برده است. به همین دلیل در سطح ملی و بین‌المللی، تلاش رو به گسترشی برای استفاده از مواد کاملاً یا نسبتاً زیست‌تخریب‌پذیر در بسته‌بندی مواد غذایی وجود دارد. اما بروز خواص مکانیکی و فیزیکی نسبتاً ضعیف مواد طبیعی نسبت به مواد مصنوعی، محققان را به استفاده از فناوری نانو برای تهیه پلیمرهای طبیعی نانویی ترغیب کرده است.

۶- منابع

1. Ajayan PM (2003) Bulk metal and ceramics nanocomposites, in: Nanocomposite science and technology (Ajayan PM, Schadler LS, Braun PV, Eds.), 1-75 WILEY-VCH

۵-۴- میکروسکوپ الکترونی

بررسی ریخت‌شناسی نمونه‌های فیلم تهیه شده با میکروسکوپ الکترونی بعد از پوشش طلایی نمونه‌ها تحت خلاء انجام می‌گیرد. انواع مختلفی از میکروسکوپ الکترونی وجود دارد مثل میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)، میکروسکوپ الکترونی عبوری با رزولوشن بالا (HRTEM) و غیره که بسته به هدف و روش کار، در بررسی ساختار نانوکامپوزیت‌ها استفاده می‌شوند.

۶-۴- طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR)

طیف‌سنجی FTIR یکی از مهم‌ترین ابزار مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل فیلم‌های بسته‌بندی به دلیل حساسیت بالا، قیمت نسبتاً کم و سرعت آن است. این دستگاه، برای مشاهده نحوه قرار گرفتن و شناسایی نوع پیوند به‌کار می‌رود.

۷-۴- میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)

AFM برای تعیین خصوصیات ساختار ابعادی مواد از دامنه نانومتر تا ۱۰۰ میلی‌متر استفاده می‌شود.

۸-۴- پراش یا انکسار اشعه ایکس (XRD)

این روش برای شناسایی و تجزیه کیفی ساختار نانوکامپوزیت‌ها از جمله مواد تشکیل‌دهنده در یک ساختار کریستالی استفاده می‌شود.

۹-۴- میکروسکوپ نوری

این فن به طور گسترده‌ای برای بررسی احتمال وجود تجمع نانوذرات در کامپوزیت‌ها به کار می‌رود.

۱۰-۴- خواص حرارتی

یک پلیمر ممکن است کاملاً بی‌شکل (آمورف)، نیمه بلوری یا کاملاً بلورین باشد. معمولاً، پلیمرهای بی‌شکل با دمای انتقال شیشه ای (Tg)، و پلیمرهای کریستالی با دمای ذوب (Tm) معرفی می‌شوند. وقتی که پلیمر تا زیر نقطه Tg سرد شود، سخت و شکننده می‌شود (مثل شیشه). برخی از پلیمرها زیر دمای انتقال شیشه‌ای خود استفاده می‌شوند و برخی بالای این دما به کار می‌روند (Baker and Mead 2000; Barry and Orroth 2000; Cowie 2008). روش‌ها و تجهیزات مختلفی برای تعیین خواص حرارتی کامپوزیت‌ها و نانوکامپوزیت‌ها وجود دارد. از مهم‌ترین آن‌ها ممکن است به گرما وزن‌سنجی (TGA)، گرماسنجی پویایی تفاضلی (DSC)، تجزیه گرما مکانیکی (TMA)، تجزیه گرمایی دینامیک (DMA) و غیره اشاره کرد.

۱۱-۴- میکروبیولوژی

فعالیت ضد میکروبی نانوکامپوزیت‌ها، بویژه برای بسته‌بندی‌های فعال و غیره بایستی ارزیابی شود که با استفاده از روش‌های استاندارد مختلفی تعیین می‌شود. به عنوان مثال، در آزمون استاندارد صنعتی ژاپن (Anonymous 2000)، نمونه‌ها در ظروف محیط‌کشت قرار می‌گیرند و با ۰/۴ میلی‌لیتر از یک باکتری مشخص حاوی 10^5 تا 10^6 CFU/ml تلقیح می‌شوند. پس از پوشاندن ظروف با یک فیلم پلی‌استری، آن‌ها در 37°C به مدت ۲۴ ساعت

2. Alexandre M, Dubois P (2000) Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. *Materials Science and Engineering* 28: 1-63
3. Angellier-Coussy H, Chalier P, Gastaldi E, Guillard V, Guillaume C, Gontard N, Peyron S (2013) Protein-based nanocomposites for food packaging, in: biopolymer nanocomposites: processing, properties, and applications (Dufresne A, Thomas S, Pothan LA, Eds.). 613- 654 Wiely
4. Anonymous (2000) Antimicrobial products-test for antimicrobial activity and efficacy. Japanese industrial standard test (JIS Z 2801:2000) Japanese Standards Association Tokyo Japan
5. Arora A, Padua GW (2010) Review: nanocomposites in food packaging. *Journal of Food science* 75: 43-49
6. Avella M, Vlieger JJ, Errico ME, Fischer S, Vacca P, Volpe MG (2005) Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. *Food Chemistry* 93: 467-474
7. Asadi Asadabadi M, Khosravi-Darani K, Mortazavi A, Hajseyed Javadi N, Azadnia E, Kiani Harchegani A, Ahmadi N (2014) Antimicrobial effect of silver nanoparticles produced by chemical reduction on *Staphylococcus aureus* and *Escheirchia coli*. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology* 8(4): 83-92 [Text in Persian]
8. ASTM 882-09 (2009) Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. American Society for Testing and Materials West Conshohocken Pa USA
9. ASTM E96-95 (1995) Standard test methods for water vapour transmission of materials in sheet form. American Society for Testing and Materials West Conshohocken Pa USA
10. Azeredo HMC (2009) Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International* 42: 1240-1253
11. Baker AMM, Mead J (2000) Thermoplastics, in: *Modern plastics handbook* (Harper CA, Ed.). 1.1-1.92 McGraw - Hill
12. Barenholz Y (2001) Liposome application: problems and prospects. *Current Opinion Colloid Interface Science* 7(1): 66-77
13. Barry CMF, Orroth SA (2000) Processing of thermoplastics, in: *Modern plastics handbook* (Harper CA, Ed.). 5.1-5.125 McGraw - Hill
14. Berglund L (2005) Cellulose-based nanocomposites, in: *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*, (Mohanty AK, Misra M, Drzal LT, Eds.). 807- 832 CRC Press
15. Bongarde US, Shinde VD (2014) Review on natural fiber reinforcement polymer composites. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)* 3(2): 431
16. Braun PV (2003) Natural nanobiocomposites, biomimetic nanocomposites, and biologically inspired nanocomposites, in: *Nanocomposite science and technology* (Ajayan PM, Schadler LS, Braun PV, Eds.). 155-214
17. Chang PR, Yang Y, Huang J, Xia W, Feng L, Wu J (2009a) Effects of layered silicate structure on mechanical properties and structures of protein-based bionanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science* 113(2): 1247-1256
18. Chang PR, Yu J, Ma X (2009b) Fabrication and Characterization of Sb₂O₃/Carboxymethyl Cellulose Sodium and the Properties of Plasticized Starch Composite Films. *Macromolecular Materials and Engineering* 294(11): 762-767
19. Chang PR, Yu J, Ma X, Anderson DP (2011) Polysaccharides as stabilizers for the synthesis of magnetic nanoparticles. *Carbohydrate Polymers* 83(2): 640-644
20. Chen Z, Zhang L, Wang L (2011) Study on filming of oxidized starch/PVA. *Frontiers of Agriculture in China* 5(4): 649-654
21. Cowie JMG (2008) *Polymers: chemistry & physics of modern materials*. Taylor & Francis, Boca Raton
22. Damm C, Neumann M, Münstedt H (2006) Properties of nanosilver coatings on polymethyl methacrylate. *Soft Materials* 3: 71-88
23. Dehnad D, Mirzaee H, Emam D-Jomeh Z, Jafari SM, Dadashi S (2014) Assessing thermal and antimicrobial properties of chitosan-nanocellulose nanocomposites to enhance the shelf life of ground meat. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology* 8(4): 163-173 [Text in Persian]
24. Del Nobile MA, Conte A, Buonocore GC, Incoronato AL, Massaro A, Panza O (2008) Active packaging by extrusion processing of recyclable and biodegradable polymers. *Journal of Food Engineering* 93: 1-6
25. Duncan TV (2011) Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science* 363(1): 1-24
26. Dutta PK, Tripathi S, Mehrotra GK, Dutta J (2008) Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. *Food Chemistry* 114: 1173-1182
27. Eshghi S, Hashemi M, Mohammadi A, Badie F, Mohammad Hosseini Z, Ahmadi Sumehe K, Ghanati K (2013) Effect of nano-emulsion coating containing chitosan on storability and qualitative characteristics of strawberries after picking. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology* 8(2): 9-19 [Text in Persian]
28. Galeano B, Korff E, Nicholson W L (2003) Inactivation of vegetative cells, but not spores, of *Bacillus anthracis*, *B. cereus*, and *B. subtilis* on stainless steel surfaces coated with an antimicrobial silver- and zinc-containing zeolite formulation. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 4329-4331



29. Galus S, Lenart A, Voilley A, Debeaufort F (2013) Effect of oxidized potato starch on the physicochemical properties of soy protein isolate-based edible films. *Food Technology and Biotechnology* 5(3): 403-409
30. Gao Y, Cranston R (2008) Recent advances in antimicrobial treatment of textiles. *Textile Research Journal* 78: 60-72
31. Ghanbarzadeh B, Oromiehi AR (2008) Biodegradable biocomposite films based on whey protein and zein: barrier, mechanical properties and AFM analysis. *International Journal of Biological Macromolecules* 43: 209- 215
32. Grehna A (2012) Chitosan nanoparticles: a survey of preparation methods. *Journal of Drug Targeting* 20(4): 291-300
33. Guoa, Y., Liub Z., And H., Lia M., and Hu J. (2005). Nano-structure and properties of maize zein studied by atomic force microscopy. *Journal of Cereal Science*, 41, 277-281.
34. Han W, Yu YJ, Li NT, Wang L (2011) Application and safety assessment for nano-composite materials in food packaging. *Chinese Science Bulletin* 56: 1216-1225
35. Hu H, Onyebueke L, Abatan A (2010) Characterizing and modeling mechanical properties of nanocomposites-review and evaluation. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering* 9(4): 275-319
36. Huyghebaert A, Van Huffel X, Houins G (2010) Preface, in: International symposium on nanotechnology in the Food Chain, Opportunities & Risks. Page 3-9
37. ISIRI (2010) Nanotechnology- vocabulary and main definition. Institute of Standards and Industrial Research of Iran 12098 [Text in Persian]
38. Ivask A (2013) Potential and actual applications of nanoparticles as food ingredients and in food packaging. National Institute of Chemical Physics and Biophysics Laboratory of Environmental Toxicology Tallinn Estonia 16th April 2013 Warsaw
39. Jiménez A, Arab-Tehrany E, Sánchez-González L (2014) Progress in biodegradable packaging materials. *Progress in Nanomaterials for Food Packaging* 50-56
40. Kato M, Usuki A (2006) Layered silicates, in: *Polymer nanocomposites* (Mai YW, Yu ZZ, Eds.). Page 3-28 CRC Press
41. Kojima Y, Usuki A, Kawasumi M, Okada A, Fukushima Y, Kurauchi T, Kamigaito O (1993) Mechanical properties of nylon-6-clay hybrid. *Journal of Materials Research* 6: 1185-1189
42. Kumar R, Münstedt H (2005) Polyamide/silver antimicrobials: effect of crystallinity on the silver ion release. *Polymer International* 54(8): 1180-1186
43. Lagaron JM (2010) Nanotechnology trends to enhance biopackaged food, food quality and safety, in: International symposium on nanotechnology in the Food Chain, Opportunities & Risks, (Huyghebaert A, Van Huffel X, Houins G, Eds.). Page 45-52
44. Martelli M, Barros T, Moura M, Mattoso L, Assis O (2012) Effect of chitosan nanoparticles and pectin content on mechanical properties and water vapor permeability of banana puree films. *Journal of Food Science* 78: 98-104
45. Mohammadi M, Jahadi M, Ehsani MR, Khosravi-Darani K (2013) Application of liposome nano carrier in cheese production and ripening. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology* 7(4): 25-34 [Text in Persian]
46. Osaka T, Matsunaga T, Nakanishi T, Arakaki A, Niwa D, Iida H (2006) Synthesis of magnetic nanoparticles and their application to bioassays. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 384: 593-600
47. Ravi Kumar MV (2001) A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional polymers* 46: 1-27
48. Rhim JW, Ng PK (2007) Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47(4): 411-33
49. SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) (2007) Opinion on the scientific aspects of the existing and proposed definitions relating to products of nanoscience and nanotechnologies. The 21st plenary on 29 November 2007 22 pages
50. Siegel DP, Tenchov BG (2008) Influence of the lamellar phase unbinding energy on the relative stability of lamellar and inverted cubic phases. *Biophysics Journal* 94: 3987-3995
51. Silva DA, Paula RCM, Feitosa JPA, Brito ACF, Maciel JS, Paula HCB (2004) Carboxymethylation of cashew tree exudate polysaccharide. *Carbohydrate Polymers* 58(2): 163-171
52. Simon P, Chaudhry Q, Bakos D (2008) Migration of engineered nanoparticles from polymer packaging to food- a physicochemical view. *Journal of Food and Nutrition Research* 47(3):105-113
53. Simoneau C (2012) Nano in packaging, in: ILSI expert Workshop on nanotechnologies for food packaging. European Commission (JRC) 08-10/02/2012
54. Thakur VK, Thakur MK, Gupta RK (2014) Review: Raw Natural Fiber-Based Polymer Composites. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization* 19(3): 256-271
55. Tiwari RR, Khilar KC, Natarajan U (2008) Synthesis and characterization of novel organo-montmorillonites. *Applied Clay Science* 38(3-4): 203- 208

56. Vroman I, Tighzert L (2009) Biodegradable polymer. *Materials* 2(2): 307–344
57. Wang Lz, Liu L, Holmes J, Kerry JF, Kerry JP (2007) Assessment of film-forming potential and properties of protein and polysaccharide-based biopolymer films. *International Journal of Food Science and Technology* 42(9): 1128–1138
58. Wang Y, Jiang L, Duan J, Shao S (2013) Effect of the carbonyl content on the properties of composite films based on oxidized starch and gelatin. *Journal of Applied Polymer Science* 130(4): 2753–2763
59. Weiss J, Takhistov P, McClements DJ (2006). Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science* 71 (9): R107-R116
60. Westman MP, Laddha SG, Fifield LS, Kafentzis TA, Simmons KL (2010) Natural fiber composites: a review. Prepared for the U.S. Department of Energy, under Contract DE-AC05-76RL01830 (PNNL19220)
61. Willard MA, Kurihara LK, Carpenter EE, Calvin S, Harris VG (2004) Chemically prepared magnetic nanoparticles. *International Materials Reviews* 49(3–4): 125-170
62. Wirawan R, Zainudin ES, Sapuan SM (2009) Mechanical properties of natural fibre reinforced PVC composites: a review. *Sains Malaysiana* 38(4): 531–535
63. Zandi K, Weisany W, Ahmadi H, Bazargan I, Naseri L (2013) Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of strawberry during storage. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 2(5): 28-36
64. Zavareze EDR, Pinto VZ, Klein B, Halal SLME, Elias MC, Prentice-Hernández C, Dias ARG (2012) Development of oxidised and heat-moisture treated potato starch film. *Food Chemistry* 132(1): 344–350