

بررسی ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های نانویی

نقره-رس برای بسته‌بندی مواد غذایی

سعید مینایی، میثم ستاری نجف آبادی*، محمد حسین عزیزی و حامد افشاری**

* نگارنده مسئول، نشانی: دانشگاه تربیت مدرس، ص. پ. ۳۳۶-۱۴۱۵، تلفن: ۰۲۱)۴۴۵۸۰۵۰۰، پیام‌نگار: sattari.utm@gmail.com

** به ترتیب دانشیار، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس؛ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه تربیت مدرس؛ و استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن
تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۲/۱۵

چکیده

در این پژوهش، ویژگی‌های مکانیکی هفت نوع فیلم نانویی با درصدهای مختلف نقره و رس-نقره، شامل مدول الاستیسیته، مقاومت کششی، چقرمگی، درصد کشیدگی تا پاره شدن، مقاومت در برابر رشد پارگی، و رنگ فیلم‌های نانویی بررسی شده و با فیلم شاهد (فاقد ذرات نانو) مقایسه شد. نتایج نشان داد که با به کار بردن ذرات نانویی در فیلم پلی اتیلن با دانسیته پایین (LDPE)، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی و مقاومت در برابر رشد پارگی، به میزان ۱/۴ تا ۲/۵ برابر افزایش می‌یابد در حالی که درصد کشیدگی تا پاره شدن و چقرمگی، به میزان ۱/۱ تا ۴ برابر کاهش خواهد یافت. اثر نوع فیلم نانویی بر مدول الاستیسیته، مقاومت کششی و مقاومت در برابر رشد پارگی در سطح ۰/۹۹ و درصد میزان کشیدگی تا پاره شدن و چقرمگی فیلم، در سطح ۰/۹۵ معنادار است. با بررسی پارامترهای مربوط به رنگ و به دست آوردن اختلاف رنگ کلی فیلم‌ها (ΔE)، مشخص شد که فیلم دارای ۱۰۰۰ قسمت در میلیون نانو نقره (S2)، در مقایسه با سایر فیلم‌ها رنگ بیشتری دارد. کمترین اختلاف رنگ کلی مربوط به فیلم شاهد است. اختلاف رنگ کلی در فیلم‌های نانو نقره، با افزایش درصد نقره افزایش می‌یابد، ولی در فیلم‌های ترکیبی با افزایش درصد رس کاهش نشان می‌دهد. در مجموع، با توجه به نتایج آزمون رنگ، فیلم شاهد (فاقد ذرات نانو) و فیلم دارای ۱۰۰۰ قسمت در میلیون نانو نقره (S2)، بهترین و بدترین نوع فیلم شناخته شدند. در مجموع، فیلم نانویی ترکیبی ۳ درصد (SC3)، دارای «۵۰۰ قسمت در میلیون نقره-۴۵۰ قست در میلیون رس» از نظر خواص مکانیکی، نسبت به سایر فیلم‌ها در سطحی قابل قبول تر قرار دارد، اما مشکل عمده‌ای که دارد، رنگ تیره آن به دلیل وجود ذرات رس است که ممکن است برای بسته‌بندی برخی مواد غذایی (که رنگ بسته نقش مهمی دارد) مناسب نباشد. در چنین مواردی، فیلم‌های نانویی ترکیبی با درصد کمتر ذرات رس می‌تواند به کار برده شود وگرنه باید به دنبال راه‌های رفع تیرگی آن بود.

واژه‌های کلیدی

بسته‌بندی مواد غذایی، فیلم‌های نانویی، ویژگی‌های مکانیکی

مقدمه

داد. معرفی ساده‌ترین تکنولوژی تولید بسته‌بندی‌های نانویی با فناوری‌های داخل کشور، بررسی مسائل مربوط به ایمنی زیستی و قابلیت انتقال ذرات نانو از بسته‌بندی به محصولات غذایی، و اقتصادی بودن استفاده از این بسته‌ها در کشور مسایل مهمی هستند که باید بررسی شوند. برآورد می‌شود که استفاده از بسته‌بندی‌های نانو و کاهش

سالانه به طور متوسط حدود ۳۰ درصد از محصولات کشاورزی تولید شده در کشور به ضایعات تبدیل می‌شود که ۷ تا ۸ درصد آن به علت بسته‌بندی نامناسب است. به گزارش ایسنا، در بسته‌بندی محصولات کشاورزی می‌توان سالانه حدود ۸ درصد از ضایعات را در این بخش کاهش

اکسیژن و بخار آب به میزان، ۶۰ و ۴۵ درصد بود. میزان کشیدگی تا پاره شدن (EB)، نیز افزایش یافت.

وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2008) به ساخت فیلم nc-TiC/a-C:H به روش تکنیک پلاسمای دوگانه پرداختند و خواص مکانیکی و ساختاری آن را بررسی کردند که نتایج حاکی از افزایش بسیار زیاد مدول الاستیسیته و سختی به ترتیب در حد ۵۱۰ و ۶۶/۴ مگاپاسکال بود.

در پژوهشی دیگر کاوو و همکاران (Cao *et al.*, 2008) اثر ضخامت را بر خواص الاستیکی فیلم نانویی ZnO بررسی کردند و نشان دادند که با افزایش ضخامت، مدول الاستیسیته فیلم‌های نانویی ZnO کاهش می‌یابد.

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی انواعی از فیلم‌های نانوکامپوزیت^۲ تحت تأثیر ذرات نانو رس به تازگی گزارش شده است (Viviana *et al.*, 2008). نتیجه تست کشش روی فیلم‌ها حاکی از اثر معنادار ذرات رس در افزایش مدول الاستیسیته تا ۵۰۰ درصد بود. لی جی و همکاران (Li Ji *et al.*, 2008) با استفاده از پرتو X به بررسی خواص مکانیکی نانو کامپوزیت Mo/DLC پرداختند. طبق گفته این پژوهشگران، این روش برای بررسی سختی و مدول الاستیسیته مفید است. پرتو X می‌تواند در تخمین و بررسی مقدار عددی ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های نانویی به‌عنوان ابزاری دقیق به‌کار رود.

نانوکامپوزیت‌ها یا فیلم‌های نانویی می‌توانند خواص مقاومت در مقابل گرما و مقاومت مکانیکی را بهبود بخشند و سرعت انتقال گازها را کمتر کنند. فیلم‌های نانویی با خواص آنتی‌باکتریال خود به دلیل وجود ذرات نقره و همچنین نفوذپذیری کمتر نسبت به اکسیژن و بخار آب به دلیل ذرات رس نسبت به فیلم‌های معمولی، در نگهداری از مواد غذایی بسته‌بندی شده، افزایش ماندگاری و جلوگیری از بیات شدن محصولاتمانند نان، نقش قابل

ضایعات محصولات کشاورزی، سالانه ۱۶۴ تا ۱۸۷ میلیون دلار صرفه‌جویی اقتصادی را در کشور به همراه خواهد داشت (Tajeddin, 2003).

فناوری نانو در جهت بسته‌بندی و کاهش ضایعات هنوز در آغاز راه قرار دارد، ولی در همین چند سال اخیر امیدهای زیادی در میان دانشمندان برای دستیابی به مواد با قابلیت‌های ویژه و ساخت محصولات با عمر و کیفیت بالا ایجاد کرده است (Mararu *et al.*, 2005).

تحقیقات بسیاری به منظور بهبود خواصی نظیر پایداری ابعادی، سفتی، مقاومت و دیگر خواص فیزیکی و مکانیکی پلی‌اتیلن برای حفظ جایگاه رقابتی این ماده در کاربردهای مهندسی صورت می‌گیرد. با ساخت کامپوزیت‌های پلی‌اتیلن و الیاف تقویت‌کننده از طریق فناوری‌های نوین فرایند و شکل دهی خاص این‌گونه مواد و همچنین تهیه ترکیبات پر شده و ایجاد و تولید گونه‌های جدیدی از پلی‌اتیلن، چنین هدفی دست یافتنی است.

لیدانی و همکاران (Laidani *et al.*, 2008) ویژگی‌های مکانیکی و نوری فیلم‌های نانوکامپوزیت zirconia-carbon را بررسی کردند. نتایج تحقیقات این محققان تغییر مدول الاستیسیته^۱ به واسطه تغییر مقدار کربن بود. در تحقیقی دیگر میسجاک و همکاران (Misjak *et al.*, 2007) خواص مکانیکی و ساختاری فیلم‌های نانو کامپوزیتی نقره-مس را بررسی کردند. فیلم‌ها تحت فاصله زمانی و تحت فشار بخار حرارتی در خلا کامل ساخته شدند. نتیجه این بود که با افزایش درصد نقره، خواص مکانیکی تغییر می‌کند. بیشترین سختی به دست آمده در حدود ۴ مگاپاسکال برای ترکیب حاوی ۲۰ درصد نانو نقره به دست آمد.

بررسی ویژگی‌های مکانیکی و نفوذپذیری و رئولوژیکی فیلم‌های نانو کامپوزیتی با پایه پلی‌پروپیلن توسط لوتی و همکاران (Lotti *et al.*, 2008)، حاکی از افزایش مدول الاستیسیته تا ۹۵ درصد و کاهش نفوذپذیری نسبت به

پلی‌اتیلن^۱ (LDPE) درجه ۷۵/۰ و مستریچ حاوی ۲۰ درصد نقره است که تحت شرایط دمایی ۱۶۵-۱۹۵ درجه سلسیوس و سرعت ۵۰ دور در دقیقه، به روش برهم کنش مذاب و با همکاری ستاد نانو ریاست جمهوری تولید شده است.

جدول ۱، خصوصیات به کار برده شده را نشان می‌دهد. دامنه استفاده از ذرات نقره در این تحقیق ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ قسمت در میلیون است. مقادیر کمتر از ۲۵۰ قسمت در میلیون، تأثیر ناچیز بر ویژگی‌های ضد میکروبی دارد و مقادیر بیشتر از ۱۰۰۰ قسمت در میلیون، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. استفاده از ذرات نانو رس، در دامنه‌ای کمتر از ۱۵۰ قسمت در میلیون کم تأثیر است و بیشتر از ۴۵۰ قسمت در میلیون نیز تأثیر منفی در رنگ فیلم‌های نانویی ایجاد می‌کند که در بسته‌بندی محصولات غذایی با اهمیت است (Anon, 2007).

توجهی دارند. بهبود خواص مکانیکی، کاهش نفوذپذیری و خروج بخار آب از بسته‌ها، به حفظ تازگی مواد غذایی بسته‌بندی شده کمک می‌کند و باعث افزایش ماندگاری آن می‌شود (Sattari Najaf Abadi et al., 2009).

در این تحقیق، نانو فیلم‌هایی برای بسته‌بندی مواد غذایی ساخته و آزمایش شدند. بررسی منابع نشان می‌دهد که تاکنون کاری در زمینه فیلم‌های نانویی ترکیبی با ساختار نقره-رس، گزارش نشده است. ویژگی‌های مکانیکی نانوفیلم‌ها برای بسته‌بندی مواد غذایی بررسی و نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش ویژگی‌های مکانیکی هفت نوع فیلم نانویی تهیه شده بررسی و نتایج آن با فیلم شاهد (فاقد ذرات نانو) مقایسه شد. فیلم‌های مورد استفاده بر پایه

جدول ۱- روش نامگذاری فیلم‌های به کار رفته در پژوهش

شماره تیمار	نماد تیمار	ترکیب و درصد
۱	W	شاهد
۲	S 0.5	۲۵۰ قسمت در میلیون نقره (۰/۵ درصد نقره)
۳	S 1	۵۰۰ قسمت در میلیون نقره (۱درصد نقره)
۴	S 1.5	۷۵۰ قسمت در میلیون نقره (۱/۵درصد نقره)
۵	S 2	۱۰۰۰ قسمت در میلیون نقره (۲درصد نقره)
۶	SC 1	۵۰۰ قسمت در میلیون نقره - ۱۵۰ قسمت در میلیون رس (ترکیبی ۱ درصد)
۷	SC 2	۵۰۰ قسمت در میلیون نقره - ۳۰۰ قسمت در میلیون رس (ترکیبی ۲ درصد)
۸	SC 3	۵۰۰ قسمت در میلیون نقره - ۴۵۰ قسمت در میلیون رس (ترکیبی ۳ درصد)

ضخامت فیلم

ضخامت فیلم‌ها با میکرومتر مدل Mitotyo و با دقت 0.001 میلی‌متر در ۱۰ نقطه متفاوت فیلم‌ها اندازه‌گیری و از میانگین این اعداد در تعیین ویژگی‌های مکانیکی استفاده شد.

ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های نانویی

در این پژوهش، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی^۱، چقرمگی^۲، درصد کشیدگی تا پاره شدن^۳، مقاومت در برابر رشد پارگی^۴ و رنگ فیلم‌های نانویی تعیین و بررسی شد. "مدول الاستیسیته" بیانگر مقاومت در برابر کشش نمونه، "مقاومت کششی" بیانگر مقاومت در برابر پاره شدن و "درصد میزان کشیدگی تا پاره شدن" بیانگر میزان کشش‌پذیری نمونه است. میزان چقرمگی از طریق محاسبه سطح زیر منحنی تنش-کرنش تا نقطه پارگی^۵ (Mohsenin, 1970) و با استفاده از نرم افزار اکسل به دست آمد.

دستگاه آزمون مواد

دستگاه آزمون مواد مورد استفاده برای اجرای آزمایش‌ها، مدل 2.5H1S WN:150888 ساخت شرکت ZWICK بود. نیرو در دستگاه از طریق بارسنج‌های کرنش سنج‌دار Z شکل قابل استفاده در حالت کشش و فشار اندازه‌گیری می‌شود. برای اجرای آزمایش‌ها، بارسنج ۵۰۰ نیوتن به کار برده شد. آزمون کشش برای مقایسه مقاومت کششی، مدول ینگ، درصد ازدیاد طول در نقطه پارگی و چقرمگی نمونه‌های نانویی، نسبت به پلی‌اتیلن خالص صورت گرفت. نانوکامپوزیت‌ها دسته‌ای از کامپوزیت‌ها و دارای خواص مکانیکی بالاتری نسبت به زمینه خالص دارند. اما آزمون کشش روی این مواد به دلایل مختلف از جمله دقت پایین گیره نگهدارنده فیلم‌ها، اغلب دشوار است به خصوص اینکه آزمون روی فیلم نانویی با ضخامت بسیار کم انجام شود. این آزمون ۵ مرتبه تکرار شد.



شکل ۱- نمای از دستگاه آزمون مواد

1- Tensile Strength
4- Tear Strength

2- Toughness
5- Rupture Point

3- Elongation at Break Percent

نحوه آزمایش کشش فیلم‌ها

طبق استاندارد، فیلم‌ها به ابعاد 1×6 سانتی‌متر با تیغه برش بریده و در شرایط محیطی 25°C درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 50% در صد به مدت 48 ساعت نگهداری و سپس آزمون کشش با سرعت 50 میلی‌متر بر دقیقه با فاصله داخلی 100 میلی‌متر دو فک اجرا شد (Anon, 1989a). باید توجه داشت که این آزمون برای کامپوزیت‌ها و فیلم‌ها به نوع آماده‌سازی نمونه بسیار حساس است. در مورد فیلم‌های نانویی ترکیبی این آماده‌سازی بسیار با اهمیت است به‌صورتی که برش نمونه‌ها در ابعاد مشخص شده در استاندارد با تیغه‌های برش معمولی علی‌رغم ظاهر مناسب با چشم غیر مسلح، نتایج بسیار نامطلوبی دارد. بنابراین، نمونه‌ها با قیچی‌های ویژه عکاسی با لبه‌های صاف بریده شدند.

مقاومت در برابر رشد پارگی

این آزمایش طبق استاندارد (Anon, 1989b) انجام

شد. مقاومت در برابر رشد پارگی عامل مهمی برای ارزیابی نمونه پس از شکاف خوردن آن است. مقاومت در برابر رشد پارگی بر حسب گرم سنجیده می‌شود. دستگاه آزمایش مقاومت به پارگی (شکل ۲)، دارای یک گیره ثابت و یک گیره متحرک روی آونگ است. گیره متحرک برای نگه داشتن آونگ در موقعیت بالاتر است. با رها شدن آونگ، مسیر کمانی شکلی طی می‌شود و دستگاه نیز مسیر را ثبت می‌کند. نمونه‌های فیلم در دستگاه با گیر بسته و برای شروع پارگی طبق استاندارد (Anon, 1989b) شکاف داده می‌شوند. آونگ سپس رها و سبب پاره شدن نمونه می‌شود. مسیر طی شده توسط دستگاه ثبت می‌گردد. کمان طی شده با مقاومت نمونه در برابر پارگی نسبت دارد. در عملیات بسته‌بندی، فیلم با مقاومت زیاد در برابر پارگی مورد نیاز است. ولی برای باز کردن راحت بعضی از بسته‌ها مقاومت کم در برابر پاره شدن مطلوب است. این آزمون روی فیلم‌ها پنج بار تکرار شد.



شکل ۲- دستگاه آزمایش مقاومت در برابر رشد پارگی در فیلم

آزمون رنگ فیلم‌ها

همچنین اختلاف رنگ کلی مربوط به فیلم‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Joo-Won Lee *et al.*, 2008).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

در این رابطه،
 $\Delta L = (L^* - L_0^*)$ ؛ $\Delta a = (a^* - a_0^*)$ ؛ و $\Delta b = (b^* - b_0^*)$ است؛ و
 L_0^* ، a_0^* ، b_0^* نیز مربوط به پارامترهای رنگی استاندارد و
 L^* ، a^* ، b^* مربوط به پارامترهای رنگی نمونه هستند.
 آزمایش‌ها برای هر نوع فیلم نانویی سه بار تکرار و نتایج
 ثبت شد.

در پایان، کلیه نتایج با استفاده از آنالیز واریانس و
 مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن، تجزیه و تحلیل شدند.

برای این منظور دستگاه هانت‌ر لب (Hunter Lab) مدل ۴۵/۰، ساخت کشور ژاپن (شکل ۳)، به کار برده شد. برای کالیبره کردن دستگاه، از دو کاشی سیاه و سفید استفاده گردید. نمونه‌ها روی دستگاه قرار داده شده و با فشار دادن کلید خواندن، دستگاه رنگ نمونه‌ها را به صورت عدد مربوط به سه فاکتور L^* ، a^* و b^* مشخص کرد که به ترتیب بیانگر میزان (سیاهی-سفیدی)، (قرمزی-سبزی)، و (آبی-زردی) هستند. سیاهی-سفیدی در محدوده‌ای بین صفر (تیرگی) تا ۱۰۰ (روشنایی)، a^* مثبت نشان دهنده تمایل به قرمزی، a^* منفی نشان دهنده تمایل به سبزی، b^* مثبت نشان دهنده تمایل به رنگ آبی و b^* منفی نشان دهنده تمایل به رنگ زرد است.



شکل ۳- دستگاه هانت‌ر لب برای تعیین رنگ فیلم‌ها

نتایج و بحث

بررسی ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها

شد. بهبود خواص مکانیکی فیلم‌های بسته‌بندی، باعث افزایش مقاومت بسته در برابر نیروهای خارجی و جلوگیری از پاره شدن آن می‌شود و با افزایش ماندگاری، ضایعات محصولات غذایی پایین می‌آید.

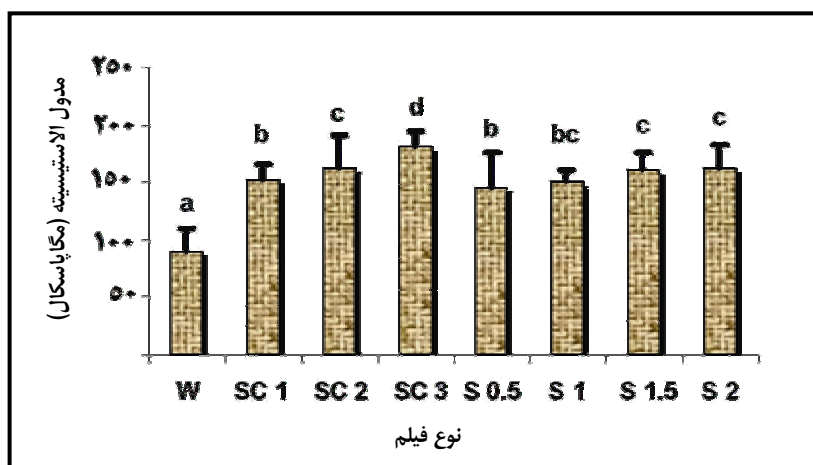
آزمون کشش برای مقایسه مقاومت کششی، مدول یانگ، درصد افزایش طول در نقطه پارگی و چقرمگی نمونه‌های نانویی، با پلی‌اتیلن خالص، آزمون کشش اجرا

مدول الاستیسیته

در نانو فیلم‌های ترکیبی هم با افزایش درصد ذرات رس، این افزایش قابل رویت است. در میان فیلم‌های موجود، فیلم نانویی ترکیبی شماره ۳ (SC3) بیشترین و فیلم شاهد (W) کمترین مقدار مدول الاستیسیته را دارند. به کاربردن مواد نانویی، مدول الاستیسیته را ۱/۵ تا ۱/۹ برابر افزایش داده است. در تحقیقات لیدانی و همکاران (Laidani et al., 2008)، میسجاک و همکاران (Misjak et al., 2007)، لوتی و همکاران (Lotti et al., 2008)، وانگ و همکاران (Wang et al., 2008)، و لی جی و همکاران (Li Ji et al., 2008) برای فیلم‌های نانویی مشابه گزارش شده است. در فیلم‌هایی که این محققان ساخته‌اند با افزایش درصد مواد نانویی، مدول الاستیسیته افزایش یافته بود.

آزمون مقایسه میانگین‌ها بر مدول الاستیسیته اجرا شد و نتایج آن در شکل ۴ آمده است. حروف غیر یکسان در هر ستون نشان دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۹۵ است. همچنین، اثر نوع فیلم نانویی بر مدول الاستیسیته در سطح ۰/۹۹ معنادار است.

در شکل ۴ مشاهده می‌شود که به کار بردن ذرات نانو نقره و نانو رس در فیلم LDPE، مدول الاستیسیته را به طور قابل مشاهده‌ای افزایش داده است که دلیل آن می‌تواند سخت شدن ذات پلیمر بر اثر ذرات نانو رس با لایه‌های نازک نانومتری باشد که ساختاری صفحه مانند دارند. شکل ۴ نشان می‌دهد که، با افزایش میزان ذرات نقره، مدول الاستیسیته به طور نسبی افزایش یافته است.



شکل ۴- رابطه انواع فیلم‌های نانویی با مدول الاستیسیته

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

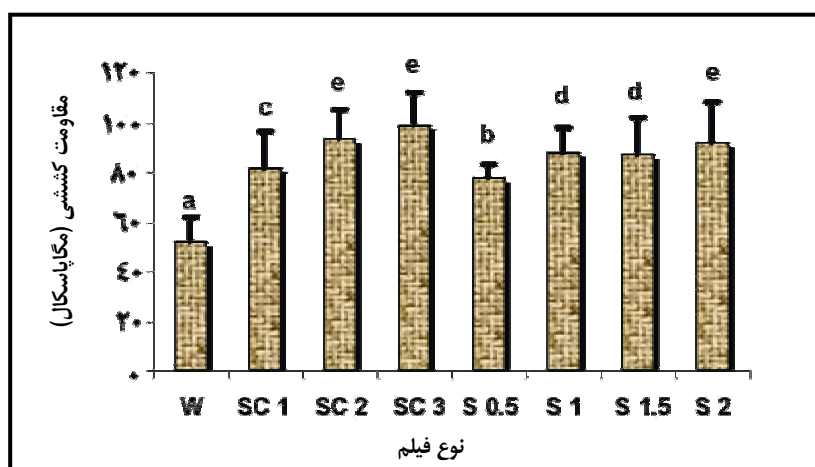
مقاومت کششی برهمکنش بین لایه‌های سیلیکاتی و پلیمر است. ضمناً خاک رس و ذرات نقره که موادی صلب هستند ممکن است باعث افزایش سفتی و گرانروی زمینه شوند. افزایش میزان پراکندگی ذرات رس موجب افزایش سطح المان‌های ویژه تقویت‌کننده‌ای است که سطح ویژه‌ای در حدود ۷۰۰ متر مربع بر گرم دارند و این سطح

مقاومت کششی

نتایج آزمون مقایسه میانگین مقاومت کششی فیلم‌ها تا نقطه پارگی در شکل ۵ آمده است. اثر نوع فیلم بر مقاومت کششی در سطح ۰/۹۹ معنادار است. با به کار بردن مواد نانویی در فیلم LDPE مقاومت کششی به طور قابل توجهی افزایش یافته است (شکل ۵). دلیل افزایش

تحقیقات لیدانی و همکاران (Laidani et al., 2008)، میسجاک و همکاران (Misjak et al., 2007)، لوتی و همکاران (Lotti et al., 2008)، وانگ و همکاران (Wang et al., 2008)، و لی جی و همکاران (Li Ji et al., 2008) نتایجی مشابه برای فیلم‌های نانویی نتایجی مشابه به دست آمده است.

بر خواص نهایی فیلم‌ها به شدت تأثیرگذار است. به همین دلایل استحکام نانوکامپوزیت‌ها از زمینه خالص بالاتر است. در میان فیلم‌های موجود، بیشترین و کمترین مقاومت کششی به ترتیب مربوط به فیلم نانویی ترکیبی شماره ۳ (SC3) و فیلم شاهد (W) است. به کاربردن مواد نانویی، مقاومت کششی را ۱/۴ تا ۲/۱ برابر افزایش داده است. در



شکل ۵- رابطه نوع فیلم و مقاومت کششی

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

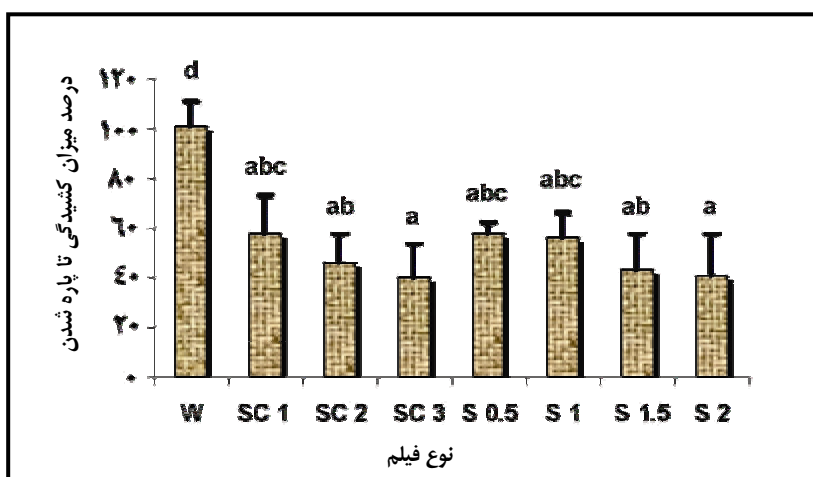
برابر پارگی کاهش یافته است. در نانو فیلم‌های ترکیبی نیز با افزایش میزان ذرات رس، این کاهش قابل رویت است. همچنین مشاهده می‌شود که بیشترین و کمترین مقدار کشیدگی به ترتیب مربوط به فیلم شاهد (W) و فیلم نانویی ترکیبی شماره ۳ (SC3) است. به کاربردن مواد نانویی، درصد میزان کشیدگی تا پاره شدن را ۱/۴ تا ۲/۱ برابر کاهش داده است. در تحقیقات میسجاک و همکاران (Misjak et al., 2007)، وانگ و همکاران (Wang et al., 2008)، ویویانا و همکاران (Viviana et al., 2008)، و لی جی و همکاران (Li Ji et al., 2008) نتایجی مشابه به دست آمد.

درصد کشیدگی تا پاره شدن

نمودار مربوط به نتایج آزمون مقایسه میانگین درصد میزان کشیدگی تا پاره شدن در شکل ۶ آمده است. اثر نوع فیلم بر درصد میزان کشیدگی تا پاره شدن در سطح ۰/۹۵ معنادار است.

با به کار بردن ذرات نانویی (شکل ۶)، درصد کشیدگی تا پاره شدن کاهش یافته است. وجود پرکننده‌ها در بعضی از نقاط زمینه پلیمری باعث نقص، افزایش سفتی، و گرانروی زمینه شده، که نتیجه تمام این عوامل کاهش درصد کشیدگی تا پاره شدن نسبت به پلیمر خالص است. با توجه به شکل ۶، با افزایش میزان ذرات نقره، مقاومت در

بررسی ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های نانویی نقره...



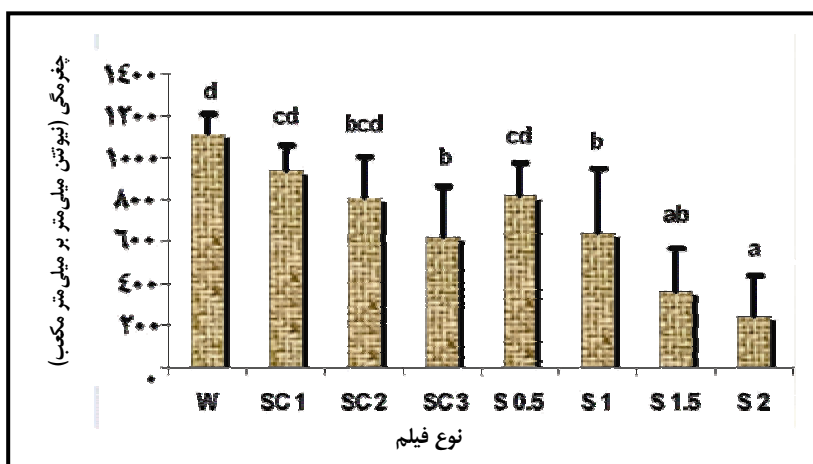
شکل ۶- رابطه نوع فیلم با درصد میزان کشیدگی تا پاره شدن

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

چغرمگی

نانویی در فیلم LDPE، چغرمگی کاهش یافته است. در نانو فیلم‌های ترکیبی نیز کاهش چغرمگی با افزایش درصد رس، قابل رویت است. طبق شکل ۷، بیشترین و کمترین مقدار چغرمگی به ترتیب آن مربوط به فیلم شاهد (W) و نانوی نقره ۲ درصد (S2) است. به کار بردن مواد نانویی، چغرمگی را ۱/۳ تا ۴/۲ برابر کاهش داده است.

میزان چغرمگی از طریق محاسبه سطح زیر منحنی تنش-کرنش تا نقطه پارگی به دست آید. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها در شکل ۷ مشاهده می‌شود. همچنین اثر نوع فیلم بر چغرمگی در سطح ۰/۹۵ معنادار بوده است. با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که با به کار بردن مواد



شکل ۷- رابطه نوع فیلم با چغرمگی

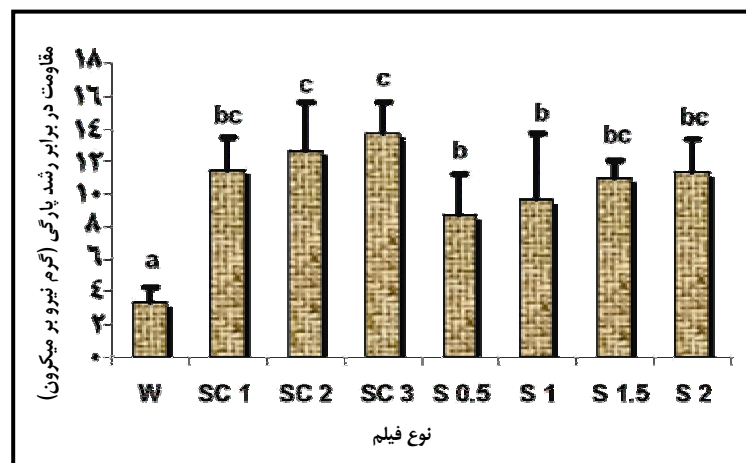
(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

مقاومت در برابر رشد پارگی

نمودار مربوط به نتایج آزمون مقایسه میانگین مقاومت در برابر رشد پارگی در شکل ۸ آمده است. اثر نوع فیلم بر مقاومت در برابر رشد پارگی در سطح ۰/۹۹ معنادار است.

در شکل ۸ مشاهده می‌شود، با به کار بردن مواد نانو کامپوزیتی در فیلم LDPE، مقاومت در برابر رشد پارگی افزایش یافته است. با توجه به شکل ۸، با افزایش ذرات نقره، مقاومت را در برابر رشد پارگی به طور نسبی افزایش

داده است. در نانو فیلم‌های ترکیبی این افزایش بیشتر قابل رویت است. ذرات نقره و رس به افزایش میزان بلورینگی کمک می‌کند، باعث افزایش سختی زمینه پلیمری می‌شود. در میان فیلم‌های موجود، فیلم نانویی ترکیبی شماره ۳ (SC3)، و فیلم شاهد (W) به ترتیب بیشترین و کمترین مقاومت را در برابر رشد پارگی دارند. به کار بردن مواد نانویی، مقاومت در برابر رشد پارگی را ۲/۵ تا ۴/۱ برابر افزایش داده است.



شکل ۸- رابطه انواع فیلم‌های نانویی و مقاومت در برابر رشد پارگی

(میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.)

انواع فیلم‌ها و آزمون رنگ آنها

نتایج مربوط به مقایسه میانگین داده‌های آزمون رنگ انواع فیلم در جدول ۲ آمده است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار L^* مربوط به نمونه شاهد است که ذرات نانویی ندارد و دارای بیشترین روشنایی است. کمترین مقدار L^* در فیلم‌های نانو نقره مربوط به فیلم S2 و در فیلم‌های نانویی ترکیبی مربوط به فیلم SC1 است. نتایج نشان می‌دهد که L^* با افزایش درصد نقره، کاهش، ولی با افزایش درصد رس، افزایش

می‌یابد. در کل با افزودن مواد نانویی، L^* نسبت به نمونه شاهد کاهش نشان می‌دهد. کمترین و بیشترین مقدار a^* به ترتیب مربوط به نمونه شاهد (W) و S2 است. در جدول ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد نقره، a^* هم افزایش می‌یابد که این نشان‌دهنده گرایش به سمت رنگ قرمز است. افزایش a^* در فیلم‌های نانویی ترکیبی، همراه با افزایش درصد رس نیز مشاهده می‌شود. کمترین و بیشترین مقدار b^* به ترتیب مربوط به فیلم شاهد (W) و نمونه S2 است. مشاهده می‌شود که با افزایش درصد نقره،

مقایسه با سایر نمونه‌ها رنگ بیشتری دارد که احتمالاً به دلیل b^* بالای آن است. کمترین اختلاف رنگ کلی مربوط به فیلم شاهد است. اختلاف رنگ کلی در فیلم‌های نانو نقره، با افزایش درصد نقره افزایش، ولی در فیلم‌های ترکیبی با افزایش درصد رس، کاهش یافته است.

b^* هم افزایش می‌یابد که این نشان دهنده گرایش به سمت رنگ آبی است. در فیلم‌های نانویی ترکیبی، با افزایش میزان رس، b^* کاهش می‌یابد.

با بررسی هر سه عامل رنگی و به دست آوردن اختلاف رنگ کلی (ΔE) فیلم‌ها، مشخص شد که فیلم S2 در

جدول ۲- رابطه انواع فیلم‌های نانویی با ویژگی‌های رنگی آن‌ها

ΔE		b^*		a^*		L^*		
انحراف	میانگین	انحراف	میانگین	انحراف	میانگین	انحراف	میانگین	انواع فیلم
معیار		معیار		معیار		معیار		
± 0.07	$0.50a$	± 0.06	$1/6a$	± 0.04	$-1/47a$	± 0.16	$92/40d$	W
$\pm 1/38$	$2/55ab$	± 0.09	$3/47ab$	± 0.47	$-0.91a$	± 0.89	$91/26cd$	S 0.5
$\pm 2/20$	$5/40b$	$\pm 1/75$	$5/49b$	± 0.90	$0.38b$	$\pm 1/05$	$89/44bcd$	S 1
$\pm 2/45$	$9/09c$	$\pm 1/07$	$8/37c$	± 0.48	$1/32bc$	$\pm 2/68$	$87/47bcd$	S 1.5
$\pm 2/01$	$14/07d$	$\pm 2/21$	$14/66d$	$\pm 1/02$	$3/52e$	$\pm 6/17$	$82/52a$	S 2
± 0.86	$11/17c$	± 0.55	$9/65c$	± 0.28	$1/61d$	± 0.70	$86/06ab$	SC 1
$\pm 2/06$	$10/79c$	$\pm 1/32$	$8/97c$	± 0.21	$2/26d$	± 0.64	$86/80abc$	SC 2
$\pm 1/63$	$9/13c$	$\pm 1/32$	$8/57c$	± 0.50	$3/56e$	$\pm 1/18$	$87/68bcd$	SC 3

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

دارند سبب افزایش سختی داخلی نمونه و در نتیجه باعث بهبود خواص مکانیکی و کاهش عبورپذیری فیلم‌ها می‌شود. این رفتار را می‌توان ناشی از این حقیقت دانست که افزایش میزان پراکندگی ذرات رس موجب افزایش سطح المان‌های ویژه تقویت‌کننده‌ای است که سطح ویژه‌ای در حدود ۷۰۰ متر مربع بر گرم دارند؛ این سطح بر خواص نهایی کامپوزیت به شدت تأثیرگذار است. در واقع پراکندگی بیشتر ذرات رس به نحوی نشانگر ایجاد تعداد بسیار زیاد المان‌های تقویت‌کننده منفرد است. بهبود خواص مکانیکی، کاهش عبورپذیری و خروج بخار آب از بسته‌ها، به حفظ تازگی مواد غذایی بسته‌بندی شده کمک کرده و باعث افزایش ماندگاری آنها می‌شود (Sattari Najaf Abadi et al., 2009).

در مجموع می‌توان گفت فیلم‌های نانویی خواص مقاومت در مقابل گرما و مقاومت مکانیکی را بهبود می‌بخشند و سرعت انتقال گازها را کمتر می‌کنند. فیلم‌های نانویی با خواص آنتی‌باکتریال خود نسبت به فیلم‌های معمولی به دلیل وجود ذرات نقره و همچنین عبورپذیری کمتر در برابر اکسیژن و بخار آب به دلیل ذرات رس، در نگهداری از مواد غذایی بسته‌بندی شده، افزایش ماندگاری و جلوگیری از بیات شدن محصولاتی مانند نان، نقش قابل توجهی دارند. ذرات نانو نقره با خاصیت ضد میکروبی خود از رشد کپک‌ها و میکروب‌ها جلوگیری کرده و با ایجاد محیط ضد میکروبی، خواص ارگانولپتیک را بهبود می‌بخشند. به کار بردن ذرات نانو رس با لایه‌های نازک نانومتری که ساختاری صفحه مانند

نتیجه‌گیری

با به‌کار بردن ذرات نانویی در فیلم LDPE، مدول الاستیسیته به طور قابل توجه‌ای افزایش می‌یابد. در میان فیلم‌های موجود، فیلم نانویی ترکیبی شماره ۲ (SC3)، بیشترین مقدار مدول الاستیسیته و فیلم شاهد (W) کمترین مقدار را داراست. به‌کاربردن مواد نانویی، مدول الاستیسیته را ۱/۵ تا ۱/۹ برابر افزایش می‌دهد. همچنین اثر نوع فیلم بر مدول الاستیسیته در سطح ۰/۹۹ معنادار است.

به‌کار بردن ذرات نانویی در فیلم LDPE، مقاومت کششی را ۱/۴ تا ۲/۱ برابر افزایش می‌دهد. در بین فیلم‌های موجود، بیشترین مقدار مقاومت کششی مربوط به فیلم نانویی ترکیبی شماره ۳ (SC3) و کمترین آن مربوط به فیلم شاهد است. اثر نوع فیلم بر مقاومت کششی در سطح ۰/۹۹ معنادار است.

با به‌کار بردن ذرات نانویی، درصد کشیدگی تا پاره شدن کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار میزان کشیدگی مربوط به فیلم شاهد (W) و کمترین مقدار مربوط به فیلم نانویی ترکیبی شماره ۳ (SC3) است. اثر انواع فیلم‌های نانویی بر درصد میزان کشیدگی تا پاره شدن در سطح ۰/۹۵ معنادار است. به‌کاربردن مواد نانویی، درصد کشیدگی تا پاره شدن را ۱/۴ تا ۲/۰ برابر کاهش می‌دهد.

با به‌کار بردن مواد نانویی در فیلم LDPE، میزان چقرمگی کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار چقرمگی مربوط به فیلم شاهد (W) و کمترین آن مربوط به فیلم نانو نقره ۲ درصد (S2) است. به‌کاربردن مواد نانویی، چقرمگی را ۱/۳ تا ۴/۲ برابر کاهش می‌دهد. اثر نوع فیلم بر چقرمگی در سطح ۰/۹۵ معنادار است.

با به‌کار بردن مواد نانو کامپوزیتی در فیلم LDPE، مقاومت در برابر رشد پارگی به طور قابل توجه‌ای افزایش می‌یابد. در میان فیلم‌های موجود، فیلم نانویی ترکیبی شماره ۳ (SC3)، بیشترین مقاومت را در برابر رشد پارگی و فیلم شاهد (W)، کمترین مقاومت را در برابر رشد پارگی دارد. به‌کاربردن مواد نانویی، مقاومت در برابر رشد پارگی

را ۲/۵ تا ۴/۱ برابر افزایش می‌دهد و اثر نوع فیلم بر مقاومت در برابر رشد پارگی در سطح ۰/۹۹ معنادار است. با بررسی سه عامل رنگی و به دست آوردن اختلاف رنگ کلی فیلم‌ها (ΔE)، مشخص شد که فیلم نانو نقره ۲ درصد (S2) در مقایسه با سایر فیلم‌ها رنگ بیشتری دارد. کمترین اختلاف رنگ کلی مربوط به فیلم شاهد است. اختلاف رنگ کلی در فیلم‌های نانو نقره، با افزایش درصد نقره افزایش می‌یابد، ولی در فیلم‌های ترکیبی با افزایش درصد رس، کاهش نشان می‌دهد.

در مجموع، فیلم نانویی ترکیبی SC3 (۵۰۰ قسمت در میلیون نقره-۴۵۰ قسمت در میلیون رس)، در مقایسه با سایر فیلم‌ها از نظر خواص مکانیکی در سطحی قابل قبول‌تر قرار دارد؛ مشکل عمده‌ای که دارد رنگ تیره آن به دلیل وجود ذرات رس است که ممکن است برای بسته‌بندی برخی مواد غذایی (که رنگ بسته نقش مهمی دارد) مناسب نباشد. در چنین مواردی، فیلم‌های نانویی ترکیبی با درصد کمتر می‌تواند به‌کار برده شود.

با توجه به اینکه هزینه ساخت فیلم‌های حاوی ذرات نانو نقره، ۱/۱ تا ۱/۳ و هزینه ساخت فیلم‌های نانویی ترکیبی ۱/۱ تا ۱/۲ برابر فیلم‌های معمولی است (Sattari Najaf Abadi et al., 2009)، به نظر می‌رسد که صرفه اقتصادی استفاده از فیلم‌های نانویی در بسته‌بندی مواد غذایی مانند نان، که زمان فساد آن را ۴۰ تا ۶۰ درصد به تأخیر می‌اندازد، به مراتب بیشتر از هزینه ساخت آنهاست. بنابراین استفاده از فیلم‌های نانویی ساخته و بررسی شده در این پژوهش می‌تواند حرکتی مفید در جهت کاهش ضایعات محصولات کشاورزی باشد.

از جمله کاری‌شدنی در بهبود کیفیت فیلم‌های نانویی از بین بردن رنگ تیره آن دسته از فیلم‌هایی است که دارای ذرات نقره و رس با درصد بالا هستند. همچنین به‌کار بردن روش‌های بهینه ساخت برای حفظ ضخامت یکسان فیلم در تمام نقاط، به بهتر شدن ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های نانویی کمک می‌کند.

قدردانی

از سرکار خانم چاووشی که در تهیه و ساخت فیلم‌های نانویی همکاری کرده‌اند و نیز از دیگر همکارانی که در مراحل مختلف آزمایش یاری رسان بودند، سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- Anon. 1989a. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Method D882-88. American Society for Testing and Materials. Philadelphia. PA.
- Anon. 1989b. Standard test method for Tensile Strength properties of thin plastic sheeting. Method D1922. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA.
- Anon. 2007. Anti bacterial Packaging advantages. <http://www.nanocid.com>. (in Farsi)
- Cao, G., and Chen, X. 2008. Size dependence and orientation dependence of elastic properties of ZnO nanofilms. *Inter. J. Solids. Struc.* 45, 1730-1753.
- Laidani, N., Micheli, V., Bartali, R., Gottardi, G. and Anderle, M. 2008. Optical and mechanical characterization of zirconia-carbon nanocomposite films. *Thin Solid Films*. 516, 1553-1557.
- Li Ji A. B., Hongxuan Li, A., Fei Zhao, A. B., Jianmin Chen, A. and Zhou, H. 2008. Microstructure and mechanical properties of Mo/DLC nanocomposite films. *Diamond & Related Materials J.* 17(11): 1949-1954.
- Lotti, C., ISAAC Claudia, S., Branciforti Marcia, C., Alves Rosa, M. V., Liberman Susana., Bretas Rosario E. S. 2008. Rheological, mechanical and transport properties of blown films of high density polyethylene nanocomposites. *European Polymer J.* 44, 1346-1357.
- Mararu, J. C. and Haung, Q. 2005. Nanotechnology: a new frontier in food science. *Agro Food industry hi-tech*. 16(6).
- Misjak, F., Barna, P. B., Toth, A. L. Ujvari, T. Bertoti, I. and Radnoczi, G. 2008. Structure and mechanical properties of Cu-Ag nanocomposite films. *Thin Solid Films*. 516(12): 3931-3934.
- Mohsenin, N. N. 1970. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Pub. New York.
- Sattari Najaf Abadi, M., Minaee, S., Azizi, M. H. and Afshari, H. 2009. Effect of application of nano technology and nano packaging on reduction of losses of food products and its risks. 5th Scientific and Researching Congress of Gilan University Agricultural Students. (in Farsi)
- Sattari Najaf Abadi, M., Minaee, S., Azizi, M. H. and Afshari, H. 2009. Effect of application of nano films maked in country on bread staling with shear test method. 5th Student Congress of Nano Technology. Tehran. (in Farsi)
- Tajeddin, B. 2003. Prevention food materials loss with suitable packaging. Prevent from bread and food materials loss. (in Farsi)
- Viviana, P., Cyras, A., Liliana, B., Manfredi, A., Minh-Tan Ton-That, B., Anali, A. and Zquez, V. 2008. Physical and mechanical properties of thermoplastic starch/montmorillonite nanocomposite films. *Carbohydrate Polymers*. 73(1): 55-63.
- Wang, Y., Zhang, X., Wu, X., Li, Q., Zhang, H. and Zhang, X. 2008. Structural and mechanical properties of nc-TiC/a-C:H nanocomposite film prepared by dual plasma technique. *Mater. Sci. Eng.* 488(1-2):112-116.

Mechanical Properties of Silver-Clay Nanofilms for Food Packaging

S. Minaee, M. Sattari Najaf Abadi^{*}, M. H. Azizi and H. Afshari

^{*} Corresponding Author: M. Sc. Graduate. Tarbiat Modares University, P. O. Box: 14115-336, Tehran, Iran. Email: sattari.utm@gmail.com

In this research, the mechanical properties of seven types of nanofilm with differing amounts of silver and silver-clay particles were studied. The elasticity of modulus, tensile strength, toughness, elongation at break, tear strength and color of nanofilms were compared with those of ordinary LDPE film. Results showed that the inclusion of nano particles increased the modulus of elasticity, tensile strength and tear strength 1.1 to 2.5 times. However, elongation at break point and toughness of the films decreased 1.4 to 4 times. The effect of film type on modulus of elasticity, tensile stress and tear strength was significant at the 0.01 level and for elongation at break point and toughness was significant at the 0.05 level. An investigation of film color parameters and ΔE showed that the 1000 ppm nano silver film had more color than the other films. The smallest ΔE was for the control film. The ΔE value of the nano silver films increased as nano particle content increased and, in nano composite films, decreased as clay content increased. Overall, the nano film with 1000 ppm nano silver content was the best film and the control film was the worst. In conclusion, the nano composite film (SC3) with 500 ppm nano silver and 450 ppm nano clay content was the best film in terms of its mechanical properties. The dark color of this film, however, is an undesirable aspect for food packaging. This may be alleviated by color-removing procedures or by use of the films with lower nano particle content.

Key words: Food Packaging, Mechanical Properties, Nano Technology