

بررسی اثر فیلم‌های نانوکامپوزیتی فعال (LDPE-nanoTiO₂-nanoclay) بر خواص فیزیکی، مکانیکی و کیفی میوه کیوی

حسین میرزایی مقدم^۱، محمد هادی خوش تقاضا^{۲*}، علی سلیمی^۳ و محسن برزگر^۴

چکیده

یکی از کاربردهای فناوری نانو در صنعت کشاورزی، استفاده از فیلم‌های فعال نانوکامپوزیتی در بسته‌بندی فعال محصولات کشاورزی به منظور افزایش زمان نگهداری آن‌ها می‌باشد. در این پژوهش فیلم‌های فعال نانوکامپوزیت پلی‌اتیلنی C2T0.5 (حاوی ۰.۲٪ نانورس و ۰.۵٪ نانوتیتان) و C4T0.5 (حاوی ۰.۴٪ نانورس و ۰.۵٪ نانوتیتان) و همچنین فیلم پلی‌اتیلنی خالص (C0T0)، به روش اختلاط مذاب، تهیه شدند. در ادامه ضمن بررسی ساختار نانوکامپوزیتی فیلم‌های تولیدی با استفاده از دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD)، برای بررسی اثر فیلم‌های نانوکامپوزیت تولیدی بر عمر قفسه‌ای میوه کیوی، برخی از خواص فیزیکی، مکانیکی و کیفی این محصول در طی نگهداری با بسته‌های نانوکامپوزیت تولیدی اندازه‌گیری شد. در ادامه با انجام آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، داده‌ها تجزیه و تحلیل شدند. نتایج آزمون XRD نشان از پخش قابل قبول نانوذرات در زمینه بسپاری فیلم‌های نانوکامپوزیت تولیدی با ساختار درمیان لایه‌ای بود. در بررسی خواص مختلف فیزیکی و مکانیکی میوه‌های کیوی، مشاهده شد که نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم‌های نانوکامپوزیتی فعال، در مقایسه با فیلم‌های پلی‌اتیلنی خالص، کمترین میزان مواد جامد محلول، میزان pH و بیشترین میزان رطوبت و سفتی را دارند. در بررسی خواص کیفی میوه‌های بسته‌بندی شده، بیشترین امتیاز از لحاظ رنگ و شکل ظاهری و مطلوبیت کلی، مربوط به نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم‌های نانوکامپوزیتی نتیجه شد. پس با توجه به شرایط این پژوهش و نتایج مذکور، برای افزایش عمر قفسه‌ای میوه کیوی، فیلم نانوکامپوزیتی فعال C2T0.5 پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی فعال، پلی‌اتیلن، خواص فیزیکی، کیوی، مکانیکی و کیفی، نانورس، نانوتیتان.

ارجاع: میرزایی مقدم ح. خوش تقاضا م. ه. سلیمی ع. و برزگر م. ۱۳۹۳. بررسی اثر فیلم‌های نانوکامپوزیتی فعال (LDPE-nanoTiO₂-nanoclay) بر خواص فیزیکی، مکانیکی و کیفی میوه کیوی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۴: ۲۷-۳۵.

۱- استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود.

۲- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۳- استادیار پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران.

۴- استاد گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

* نویسنده مسئول: Khoshtag@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۱۴

مقدمه

براساس بیان صادرکنندگان میوه کیوی در ایران، این میوه به دلیل ضعف در بسته‌بندی، درجه‌بندی، عدم بهره‌گیری از فرآورده‌های جانبی و نبود امکانات در این زمینه، به صورت فله‌ای و با قیمت نازل به کشوری مثل ترکیه صادر می‌شود. این کشور در مقایسه با ایران با توجه به صنایع تبدیلی و بسته‌بندی قوی و رعایت اصول بازاریابی، سود زیادی از فروش میوه کیوی ایران در بازارهای اروپا کسب می‌کند. پس اگر مشکلات مربوط به بسته‌بندی، درجه‌بندی و انبارداری و در نهایت صادرات این کالا رفع شود، ایران می‌تواند بیشترین سهم را در بازار میوه کیوی اروپا داشته باشد (قنبری، ۱۳۸۱).

یکی از روش‌های جدید بسته‌بندی مواد غذایی، بسته‌بندی فعال محصولات، با استفاده از فناوری نانو است. در این روش از یک‌سری مواد افزودنی با اهداف مختلفی در بسپارها (پلیمرها) استفاده می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۰۹). به عنوان مثال از نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید (نانوتیتان) به عنوان عامل ضد میکروب و از نانوذرات خاک رس (نانورس) با هدف بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی، در تولید فیلم‌های نانوکامپوزیت بسپاری استفاده می‌شود (کری و باتلر، ۲۰۰۸). در پژوهشی، نتایج حاصل از از بررسی ویژگی‌های کیفی میوه کیوی در طی نگهداری (دما °C ۴) با فیلم نانوکامپوزیتی (زمینه پلی‌اتیلن و نانوذرات نقره، نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید و مونت‌موریلونیت) در مقایسه با فیلم پلی‌اتیلن معمولی، نشان داد که پس از ۴۲ روز نگهداری، نمونه‌های داخل فیلم نانوکامپوزیتی در مقایسه با فیلم معمولی، افت وزنی و میزان مواد جامد محلول کمتر و سفتی بیشتری را دارند (هو و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی دیگر، نتایج نشان داد که بسته‌های تولید شده به وسیله فناوری نانو در مقایسه با بسته‌های پلی‌اتیلنی، تأثیر کاملاً مفیدی بر خواص فیزیکی، شیمیایی و کیفی عناب چینی، در طی نگهداری داشته است (لی و همکاران، ۲۰۰۹). در پژوهشی، اثر بسته‌های تهیه شده از فیلم‌های نانویی (نانوذرات نقره و رس) بر میزان رطوبت و ویژگی‌های کیفی نان بسته‌بندی شده در این بسته‌ها، بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش نانوذرات، میزان بیاتنی نان کاهش یافت (ستاری نجف‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۸). در پژوهشی دیگر نتایج نشان داد که بسته‌های تولید شده با نانوذرات ضد میکروب روی دی‌اکسید نسبت

به بسته‌های بدون این نانوذرات، عمر قفسه‌ای آبمیوه تازه پرتقال را به مدت ۲۸ روز افزایش دادند. همچنین اثرات کمتر این نانوذرات بر ویژگی‌های حسی آبمیوه تازه پرتقال نتیجه شد (امامی‌فر، ۲۰۱۰). در پژوهشی نتایج نشان داد که استفاده از جاذب اتیلن (پتاسیم پرمنگنات در آلومینیم اکسید) سبب کاهش سرعت نرم شدن میوه‌های کیوی در طی نگهداری در کیسه‌های پلی‌اتیلنی شد (اسکات و همکاران، ۱۹۸۴). در پژوهشی دیگر نتایج نشان داد که بسته‌بندی با پوشش داده شده با ۳۰۰۰۰۰ ppm نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید، کمترین تغییر pH را برای محصول خیار در پی داشت (شاهی و همکاران، ۱۳۸۹). در پژوهشی دیگر، نتایج نشان داد که فیلم‌های حاوی نانو ذرات نقره در مقایسه با فیلم‌های پلی‌اتیلن معمولی سبب افزایش کیفیت و ماندگاری محصول زرشک شد (ولی‌پور مطلق و همکاران، ۱۳۸۷).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با انجام آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، در سه تکرار، اثر فیلم‌های بسته‌بندی فعال نانوکامپوزیتی با زمینه پلی‌اتیلن با چگالی کم (LDPE)، در سه سطح، حاوی دو نوع ترکیب نانوذرات، یعنی ۰/۵٪ نانوتیتان + ۲٪ نانورس (C2T0.5) و ۰/۵٪ نانوتیتان + ۴٪ نانورس (C4T0.5) در مقایسه با فیلم پلی‌اتیلن خالص (C0T0) بر عمر قفسه‌ای (خواص فیزیکی، مکانیکی و کیفی) میوه کیوی بررسی شد. بدین منظور پس از تولید فیلم‌های نانوکامپوزیتی و بررسی ساختار نانویی آن‌ها، میوه‌ها را با فیلم‌های تولید شده (در سه سطح مذکور) بسته‌بندی کرده و در طی نگهداری، با انجام آزمایش‌های مختلف خواص فیزیکی، مکانیکی (در سه تکرار و هر تکرار حاوی سه نمونه) و کیفی (در ۱۸ تکرار) آن‌ها اندازه‌گیری شد.

در ادامه با نرم‌افزارهای آماری SPSS-20 و Excel-2003، داده‌ها تجزیه و تحلیل شد و نتایج به صورت جدول‌ها و نمودار ارائه شده است.

الف) تولید فیلم‌های نانوکامپوزیتی فعال و بررسی ساختار آن‌ها

در این پژوهش از پلی‌اتیلن با چگالی کم (LDPE، LF0200) با میزان چگالی ۰/۹۲ g/cm³ تهیه شده از

پتروشیمی بندر امام خمینی که به‌دلیل غیررسمی بودن، ارزان و در دسترس بودن، در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد زیادی دارد به‌عنوان زمینه نانوکامپوزیت استفاده شد (وانگ و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین از پلی‌اتیلن مالئیکه (PE-g-MA) ساخت شرکت ایرانی کاراگین، به‌عنوان سازگار کننده در تولید پیش‌پخش‌های حاوی نانورس استفاده شد و از ضداکسید کننده ایرگانوکس ۱۰۱۰ (ساخت شرکت بایر آلمان) برای جلوگیری از اکسید شدن و افزایش پایداری حرارتی در هنگام فرایند تولید فیلم‌های نانوکامپوزیتی، کاهش نوسانات غلظت و پایداری حرارتی محصول نهایی استفاده شد (بهشتی و رضادوست، ۱۳۸۴).

همچنین به‌دلیل ابعاد کم نانوذرات خاک رس (در یک گرم از این ماده، بیش از یک میلیون المان صفحه‌ای منفرد وجود دارد)، استفاده از این ماده به ندرت از ۵٪ وزنی تجاوز می‌کند و به طور معمول با کمتر از ۵٪، نتایج خوبی به دست می‌آید (اسکاتر و همکاران، ۲۰۱۰) و نیز از آنجا که در بررسی منابع مختلف، به‌منظور ایجاد خاصیت ضدقارچی فیلم‌های نانوکامپوزیتی، میزان درصد وزنی نانوتیتان در حدود ۵٪ گزارش شده است (هو و همکاران، ۲۰۱۱). پس در این پژوهش برای بهبود خواص فیزیکی، مکانیکی و ایجاد خاصیت ضد میکروبی برای فیلم‌های نانوکامپوزیت تولیدی و پرهیز از کدر شدن فیلم‌های نانوکامپوزیت تولید شده از ۵٪ نانوتیتان (P25،

Degussa, Germany) (ما و همکاران، ۲۰۰۵) به همراه ۲ و ۴٪ نانورس (Closite-15A ساخت شرکت Southern Clay) استفاده شد (علافی، ۲۰۰۸).

پس از تهیه مواد، با استفاده از روش اختلاط مذاب که جزء فناوری‌های سبز است، فیلم‌های نانوکامپوزیت بسیاری تهیه شدند (پرین-سارازین و همکاران، ۲۰۰۵). برای تولید فیلم‌های نانوکامپوزیتی، ابتدا پیش‌پخش‌ها تهیه شدند. بدین ترتیب که پس از رطوبت‌زدایی از نانوذرات به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس، به‌منظور تهیه دو نوع پیش‌پخش، مواد با نسبت‌های مشخص با یکدیگر مخلوط شدند که عبارتند از: پیش‌پخش نانورس: حاوی ۵ phr ۰/۵ ایرگانوکس ۱۰۱۰، ۱۵٪ پلی‌اتیلن مالئیکه، ۵٪ نانو رس و ۸۰٪ پلی‌اتیلن. پیش‌پخش نانوتیتان: حاوی ۵ phr ۰/۵ ایرگانوکس ۱۰۱۰، ۵٪ نانوتیتان و ۹۵٪ پلی‌اتیلن. سپس با استفاده از دستگاه اکسترودر دو مارپیچه (ZSK 25, Twin-Screw extruder, W & P) که در شش ناحیه حرارتی (۱۶۰، ۱۶۰، ۱۷۵، ۱۵۰، ۱۵۰ و ۱۴۰ °C) و سرعت مارپیچه ۲۵۰ rpm تنظیم شده بود، پیش‌پخش‌ها به‌صورت گرانول، تهیه شدند (امامی‌فر و همکاران، ۲۰۱۰). در ادامه، دوباره با استفاده از دستگاه اکسترودر مذکور و درصدهای مختلف از پیش‌پخش‌های تهیه شده و پلی‌اتیلن، عمل رقیق‌سازی انجام شد که اجزای ترکیبی تیمارهای به دست آمده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- تیمارهای فیلم‌های تهیه شده از آمیزه‌ها

شماره ردیف	شناسه نمونه	PE-g-MA (wt%)	نانوتیتان (wt%)	نانورس (wt%)	LDPE (wt%)
۱	C0T0	۰	۰	۰	۱۰۰
۲	C2T0.5	۶	۰/۵	۲	۹۱/۵
۳	C4T0.5	۱۲	۰/۵	۴	۸۳/۵

طول موج $1/540.56^\circ \text{A}$ ، ولتاژ ۴۰ kV، جریان ۳۰ mA در زوایای 2θ ۱۰-۱، انجام شد.

ب) بسته‌بندی میوه کیوی با فیلم‌های نانوکامپوزیتی تولیدی و بررسی خواص مختلف آن‌ها
برای بررسی اثر بسته‌های تهیه شده از فیلم‌های نانوکامپوزیت تولیدی بر عمر قفسه‌ای میوه کیوی، داخل هر یک از بسته‌ها ۴ عدد میوه قرار داده و دو طرف بسته،

در مرحله پایانی، با استفاده از دستگاه اکسترودر فیلم دمشی (مدل Plasticorder) ساخت شرکت آلمانی برابندر، از آمیزه‌های رقیق شده، فیلم‌های نانوکامپوزیتی با ضخامت $70 \mu\text{m}$ و ابعاد $22 \times 20 \text{ cm}$ تولید شدند.

در ادامه برای بررسی ساختار نانوکامپوزیت‌ها و الگوی پخش نانوذرات در نانوکامپوزیت، روی نمونه‌های منتخب، آزمون پراش اشعه ایکس (X-ray diffraction, XRD) با دستگاه (X'Pert MPD, Philips, Holland) و اشعه‌ای با

دوخت حرارتی زده شد. سپس نمونه‌ها در دمای 5°C و رطوبت نسبی ۳۰٪ (شرایط قفسه فروشگاه) نگهداری شدند و در زمان‌های ۰، ۲، ۴ و ۶ هفته نگهداری، آزمایش‌های مشخصی که در ادامه ذکر شده است، روی نمونه‌ها انجام شد (هو و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش

از میوه‌های کیوی رقم هیوارد (جدول ۲) که از باغات مرکبات استان مازندران برداشت شده و در سردخانه (دمای 0°C و رطوبت نسبی ۹۵٪-۹۰٪) نگهداری شدند، استفاده شد.

جدول ۲- برخی مشخصات فیزیکی میوه‌های کیوی مورد استفاده در پژوهش

جرم میانگین (g)	حجم میانگین (cm^3)	قطر میانگین هندسی (mm)	ضریب کروییت
۱۰۵/۸۵±۱/۸	۱۰۲/۶۶±۱/۳۲	۵۴/۹۶±۰/۲۸	۰/۸۱±۰/۰۲

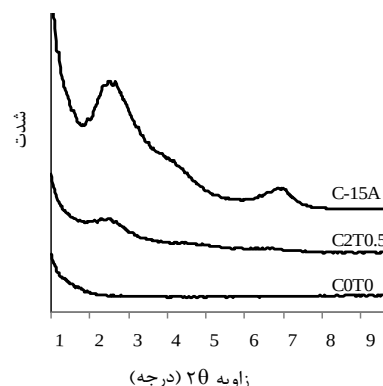
برای تعیین میزان مواد جامد محلول هر نمونه، از دستگاه رفراکتومتر (53000C Hand Refractometer) استفاده شد (امسی گلن و همکاران، ۲۰۰۲) و با به کارگیری دستگاه pH متر (744 Metrohn)، میزان pH هر نمونه تعیین شد (استاندارد OECD، ۱۹۹۸). همچنین میزان رطوبت بر پایه تر برای هر میوه، با استفاده از دو قطعه به ضخامت ۳ mm از هر میوه و دمای 65°C به مدت ۲۴ ساعت محاسبه شد (امسی گلن و همکاران، ۲۰۰۲). میزان سفتی میوه از طریق انجام آزمون پانچ و اندازه‌گیری شاخص استاندارد سفتی مگنس-تیلور با استفاده از دستگاه آزمون مواد (H50 K-S, Hounsfield, England) در راستای قطر کوچک میوه با پروب محدب به قطر ۸ mm، عمق نفوذ ۸ mm و با سرعت بارگذاری ۱۰ mm/s، اندازه‌گیری شد (هرتوگ و همکاران، ۲۰۰۴). در پایان هفته ششم از نگهداری نمونه‌ها، برای بررسی اثر احتمالی نانوذرات موجود در فیلم‌های نانوکامپوزیتی تولیدی بر خواص کیفی میوه کیوی، آزمون پنل انجام شد. این آزمون توسط یک گروه ارزیاب متشکل از ۱۸ نفر و تمامی ارزیابی‌ها به روش تک‌چشایی و با امتیازبندی هدونیک پنج نقطه‌ای انجام شد. ارزیاب‌ها نمونه‌ها را از نظر طعم و مزه، بو، رنگ و شکل ظاهری و مطلوبیت کلی، ارزیابی و امتیازبندی کردند (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹).

نتایج و بحث

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، طیف حاصل از پراش اشعه ایکس نانورس اصلاح شده (C-15A) دارای یک قله اصلی در $2\theta=20.7^{\circ}$ با فاصله پایه $31.5 \text{ \AA}$ است که نشان دهنده فاصله بین لایه‌ای صفحات نانورس می‌باشد، یعنی معیاری برای میزان وارد شدن زنجیره پلیمر زمینه

در بین صفحات نانورس است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نمونه C2T0.5 نسبت به C-15A از ارتفاع قله اصلی کاسته شده و همچنین نوک قله به سمت زاویه کوچک‌تر حرکت کرده است. این امر معرف آن است که تا حدی نظم صفحات نانورس از بین رفته و با قرار گرفتن زنجیرهای پلیمری در بین صفحات نانورس، فاصله‌های بین صفحات نانورس افزایش یافته است (تانگ و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین پخش مناسب صفحات نانورس در نانوکامپوزیت تولیدی، می‌تواند ناشی از اثر مثبت نانوتیتان بر میزان پخش صفحات نانورس در نانوکامپوزیت تولیدی باشد که علاوه بر نامنظم کردن صفحات نانورس، با قرار گرفتن در بین صفحات نانورس، فاصله بین آن‌ها را نیز افزایش داده است (گلیبوسکی و همکاران، ۲۰۰۸). از آنجا که در نمونه C2T0.5 از ارتفاع قله‌ها کاسته شده است، می‌توان نتیجه گرفت که الگوی پخش ذرات نانورس در بین زمینه بسپاری به‌صورت در میان لایه‌ای (Intercalated) ایجاد شده است (علافی، ۲۰۰۸). دیگر پژوهش‌گران نیز الگوی پخش شدن ذرات نانورس را در زمینه‌های بسیاری پلی‌ونیل استات (PVA)، پلی‌اتیلن (PE) و پلی‌اتیلن دی‌اکسید (PEO) به‌صورت درمیان لایه‌ای گزارش کرده‌اند (چوی و همکاران، ۲۰۰۱). ردی و همکاران (۲۰۰۷) نیز با توجه به طیف پراش اشعه ایکس برای نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن مالئیکه حاوی ۲، ۳ و ۵٪ نانورس (C-15A)، پخش صفحات نانورس را به‌صورت ساختار از هم گسیخته و برای نانوکامپوزیت حاوی ۸٪ نانورس، ساختار در میان لایه‌ای را گزارش کردند. همچنین آیت‌اللهی و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر مثبت نانو تیوب‌های کربنی (MWNTs) بر فاصله‌های بین لایه‌ای صفحات نانورس در نانوکامپوزیت اپوکسی را گزارش کردند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس متغیرها برای خواص اندازه‌گیری شده در جدول ۳ به طور خلاصه آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، علاوه بر اثرات اصلی زمان و فیلم، اثر متقابل آن‌ها نیز بر تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، معنی‌دار شده است.



شکل ۱- طیف‌های حاصل از پراش اشعه ایکس (XRD)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس متغیرها برای ویژگی‌های سفتی، pH، MC و SSC میوه

مقادیر میانگین مربعات (M.S)				درجه آزادی	متغیر
SSC	pH	MC	سفتی		
۱۰/۱۴**	۰/۵۱**	۵/۹۹**	۶۶/۰۴**	۳	زمان نگهداری
۲/۰۷**	۰/۱۲۶**	۰/۴۲**	۳۱/۸۳**	۲	فیلم
۰/۲۹**	۰/۰۲۱**	۰/۰۵۱**	۵/۱۵**	۶	زمان نگهداری × فیلم
۰/۰۱۲	۲/۳ × ۱۰ ^{-۴}	۰/۰۰۸	۰/۰۶۸	۲۴	خطا
-	-	-	-	۳۶	کل

* در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. ** در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. NS معنی‌دار نیست.

نانوکامپوزیتی نسبت به فیلم پلی‌اتیلنی، سرعت نرم شدن میوه‌ها کاهش یافت. لی و همکاران (۲۰۰۹) نیز تأثیر فیلم‌های بسته‌بندی نانوکامپوزیتی را بر میزان سفتی عناب‌چینی، مثبت گزارش کردند.

همچنین با توجه به جدول ۴، مشاهده می‌شود با افزایش زمان نگهداری میزان رطوبت میوه‌ها کاهش یافته است و این کاهش برای نمونه‌های داخل فیلم‌های پلی‌اتیلن خالص (C0T0) نسبت به فیلم‌های نانوکامپوزیتی (C2T0.5 و C4T0.5) بیشتر است که این امر می‌تواند به دلیل تفاوت در میزان تراوایی فیلم‌ها ناشی از حضور ذرات نانورس (صفحات نانورس)، به وجود آمده باشد (ردی و همکاران، ۲۰۰۷). هو و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که پس از ۲۷ روز نگهداری (دمای ۴°C) میزان رطوبت میوه‌های کیوی بسته‌بندی شده در فیلم نانوکامپوزیتی و پلی‌اتیلن معمولی کمتر از ۰/۸٪ کاهش یافت به‌طوری که نمونه‌های داخل فیلم نانوکامپوزیتی کاهش رطوبت کمتری داشتند و بعد از آن (تا پایان ۴۲ روز نگهداری) تغییر معنی‌داری نیافت. فیسک و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که نگهداری میوه‌های کیوی در بسته‌بندی با تهویه کم، افت وزنی نمونه‌ها، کمتر شد. به گزارش لی و همکاران (۲۰۰۹)، پس از ۱۲ روز نگهداری،

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، در تمام تیمارها با افزایش زمان نگهداری میزان سفتی میوه‌ها کاهش یافته است. نرم شدن و کاهش سفتی میوه، نه فقط به دلیل تبدیل پروتوپکتین نامحلول به پکتین محلول است، بلکه به دلیل کاهش همی سلولز نیز است (صانعی شریعت‌پناهی، ۱۳۶۱). دیگر پژوهش‌گران نیز روند سفتی میوه کیوی را در طی نگهداری کاهش‌ی گزارش کرده‌اند (فیسک و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین مشاهده می‌شود (جدول ۴) که نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم‌های نانوکامپوزیتی (C2T0.5 و C4T0.5) نسبت به فیلم پلی‌اتیلن خالص (C0T0) پس از ۶ هفته نگهداری، دارای سفتی بیشتری هستند. از آنجا که سطوح بالای کربن دی‌اکسید (CO₂) سرعت تنفس میوه‌ها و سبزیجات را کاهش می‌دهد (لی و همکاران، ۲۰۰۸)، این تفاوت می‌تواند به دلیل کاهش میزان تراوایی حاصل از وجود ذرات نانورس در فیلم‌های نانوکامپوزیتی (علافی، ۲۰۰۸) و در نتیجه افزایش میزان کربن دی‌اکسید داخل بسته‌ها و همچنین جذب بخشی از گاز اتیلن ساطع شده از میوه‌ها به وسیله ذرات نانورس موجود در نانوکامپوزیت‌ها، به وجود آمده باشد (کری و باتلر، ۲۰۰۸). به گزارش هو و همکاران (۲۰۱۱)، با بسته‌بندی میوه کیوی در فیلم

عناصبات‌های بسته‌بندی شده در فیلم نانوکامپوزیتی نسبت به فیلم پلی‌اتیلنی، افت وزنی کمتری داشتند. همچنین بین دو نمونه فیلم نانوکامپوزیتی C2T0.5 و C4T0.5 از نظر میزان رطوبت اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود که این امر می‌تواند به دلیل عدم تغییر در میزان تراوایی این نمونه‌ها رخ داده باشد. در ادامه نتایج این پژوهش نشان داد در غلظت‌های ۶ و ۸٪ نانورس در نانوکامپوزیت‌های تولیدی با زمینه نایلون ۶ از نظر میزان تراوایی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است (علاقی، ۲۰۰۸).

همچنین مشاهده می‌شود (جدول ۴) که با افزایش زمان نگهداری، میزان pH نمونه‌ها افزایش یافته است که می‌تواند به دلیل فعالیت‌های بیوشیمیایی داخل میوه است که سبب شده‌اند مواد اسیدی موجود در میوه به فرآورده‌های قندی تبدیل شوند (میدانی و هاشمی دزفولی، ۱۳۷۶). افزایش pH، برای میوه‌های بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانوکامپوزیتی (C2T0.5 و C4T0.5) نسبت به پلی‌اتیلن خالص (C0T0)، پس از ۲ هفته نگهداری معنی‌دار نیست. این امر می‌تواند علاوه بر جذب اتیلن به وسیله ذرات نانورس (کری و باتلر، ۲۰۰۸)، به دلیل کاهش میزان تنفس و در نتیجه کاهش سرعت رسیدگی میوه‌ها، ناشی از کاهش میزان تراوایی فیلم‌های نانوکامپوزیتی، به وجود آمده باشد (تانگ و همکاران، ۲۰۰۸). در پژوهشی در ۲۸ روز نگهداری، میزان اسیدیته کیوی‌های بسته‌بندی شده در نانوکامپوزیت و پلی‌اتیلن خالص، کاهش یافت و از نظر نوع فیلم بسته‌بندی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی بعد از ۴۲ روز نگهداری، اسیدیته نمونه‌های داخل پلی‌اتیلن خالص نسبت به فیلم نانوکامپوزیتی، کمتر شد (هو و همکاران، ۲۰۱۱). به گزارش شاهی و همکاران (۱۳۸۹) میزان pH محصول خیار بسته‌بندی شده در فیلم پلی‌اتیلن پوشش داده شده با نانوذرات TiO₂ نسبت به پلی‌اتیلن خالص، افزایش کمتری داشت. لی و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که در طی نگهداری، میزان اسیدیته نمونه‌های عنباط داخل هر دو نوع بسته‌بندی (نانوکامپوزیت و پلی‌اتیلن خالص) کاهش یافته و این کاهش، برای نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم پلی‌اتیلن خالص، بیشتر بود.

همچنین همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود در طی نگهداری میزان مواد جامد محلول (SSC) نمونه‌ها افزایش یافته است و نرخ افزایش این ویژگی برای

نمونه‌های داخل بسته‌بندی پلی‌اتیلن خالص (C0T0) بیشتر از بسته‌های نانوکامپوزیتی است و به عبارتی دیگر سرعت رسیدگی آن‌ها بیشتر است. این امر نیز می‌تواند به طور همزمان ناشی از کاهش میزان تنفس (تانگ و همکاران، ۲۰۰۸) و جذب گاز اتیلن ساطع شده از میوه‌ها به و شسله ذرات نانورس موجود در نانوکامپوزیت، رخ داده باشد (کری و باتلر، ۲۰۰۸). همچنین مشاهده می‌شود، پس از ۶ هفته نگهداری، میزان SSC نمونه‌های داخل بسته‌های نانوکامپوزیتی C4T0.5 نسبت به بسته‌های C2T0.5، کمتر است که این امر می‌تواند به دلیل جذب اتیلن توسط درصد وزنی بیشتر ذرات نانورس در بسته‌های C4T0.5 به وجود آمده باشد (علاقی، ۲۰۰۸). به گزارش هو و همکاران (۲۰۱۱) نیز در ۲۸ روز ابتدای نگهداری، میزان SSC میوه‌های کیوی داخل هر دو بسته پلی‌اتیلنی و نانوکامپوزیتی افزایش یافت و سرعت افزایش این ویژگی بود. در پژوهشی دیگر نیز عنباط‌های داخل بسته‌های نانوکامپوزیتی نسبت به بسته‌های پلی‌اتیلنی، میزان مواد جامد محلول کمتری را دارند (لی و همکاران، ۲۰۰۸).

در ادامه برای بررسی اثرات احتمالی ناشی از نانوذرات موجود در فیلم‌های نانوکامپوزیتی بر ویژگی‌های کیفی میوه‌های بسته‌بندی شده، در هفته ششم از نگهداری، آزمون پنل روی نمونه‌ها انجام شد. نتایج تجزیه واریانس متغیرها در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اثر نوع فیلم، فقط بر دو ویژگی رنگ و شکل ظاهری و مطلوبیت کلی، معنی‌دار شده است. پس با انجام آزمون دانکن، نتایج مقایسه میانگین‌ها به صورت نمودار در ادامه آورده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود (جدول ۶)، از نظر رنگ و شکل ظاهری و مطلوبیت کلی، نمونه‌های بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانوکامپوزیتی نسبت به نمونه‌های بسته‌بندی شده در پلی‌اتیلن خالص (C0T0)، امتیاز بیشتری را کسب کرده‌اند. با توجه به نتایج قبل، این امر می‌تواند به دلیل رسیدگی بیشتر نمونه‌های بسته‌بندی شده در فیلم معمولی (C0T0) به وجود آمده باشد. به گزارش حسنی و همکاران (۱۳۸۹) با انجام آزمون پنل در پایان ۳۰ روز نگهداری میوه‌های کیوی (دمای ۸°C و رطوبت نسبی ۸۵٪-۸۰٪)، نمونه‌های پوشش داده شده (با کنسانتره پروتئین آب پنیر و روغن سیوس برنج) در مقایسه با

نسبت به نمونه‌های داخل فیلم پلی‌اتیلن معمولی، از نظر پذیرش کلی، امتیاز بیشتری را کسب کردند. ستاری نجف‌آبادی و همکاران (۱۳۸۸) نیز با انجام آزمون پنل بر روی نان بسته‌بندی شده در فیلم‌های نانوکامپوزیتی، کمترین میزان بیاتی پس از ۱۴ روز نگهداری، مربوط به فیلم نانوکامپوزیتی حاوی ۵۰۰ ppm نانوذرات نقره و ۴۵۰ ذرات نانورس و بیشترین میزان بیاتی را مربوط به فیلم معمولی گزارش کردند.

نمونه‌های بدون پوشش، از نظر پذیرش عمومی، امتیاز بیشتری را کسب کرده‌اند. در پژوهشی عناب‌های بسته‌بندی شده در فیلم نانوکامپوزیت پلی‌اتیلنی (حاوی نانوذرات نقره، تیتان و کائولین) در مقایسه با فیلم معمولی، خواص کیفی بهتری داشتند (لی و همکاران، ۲۰۰۸). به گزارش امامی‌فر و همکاران (۲۰۱۰)، پس از ۲۸ روز نگهداری، نمونه‌های آب پرتقال بسته‌بندی شده در نانوکامپوزیت پلی‌اتیلنی (حاوی ۰/۲۵٪ نانواکسید روی)

جدول ۴- مقایسه میانگین حاصل از آزمون دانکن برای خواص مختلف میوه کیوی در طی نگهداری

زمان نگهداری (هفته)	نوع فیلم	سفتی (N)	MC (/wb)	pH	SSC(/Brix)
۰	C0T0	۱۷/۱۶(۱/۰۸) ^a	۸۴/۵۴(۰/۲۷) ^a	۳/۲۱(۰/۰۸) ^h	۱۱/۱۶(۰/۵۲) ^g
۰	C2T0.5	۱۷/۱۶(۱/۰۸) ^a	۸۴/۵۴(۰/۲۷) ^a	۳/۲۱(۰/۰۸) ^h	۱۱/۱۶(۰/۵۲) ^g
۰	C4T0.5	۱۷/۱۶(۱/۰۸) ^a	۸۴/۵۴(۰/۲۷) ^a	۳/۲۱(۰/۰۸) ^h	۱۱/۱۶(۰/۵۲) ^g
۲	C0T0	۱۳/۲(۰/۵۲) ^{de}	۸۳/۴۱(۰/۱۸) ^c	۳/۵۳(۰/۰۴) ^d	۱۲/۷(۰/۴۲) ^d
۲	C2T0.5	۱۵/۲(۰/۷۶) ^b	۸۳/۸۱(۰/۱۶) ^b	۳/۴۳(۰/۰۳) ^f	۱۲/۰۴(۰/۵۳) ^f
۲	C4T0.5	۱۵/۵(۰/۷) ^b	۸۳/۸۳(۰/۱۵) ^b	۳/۳۸(۰/۰۱) ^g	۱۲/۰۳(۰/۴۹) ^f
۴	C0T0	۱۰(۱/۱) ^g	۸۲/۶۶(۰/۰۸) ^e	۳/۷۶(۰/۰۲) ^b	۱۳/۵۵(۰/۲۸) ^b
۴	C2T0.5	۱۳/۵(۰/۸۵) ^{de}	۸۳/۰۳(۰/۱۷) ^d	۳/۶(۰/۰۷) ^c	۱۲/۶۶(۰/۳۴) ^{de}
۴	C4T0.5	۱۴/۱۳(۰/۳۸) ^c	۸۳/۰۴(۰/۱۸) ^d	۳/۴۹(۰/۰۴) ^e	۱۲/۴۸(۰/۴۱) ^e
۶	C0T0	۷/۴(۰/۹۹) ^h	۸۲/۴۳(۰/۱۲) ^f	۳/۹۸(۰/۰۳) ^a	۱۴/۴۸(۰/۳۸) ^a
۶	C2T0.5	۱۲/۴(۰/۲۴) ^f	۸۲/۹۱(۰/۱۴) ^d	۳/۷۴(۰/۰۱) ^b	۱۳/۴۳(۰/۱۱) ^b
۶	C4T0.5	۱۲/۹(۰/۳۱) ^e	۸۲/۹۷(۰/۱۲) ^d	۳/۵۹(۰/۰۳) ^c	۱۳/۱۲(۰/۲) ^c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ نیستند.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس برای ویژگی‌های کیفی میوه کیوی

متغیر	درجه آزادی	طعم و مزه	رنگ و شکل ظاهری	بو	مطلوبیت کلی
فیلم	۲	۱/۳۹ ^{ns}	۱۴/۳۸ ^{**}	۰/۷۵ ^{ns}	۵/۶۳ ^{**}
خطا	۶۹	۰/۵۲	۰/۹۵	۰/۵۸	۰/۴۱
کل	۷۲	-	-	-	-

* در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. ** در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. ns معنی‌دار نیست.

جدول ۶- مقادیر میانگین امتیاز رنگ و شکل ظاهری و مطلوبیت کلی حاصل از آزمون دانکن

نوع فیلم	امتیاز رنگ و شکل ظاهری	امتیاز مطلوبیت کلی
C0T0	۲/۸ ^b	۳/۰۸ ^b
C2T0.5	۴/۲ ^a	۳/۹۷ ^a
C4T0.5	۴/۱۹ ^a	۴/۰۵ ^a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ نیستند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، پخش قابل قبول نانوذرات در زمینه بسپاری فیلم‌های نانوکامپوزیت تولیدی، با الگوی پخش درمیان لایه‌ای مشاهده شد. در بررسی خواص مختلف میوه‌های کیوی نگهداری شده با فیلم‌های تولیدی مشاهده شد که نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم‌های نانوکامپوزیتی فعال، در مقایسه با فیلم‌های پلی‌اتیلنی خالص، دارای کمترین میزان مواد جامد محلول، میزان pH

و بیشترین میزان رطوبت و سفتی هستند. در بررسی خواص کیفی نمونه‌ها نتیجه شد که نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم‌های نانوکامپوزیتی در مقایسه با فیلم‌های معمولی از نظر رنگ و شکل ظاهری و مطلوبیت کلی، دارای بیشترین امتیاز شدند. پس با توجه به شرایط این پژوهش و نتایج مذکور، برای افزایش عمر قفسه‌ای میوه کیوی، فیلم نانوکامپوزیتی فعال C2T0.5 (حاوی ۲٪ نانورس و ۵٪ نانوتیتان) پیشنهاد می‌شود.

منابع

۱. بهشتی م. ح. و رضادوست ا. م. ۱۳۸۴. پلاستیک‌های تقویت شده (کامپوزیت‌ها). انتشارات پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران. ۴۴۶ ص.
۲. حسنی ف. جوانمرد م. و گروسی ف. ۱۳۸۹. بررسی ماندگاری میوه کیوی پوشش داده شده با کنسانتره پروتئین آب پنیر و روغن سبوس برنج. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران. ۶(۳): ۱۵۸-۱۶۷.
۳. ستاری نجف‌آبادی م. مینایی س. عزیزی م. ح. و افشاری ح. ۱۳۸۸. تأثیر استفاده از فیلم‌های نانویی بر کاهش ضایعات نان. چهارمین همایش ملی بررسی ضایعات کشاورزی، تهران، دانشگاه تربیت مدرس. ۹۳-۹۹.
۴. شاهی س. خجسته‌پور م. افشاری ح. و عباسپور فرد م. ح. ۱۳۸۹. تأثیر بسته‌بندی با پوشش نانو ذرات TiO₂ بر روی pH محصول خیار. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. ۹-۱۵.
۵. صانعی شریعت‌پناهی م. ۱۳۶۱. مورفولوژی و فیزیولوژی میوه، انتشارات دانشگاه تهران. ۳۹۴ ص.
۶. قنبری م. ۱۳۸۱. گزارش نهایی طرح ارزیابی اقتصادی کشت و تولید میوه کیوی در ایران و بررسی توان صادراتی آن. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی. ۱۸ ص.
۷. میدانی ج. و هاشمی دزفولی س. الف. ۱۳۷۶. فیزیولوژی پس از برداشت. نشر آموزش کشاورزی. ۴۰۸ ص.
۸. ولی‌پور مطلق ن. حامد موسویان م. ت. و مرتضوی س. ع. ۱۳۸۹. تأثیر بسته‌های محتوی نانوذرات نقره بر مشخصه‌های میکروبی و ظاهری زرشک در مقایسه با بسته‌های پلی‌اتیلن معمولی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی ایران. ۵(۲): ۷۵-۸۷.
9. Allafi A. R. 2008. Effect of different percent loadings of nanoparticles and food processing conditions on the properties of Nylon 6 films. Presented in partial fulfillment of the requirements for the degree doctor of philosophy in the graduate school of the Ohio state University, Food Science and Nutrition. 132 p.
10. Ayatollahi M. R. Shokrieh M. M. Shadlou S. Kefayati A. R. and Chitsazzadeh M. 2011. Mechanical and Electrical Properties of Epoxy/Multi-walled Carbon Nanotube/ Nanoclay Nanocomposites. Iranian Polymer Journal. 20(10): 835-843.
11. Choi H. Kim S. Hyun Y. and Jhon M. 2001. Preparation and Rheological Characteristics of Solvent-Cast Poly (ethylene-oxide)/ Montmorillonite Nanocomposites, Macromol. Rapid Commun. 22(5): 320-325.
12. Emamifar A. Kadivar M. Shahedi M. and Soleimani-Zad S. 2010. Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 11(4): 742-748.
13. Fisk C. L. Silver A. M. Strik B. C. and Zhao Y. 2007. Postharvest quality of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* Ananasnaya) associated with packaging and storage conditions. Postharvest Biology and Technology. 47: 338-345.
14. Golebiewski J. Rozanski A. Dzwonkowski J. and Galeski A. 2008. Low density polyethylene-montmorillonite nanocomposites for film blowing. European Polymer Journal. 44: 270-286.
15. Hertog M. L. A. T. M. Nicholson S. E. and Jeffery P. B. 2004. The effect of modified atmospheres on the rate of firmness change of 'Hayward' kiwifruit. Journal of the Postharvest Biology and Technology. 31: 251-261.
16. Hu Q. Fang Y. Yang Y. Ma N. and Zhao L. 2011. Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. Food Research International. 44: 1589-1596.

17. Kerry J. and Butler P. 2008. Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England. 348 p.
18. Lee D. S. Yam K. L. and Piergiovanni L. 2008. Food Packaging Science and Technology. New York CRC Press, Taylor & Francis Group. 621 p.
19. Li H. Li F. Wang L. Sheng J. Xin Z. Zhao L. Xiao H. Zheng Y. and Hu Q. 2009. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* (Bunge) Rehd). Food Chemistry. 114(2): 547-552
20. Ma D. Akpalu Y. A. Li Y. Siegel R. W. and Schadler L. S. 2005. Effect of titania nanoparticles on the morphology of low density polyethylene. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics. 43(5): 488-497.
21. McGlone V. A. Jordan R. B. Seelye R. and Martinsen P. J. 2002. Comparing density and NIR methods for measurement of Kiwifruit dry matter and soluble solids content. Journal of the Postharvest Biology and Technology. 26: 191-198.
22. Perrin-Sarazin F. Ton-That M. T Bureau M. N. and Denault J. 2005. Micro-and nano-structure in polypropylene/clay nanocomposite. Polymer. 46: 11624-11634.
23. Reddy M. M. Gupta R. K. Bhattacharya S. N. and Parthasarathy R. 2007. Structure-property relationship of melt intercalated maleated polyethylene Nanocomposites. Korea-Australia Rheology Journal. 19(3):133-139.
24. Ščetar M. Kurek M. and Galić K. 2010. Trends in Fruit and Vegetable Packaging- a Review. Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition. 5(3-4): 69-86.
25. Scott K. J. Giugni J. and Bailey J. M. C. C. 1984. The use of polyethylene bags and ethylene absorbent to extend the life of kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch) during cool storage. Journal of Horticultural Science. 59(4): 563-566
26. Tang X. Alavi S. and Herald T. J. 2008. Effects of plasticizers on the structure and properties of starch-clay nanocomposite films. Carbohydrate Polymers. 74(3): 552-558.
27. Wang Y. Easteal A. J. and Chen X. D. 1998. Ethylene and Oxygen Permability Through Polyethylene Packaging Films. Packaging Technology and Science. 11(4): 169-178.