مطالعه اثر پوشش‌های حاوی نانوسیلیکات بر انبارمانی انار رقم ملس ساوه

عاطفه بکران[a]، اسماعیل سیفی[b*]، فریال وارسته[c]

[a] *دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران*
[b] *دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران*
[c] *استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۵/۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۸/۷

چکیده

مقدمه: با توجه به ارزش تغذیه‌ای و دارویی و افزایش روزافزون تولید، افزایش عمر انباری میوه انار اهمیت زیادی دارد. با درک چگونگی تاثیر پوشش‌ها بر انبارداری میوه انار، ارائه این محصول با کیفیت بالا در بازارهای محلی و بین‌المللی امکان‌پذیر می‌گردد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، تأثیر پوشش‌های پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات بر عمر انباری میوه انار رقم ملس ساوه به صورت فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی مورد مطالعه قرار گرفت. میوه‌های تیمار شده به مدت دو و چهار ماه در انبار معمولی نگهداری شدند. سپس، برخی از شاخص‌های کیفی و کمی نمونه‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند که پوشش‌های پلی‌اتیلن نانو و پلی‌پروپیلن نانو به طور معنی‌داری موجب حفظ بیش‌ترین رطوبت پوست (به ترتیب ۷۵/۷۲ و ۷۳/۱۴٪) در مقایسه با شاهد (۲۶/۶۴٪) در پایان دوره انبارداری شدند. این پوشش‌ها همچنین به طور معنی‌داری باعث حفظ بیش‌ترین رطوبت آریل (۷۶/۸۸٪) در مقایسه با شاهد (۷۱/۰۹٪) گردیدند. بعد از انبارداری، پوشش پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات باعث حفظ بیش‌ترین محتوی فنل (۸۸۳/۵۴ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه)، فلاونویید (۴۸۷/۷۱ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) و آنتوسیانین کل (۱۱/۶۹ میلی‌گرم سیانیدین ۳-گلوکوزاید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) نسبت به شاهد (به ترتیب ۶۴۹/۷۶ و ۴۳۷/۵۶ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه و ۷/۹ میلی‌گرم سیانیدین ۳-گلوکوزاید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) شد، ولی پوشش‌های معمولی اثر کم‌تری داشتند. پوشش‌های حاوی نانوسیلیکات همچنین موجب کند شدن تغییرات ویتامین ث شدند، ولی بر pH و هدایت الکتریکی اثر معنی‌داری نداشتند.

نتیجه گیری: استفاده از پوشش پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات جهت کاهش تغییرات کیفی انار در طول دوره انبارداری توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *انار، انبارمانی، بسته‌بندی، پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، نانوسیلیکات رس*

[*] نویسنده مسئول مکاتبات email: esmaeilseifi@yahoo.com

مقدمه

انار با نام علمی *Punica granatum* L. از میوه‌های نیمه‌گرمسیری و نافرازگرا محسوب می‌شود و کشت آن در ایران و خاورمیانه از سابقه طولانی برخوردار است. ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان انار در جهان به شمار می‌آید (محسنی، ۱۳۸۹). با توجه به ارزش تغذیه‌ای و دارویی، سطح زیر کشت بالا و افزایش روزافزون تولید، افزایش عمر انباری میوه انار از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. نگهداری انار در دمای بالا باعث کاهش وزن، چروکیدگی، شدت تنفس بالا، کاهش رطوبت پوست و پوسیدگی حاصل از فعالیت پاتوژن‌های قارچی می‌شود (میردهقان و راحمی، ۱۳۸۸)؛ در مقابل، به‌دلیل نیمه‌گرمسیری بودن و حساسیت به سرما، دماهای پایین باعث سرمازدگی میوه‌ها می‌شود (Elyatem and Kader, 1984).

فناوری نانوپلیمر استفاده از مواد پلیمری است که با ذرات کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر تولید شده باشند (Utracki, 2004). توسعه روش‌های مناسب بسته‌بندی میوه و سبزی‌ها از جمله کاربردهای علم نانو در کشاورزی می‌باشند، که در نتیجه آن ماندگاری محصولات کشاورزی افزایش می‌یابد. پلاستیک‌ها در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی استفاده زیادی دارند. با این وجود، کاربرد آن‌ها به دلیل ممانعت ناقص از نظر عبور اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، آب و ترکیبات معطر محدودیت‌هایی نیز به همراه دارد. در بسته‌بندی‌های نانوپلیمری به دلیل وجود نانوذرات، بسیاری از خواص از جمله حفظ استحکام و سفتی، ممانعت کامل‌تر از تبادل اکسیژن و رطوبت و نیز مقاومت در برابر ورود میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌شود (Silvestre *et al.*, 2011).

طبق نتایج حاصل از مطالعات پیشین، بسته‌های حاوی نانونقره و سیلیکات رس باعث حفظ خواص کمی و کیفی میوه گیلاس شد (Zandi *et al.*, 2013). همچنین، تأثیر بسته‌های نانوکامپوزیت بر خواص کیفی و ماندگاری میوه آلو بررسی و مشخص شد که بسته‌های نانوکامپوزیت در مقایسه با ظروف پلی‌اتیلنی معمولی، به طور معنی‌داری موجب حفظ خواص کیفی میوه در دوره انبارداری شد و طول عمر پس از برداشت میوه آلو را افزایش داد (فهیمی‌نیا و ناصری، ۱۳۹۴). به دنبال مطالعات قبلی، یک نوع کیسه پلاستیکی غنی از نانوذرات سیلیکات معرفی شد که از محصولات موجود در بازار سبک‌تر و محکم‌تر بوده و مقاومت بیش‌تری در برابر گرما از خود نشان می‌دهد (Robinson and Salejova, 2010). این پلاستیک‌ها قادرند از خشک شدن مواد تا حدی جلوگیری کرده و از آن‌ها در مقابل رطوبت و اکسیژن محافظت بیش‌تری بنمایند. مطالعات در مورد بسته بندی کیوی با پوشش‌های نانوکمپوزیت نشان داد که این پوشش‌ها باعث حفظ خواص و کاهش پوسیدگی میوه در طول انبارداری (Hu *et al.* *2011*)، و کنترل آلودگی قارچی آن طی دوره انبارداری (Hur *et al.* *2005*) شدند. همچنین گزارش شده است که کیسه‌های پلاستیکی غنی از نانوذرات سیلیکات قادرند از خشک شدن مواد جلوگیری کرده و آن‌ها را در مقابل رطوبت و اکسیژن محافظت نمایند (Douglas *et al.* *2010*). کنترل آلودگی قارچی طی دوره انبارداری در توت‌فرنگی (Yang *et al.*, 2010) و گوجه فرنگی (Maneerat *et al.*, 2003) نیز مشاهده شده است که مربوط به اثر فتوکاتالیکی نانو دی‌اکسید تیتانیوم می‌باشد. تاثیر بسته‌بندی نانوسیلیکات رس بر میوه انار چندان بررسی نشده است. از این رو، هدف از این مطالعه بررسی تاثیر بسته‌های پلی‌اتیلنی و پروپیلنی حاوی نانوسیلیکات رس بر عمر انباری و کیفیت پس از برداشت میوه انار رقم ملس ساوه بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول تیمارهای آزمایش شامل شاهد (میوه‌های بدون پوشش)، پلی‌پروپیلن معمولی (ضخامت ۰/۰۲ میلی‌متر)، پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات رس (ضخامت ۰/۰۲ میلی‌متر)؛ پلی‌اتیلن معمولی (ضخامت ۰/۰۳ میلی‌متر) و پلی‌اتیلن حاوی نانوسیلیکات رس (ضخامت ۰/۰۳ میلی‌متر) بودند. پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن حاوی نانوسیلیکات از شرکت نانو بسپار آیتک (تهران، ایران) تهیه شدند. فاکتور دوم مدت انبارداری به مدت صفر (شاهد قبل از انبار)، دو و چهار ماه بود.

میوه‌های مورد آزمایش از رقم ملس ساوه از یک باغ تجاری انار واقع در استان گلستان تهیه شدند. تمام درختان مورد برداشت همسن (۷ ساله) و از نظر فیزیولوژیکی سالم بودند و باغ مورد آزمایش از نظر آبیاری، کوددهی، هرس و مبارزه با علف‌های هرز تحت مدیریت مناسب و پایدار قرار داشت. میوه‌های انار به صورت تصادفی از جهات مختلف درختان در مرحله بلوغ تجاری برداشت و در جعبه‌های مخصوص به آزمایشگاه منتقل و سپس میوه‌های سالم و یکنواخت (از نظر اندازه، رنگ و سفتی بافت) برای آزمایش انتخاب شدند. میوه‌ها با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت پنج دقیقه ضدعفونی و پس از آبکشی با آب جوشیده سرد در دمای اتاق خشک و سپس بسته‌بندی و تا زمان اندازه‌گیری ویژگی‌ها در جعبه‌های پلاستیکی در انبار معمولی (انبار بدون کنترل دما و رطوبت با میانگین دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۷۵٪ و جابجایی هوای ناچیز) نگهداری شدند. در بسیاری از مناطق کشور، میوه‌های انار در انبارهایی واقع در باغ ذخیره می‌شوند و در این آزمایش بهبود قابلیت نگهداری میوه‌های انار در چنین اماکنی مد نظر بوده است.

وزن نمونه‌ها با استفاده از ترازو (Precision Balance, model GF-300, A&D Weighing, USA) با دقت ۰/۰۱± گرم اندازه‌گیری شد. برای محاسبه درصد کاهش وزن، ابتدا میوه‌های هر تیمار توزین و علامت‌گذاری شدند، سپس در پایان هر مرحله انبارداری بار دیگر میوه‌ها توزین شدند و درصد کاهش وزن با استفاده از رابطه (۱) تعیین شد (طلایی و همکاران، ۱۳۸۳).

رابطه (۱) $$\text{درصد کاهش وزن میوه} = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

ضخامت پوست و غشا میوه‌ها به وسیله کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱± میلی‌متر بر اساس توصیف‌نامه UPOV (UPOV, 2012) اندازه‌گیری شد. درصد آریل نسبت به وزن میوه محاسبه گردید. یکصد آریل رسیده و بدون آسیب توزین و درون آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و از اختلاف بین وزن اولیه و ثانویه درصد رطوبت آریل محاسبه گردید (AOAC, 1995). همچنین اجزای میوه یعنی پوست، بافت اسفنجی و دیواره‌های غشایی حجره‌ها جداسازی و توزین شدند و درصد هر یک نسبت به وزن میوه محاسبه گردید. به منظور تعیین رطوبت پوست، پوست میوه توسط ترازو توزین و در دمای هوای اتاق خشک شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون ۷۰ درجه قرار گرفت. از اختلاف بین وزن اولیه و ثانویه، میزان درصد رطوبت پوست محاسبه شد (AOAC, 1995). درصد آلودگی (اعم از قارچی و پوسیدگی) با مشاهده چشمی و شمارش میوه‌های آلوده محاسبه گردید (Zhu and Zhu, 2006).

میزان pH آب میوه صاف‌شده با استفاده از دستگاه pH متر (pH meter, model pH 110 meter, EUTECH/OAKTON Instruments, USA) و میزان هدایت الکتریکی آن‌ها توسط دستگاه هدایت‌سنج (Conductivity meter, model Cond 315i, WTW laboratory & Field instrument, Germany) اندازه‌گیری گردید. میزان مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه انکسارسنج دیجیتال (Digital Abbe refractometer, model Quartz, Ceti, Belgium) و میزان اسیدیته از طریق تیتراسیون با سدیم هیدروکسید (۰/۰۱ نرمال) تعیین شد (Selcuk and Erkan, 2014). نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون به‌عنوان شاخص طعم محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری آنتوسیانین کل، از روش pH افتراقی (Giusti and Wrolestad, 2001) استفاده شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی با روش Sun و Ho (2005) و محتوای ترکیب فنل کل آب میوه انار از معرف فولین سیکالتیو با استفاده از اسپکتروفتومتر (Spectrofotometer, model SQ 2800 UV/VIS, UNICO, USA) اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری فلاونویید کل از روش Fawole و Opara (2013a) و برای اندازه‌گیری ویتامین ث از روش Kashyap و Gautam (2012) استفاده شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) توسط نرم‌افزار آماری SAS ver. 9.1 انجام گردید.

یافته‌ها

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی تحت بررسی نشان داد که اثر متقابل تیمار پوششی و مدت انبارداری بر درصد آلودگی، درصد کاهش وزن، درصد رطوبت پوست و درصد پوست، درصد بافت اسفنجی و درصد آریل و همچنین ضخامت پوست در سطح ۰/۱ درصد و بر درصد

غشا و ضخامت غشا در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، لذا در این ویژگی‌ها اثرات متقابل ارائه شده است. در مورد درصد رطوبت آریل اثر متقابل معنی‌دار نشد، در مقابل اثر مستقل تیمار پوششی در سطح ۵ درصد و اثر مستقل مدت انبارداری در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار گردید، لذا در این صفت اثرات مستقل ارائه شده است.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین آلودگی میوه‌ها مربوط به شاهد بعد از چهار ماه انبارداری (۶۶/۶۶٪) و بعد از آن پلی‌پروپیلن معمولی بعد از چهار ماه انبارداری و شاهد بعد از دو ماه انبارداری بود. در مقابل، تیمارهای پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات، پلی‌اتیلن معمولی و پلی‌اتیلن حاوی نانوسیلیکات همگی بعد از دو و چهار ماه انبارداری (و البته شاهد قبل از انبار) آلودگی نداشتند و یا آلودگی کمی داشتند (جدول ۱). نتایج به دست آمده از این پژوهش همچنین نشان داد که بیش‌ترین کاهش وزن میوه‌ها مربوط به میوه‌های شاهد بعد از چهار ماه انبارداری (۴۹/۴۴٪) بود؛ در حالی که، تیمارهای پوشش پلی‌اتیلن حاوی نانوسیلیکات، پلی‌اتیلن معمولی و پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات پس از دو و چهار ماه انبارداری کم‌ترین درصد کاهش وزن را نشان دادند و به عبارت دیگر باعث حفظ وزن اولیه میوه شدند (جدول ۱).

تیمار شاهد قبل از انبار و تیمارهای پوششی نانوکامپوزیت و پوشش پلی‌اتیلن معمولی دو و چهار ماه بعد از انبارداری بیش‌ترین درصد رطوبت پوست را نشان دادند و کم‌ترین درصد رطوبت پوست مربوط به تیمار شاهد پس از چهار ماه انبارداری (۲۶/۶۴) بود. همچنین بررسی ضخامت پوست میوه در پایان انبارداری نشان داد که تیمارهای پوششی نانوکامپوزیت پس از دو و چهار ماه انبارداری و تیمار پلی‌اتیلن معمولی پس از چهار ماه انبارداری اختلاف معنی‌داری با میوه‌های شاهد قبل از انبار (۲/۳۱ میلی‌متر) نداشته و با حفاظت از رطوبت میوه موجب حفظ ضخامت پوست تا پایان دوره انبارداری شده‌اند و کم‌ترین ضخامت پوست مربوط به تیمارهای شاهد و پلی‌پروپیلن معمولی بعد از چهار ماه انبارداری بود. بررسی ضخامت غشاهای درون میوه نشان داد که بیش‌ترین ضخامت غشا در تیمار شاهد قبل از انبار (۰/۳۵ میلی متر) و سپس تیمارهای پوششی نانوکامپوزیت و تیمار پلی‌اتیلن معمولی پس از دو و چهار ماه انبارداری بود و کم‌ترین ضخامت غشا مربوط به میوه‌های شاهد بعد از دو و چهار ماه انبارداری و تیمار پوششی پلی‌پروپیلن معمولی بعد از چهار ماه انبارداری بود (جدول ۱).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تیمارهای نانوکامپوزیت و تیمار پلی‌اتیلن معمولی بیش‌ترین درصد بافت اسفنجی را بعد از انبارداری حفظ کردند. کم‌ترین درصد پوست مربوط به تیمار شاهد و پلی‌پروپیلن معمولی دو و چهار ماه بعد از انبارداری و کم‌ترین درصد بافت

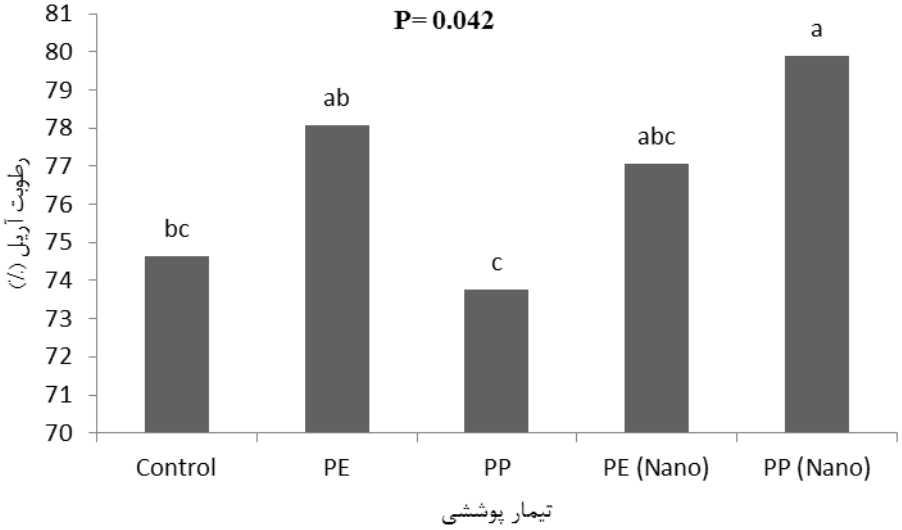
جدول ۱- اثر متقابل پوشش و مدت انبارداری بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها (میوه انار رقم ملس ساوه)

تیمار	مدت انبارداری (ماه)	پوسیدگی میوه (٪)	کاهش وزن (٪)	رطوبت پوست (٪)	ضخامت پوست (میلی‌متر)	ضخامت غشا (میلی‌متر)	پوست (٪)	بافت اسفنجی (٪)	غشا (٪)	آریل (٪)
		P<۰/۰۰۰۱	P<۰/۰۰۰۱	P< ۰/۰۰۱	P<۰/۰۰۰۱	P=۰/۰۰۲	P=۰/۰۰۰۴	P=۰/۰۰۰۱	P= ۰/۰۰۵	P<۰/۰۰۱
شاهد قبل از انبار	۰	۰/۰۰^{e}	۰/۰۰^{e}	۷۱/۷۷^{a}	۲/۳۱^{a}	۰/۳۵^{a}	۲۴/۲۵^{b}	۹/۲۲^{ab}	۱/۳۳^{cde}	۶۴/۶۷^{d}
شاهد	۲	۳۳/۳۳^{bc}	۳۸/۵۰^{b}	۳۱/۴۵^{cd}	۱/۱۵^{d}	۰/۱۰^{de}	۱۴/۵۵^{c}	۵/۰۱^{d}	۱/۰۸^{ef}	۷۸/۳۳^{ab}
شاهد	۴	۶۶/۶۶^{a}	۴۹/۴۴^{a}	۲۶/۶۴^{cd}	۰/۸۳^{e}	۰/۰۶^{e}	۱۲/۲۲^{c}	۳/۰۴^{e}	۰/۹۲^{f}	۸۳/۲۴^{a}
پلی‌اتیلن	۲	۰/۰۰^{e}	۱/۵۷^{e}	۷۳/۴۴^{a}	۲/۱۳^{bc}	۰/۲۳^{b}	۲۷/۳۰^{ab}	۸/۵۳^{abc}	۱/۳۸^{cde}	۵۹/۲۹^{de}
پلی‌اتیلن	۴	۱۱/۱۱^{de}	۰/۹۶^{e}	۷۴/۷۰^{a}	۲/۲۵^{abc}	۰/۱۹^{bc}	۲۷/۲۸^{ab}	۹/۱۳^{ab}	۱/۶۶^{bc}	۶۰/۱۷^{de}
پلی‌پروپیلن	۲	۲۲/۲۲^{cd}	۱۷/۵۱^{d}	۴۵/۱۴^{b}	۱/۲۸^{cd}	۰/۱۵^{cd}	۱۶/۴۵^{c}	۷/۹۶^{bc}	۱/۲۰^{def}	۷۲/۶۹^{c}
پلی‌پروپیلن	۴	۴۴/۴۴^{b}	۲۶/۶۹^{c}	۳۴/۶۱^{c}	۰/۹۲^{e}	۰/۰۷^{e}	۱۴/۸۳^{c}	۷/۱۶^{c}	۰/۹۲^{f}	۷۶/۱۷^{bc}
پلی‌اتیلن نانو	۲	۱۱/۱۱^{de}	۰/۷۶^{e}	۷۱/۴۵^{a}	۲/۲۱^{abc}	۰/۲۴^{b}	۲۶/۸۴^{ab}	۹/۷۸^{a}	۱/۵۵^{cd}	۶۱/۱۸^{de}
پلی‌اتیلن نانو	۴	۰/۰۰^{e}	۰/۸۸^{e}	۷۵/۷۲^{a}	۲/۲۵^{abc}	۰/۲۱^{bc}	۳۰/۴۴^{a}	۸/۸۵^{ab}	۱/۹۹^{ab}	۵۸/۵۲^{e}
پلی‌پروپیلن نانو	۲	۰/۰۰^{e}	۱/۳۹^{e}	۷۲/۹۱^{a}	۲/۲۵^{abc}	۰/۲۴^{b}	۲۴/۵۸^{b}	۸/۹۳^{ab}	۱/۴۷^{cd}	۶۲/۵۷^{de}
پلی‌پروپیلن نانو	۴	۰/۰۰^{e}	۲/۸۵^{e}	۷۳/۱۴^{a}	۲/۲۵^{abc}	۰/۲۳^{b}	۲۷/۹۲^{ab}	۹/۷۵^{a}	۲/۰۵^{a}	۵۸/۳۳^{e}

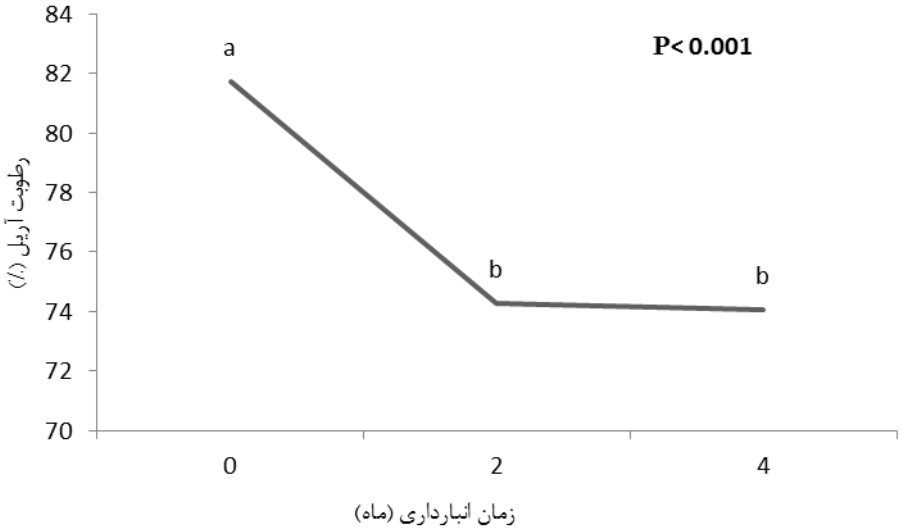
حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

اسفنجی مربوط به شاهد پس از چهار ماه انبارداری بود. تیمارهای پوششی نانوکامپوزیت بیش‌ترین درصد غشا را پس از چهار ماه انبارداری نشان دادند و کم‌ترین درصد غشا مربوط به تیمار شاهد و پلی‌پروپیلن معمولی پس از دو و چهار ماه انبارداری بود. در مقابل، بیش‌ترین درصد آریل مربوط به شاهد بعد از دو و چهار ماه انبارداری بود. تیمارهای پوششی پلی‌اتیلن حاوی نانوسیلیکات و پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات بعد از چهار ماه انبارداری دارای کم‌ترین درصد آریل (به ترتیب ۵۸/۵۲ و ۵۸/۳۳) بودند که البته با برخی از تیمارهای دیگر اختلاف آماری نشان ندادند (جدول ۱).

نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد که تیمارهای پوششی نانوکامپوزیت و پلی‌اتیلن معمولی بیش‌ترین درصد رطوبت آریل را در پایان دوره انبارداری داشتند و کم‌ترین درصد رطوبت آریل در شاهد و تیمار پوششی پلی‌پروپیلن معمولی پس از انبارداری مشاهده شد (نمودار ۱). همچنین با گذشت مدت انبارداری، درصد رطوبت آریل نسبت به میوه‌های شاهد قبل از انبار کاهش پیدا کرد، به طوری که سرعت کاهش تا دو ماه اول انبارداری زیاد و پس از آن کم شد (نمودار ۲).



نمودار ۱- اثر پوشش بر درصد رطوبت آریل نمونه‌ها (انار رقم ملس ساوه). PE: پلی‌اتیلن؛ PP: پلی‌پروپیلن



نمودار ۲- اثر مدت انبارداری بر درصد رطوبت آریل نمونه‌ها (انار رقم ملس ساوه)

تجزیه واریانس همچنین نشان داد که اثر متقابل تیمار پوششی و مدت انبارداری بر مواد جامد محلول و شاخص طعم در سطح ۰/۱ درصد، بر میزان آنتوسیانین در سطح ۱ درصد و بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ویتامین ث در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. لذا در این ویژگی‌ها اثرات متقابل ارائه شده است. اثر متقابل تیمار پوششی و مدت انبارداری بر پی‌اچ، هدایت الکتریکی، اسیدیته قابل تیتر و محتوای فلاونویید و فنل کل معنی‌دار نبود. در مقابل اثر مستقل مدت انبارداری بر آن‌ها در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین، اثر مستقل تیمار پوششی بر محتوای فنل کل در سطح ۱ درصد و بر فلاونویید کل و اسیدیته قابل تیتر در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد، ولی بر pH و هدایت الکتریکی معنی‌دار نبود، لذا در این ویژگی‌ها اثرات مستقل ارائه شده است.

مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول در تیمار شاهد دو و چهار ماه بعد از انبارداری (به ترتیب ۱۸/۱۳ و ۱۷/۸۳ درجه بریکس) وجود داشت (جدول ۲). به طور کلی در سایر تیمارها مواد جامد محلول تا ماه دوم انبارداری اختلاف معنی‌داری با شاهد قبل از انبار و با یکدیگر نداشتند، ولی با گذشت زمان و چهار ماه بعد از انبارداری اندکی کاهش پیدا کرد. کم‌ترین مقدار آن مربوط به تیمارهای پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن معمولی بعد از چهار ماه انبارداری (به ترتیب ۱۴/۱۰ و ۱۴ درجه بریکس) بود. شاخص طعم از نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته محاسبه شده و به تغییرات این دو صفت وابسته است. تیمار پوششی پلی‌اتیلن معمولی بعد از چهار ماه انبارداری و پوشش پلی‌اتیلن حاوی نانوسیلیکات بعد از چهار ماه انبارداری بیش‌ترین مقدار شاخص طعم (به ترتیب ۹۱/۷۵ و ۸۸/۰۱) را داشتند و کم‌ترین مقدار مربوط به شاهد قبل از انبار بود که البته با تیمارهای پوششی بعد از دو ماه انبارداری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

نتایج نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی با گذشت زمان در همه تیمارها کاهش یافت (جدول ۲). بیش‌ترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های شاهد قبل از انبار (۹۲/۶۰٪) و سپس در تیمار پوششی پلی‌اتیلن معمولی بعد از دو ماه انبارداری (۸۷/۵۹٪) و کم‌ترین آن در تیمار شاهد بعد از چهار ماه انبارداری (۷۹/۰۰٪) و تیمار پلی‌پروپیلن معمولی بعد از چهار ماه انبارداری (۷۷/۳۳٪) مشاهده شد. تیمارهای پوششی نانوکامپوزیت و تیمار پوششی پلی‌اتیلن معمولی پس از چهار ماه انبارداری فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیش‌تری را نسبت به شاهد قبل از انبار حفظ کردند. طبق نتایج حاصل از این پژوهش، در همه تیمارها روند کاهشی در میزان ویتامین ث مشاهده شد (جدول ۲). بیش‌ترین مقدار ویتامین ث در میوه‌های شاهد قبل از انبار (۶/۳۷

جدول ۲- اثر متقابل پوشش و مدت انبارداری بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌ها (میوه انار رقم ملس ساوه)

تیمار	مدت انبارداری (ماه)	مواد جامد محلول (درجه بریکس)	شاخص طعم	فعالیت آنتی‌اکسیدانی (٪)	ویتامین ث (میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌میوه)	آنتوسیانین کل (میلی‌گرم C_3gE بر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌میوه)
		P<۰/۰۰۱	P<۰/۰۰۱	P=۰/۰۱۵	P=۰/۰۲۴	P=۰/۰۰۱
شاهد قبل از انبار	۰	۱۶/۲۰^{c}	۳۶/۹۴^{f}	۹۲/۶۰^{a}	۶/۳۷^{a}	۲۲/۶۱^{a}
شاهد	۲	۱۷/۸۳^{ab}	۵۰/۰۴^{cde}	۸۱/۳۸^{e}	۲/۰۲^{de}	۱۲/۱۹^{de}
شاهد	۴	۱۸/۱۳^{a}	۶۰/۸۵^{bc}	۷۹/۰۰^{f}	۱/۱۷^{f}	۷/۹۰^{g}
پلی‌اتیلن	۲	۱۶/۳۶^{c}	۴۲/۳۲^{ef}	۸۷/۵۹^{b}	۲/۳۴^{cd}	۱۵/۰۰^{c}
پلی‌اتیلن	۴	۱۴/۰۰^{e}	۹۱/۷۵^{a}	۸۱/۶۶^{de}	۱/۷۶^{def}	۹/۳۷^{fg}
پلی پروپیلن	۲	۱۷/۰۰^{bc}	۴۵/۰۴^{efd}	۸۳/۷۴^{cde}	۱/۹۹^{de}	۱۰/۷۵^{ef}
پلی پروپیلن	۴	۱۴/۱۰^{de}	۶۴/۷۳^{b}	۷۷/۳۳^{f}	۱/۵۲^{ef}	۹/۳۸^{fg}
پلی‌اتیلن نانو	۲	۱۶/۴۰^{bc}	۴۳/۵۶^{ef}	۸۴/۳۶^{c}	۳/۲۲^{b}	۱۳/۵۴^{cd}
پلی‌اتیلن نانو	۴	۱۴/۹۷^{de}	۸۸/۰۱^{a}	۸۱/۸۸^{de}	۲/۳۷^{cd}	۱۰/۶۶^{ef}
پلی پروپیلن‌نانو	۲	۱۶/۸۷^{bc}	۳۹/۳۹^{f}	۸۳/۹۷^{cd}	۳/۵۶^{b}	۱۷/۰۶^{b}
پلی پروپیلن‌نانو	۴	۱۵/۱۰^{d}	۵۴/۵۴^{bcd}	۸۱/۶۹^{de}	۲/۹۸^{bc}	۱۱/۶۹^{de}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) و سپس تیمار پوششی پلی‌اتیلن حاوی نانوسیلیکات بعد از دو ماه انبارداری (۳/۲۲ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) و تیمار پوششی پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات بعد از دو ماه انبارداری (۳/۵۶ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) مشاهده شد. کم‌ترین مقدار ویتامین ث مربوط به تیمارهای شاهد، پلی‌اتیلن معمولی و پلی‌پروپیلن معمولی بعد از چهار ماه انبارداری بود. پس از چهار ماه انبارداری، بیش‌ترین مقدار ویتامین ث توسط تیمارهای پوششی نانوکامپوزیت حفظ شد. نتایج این پژوهش نشان داد که اثر متقابل تیمار پوششی و مدت انبارداری در سطح ۱ درصد بر میزان آنتوسیانین معنی‌دار بود. میزان آنتوسیانین در میوه‌های شاهد قبل از انبار در بیش‌ترین حد خود بود (۲۲/۶۱ میلی‌گرم سیانیدین ۳-گلوکوزاید بر ۱۰۰ میلی‌لیتر) بود. میزان آنتوسیانین آب میوه انار پس از دو ماه انبارداری در همه تیمارها تا حدی کاهش یافت و کم‌ترین مقدار آن پس از چهار ماه انبارداری در میوه‌های شاهد و پس از آن تیمارهای پوششی پلی‌اتیلن معمولی و پلی‌پروپیلن معمولی مشاهده شد. همچنین پس از چهار ماه انبارداری، تیمار پوششی پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات بیش‌ترین میزان آنتوسیانین را نشان داد (جدول ۲).

اثر تیمارهای پوششی بر تغییرات pH و هدایت الکتریکی معنی‌دار نبود (جدول ۳)، در مقابل اثر مستقل مدت انبارداری در سطح ۰/۱ درصد بر آن‌ها معنی‌دار گردید. pH تا دو ماه بعد از انبارداری ثابت بود و پس از آن تا ماه چهارم انبارداری کاهش یافت (جدول ۳). هدایت الکتریکی در دوره انبارداری روند کاهشی داشت و کم‌ترین مقدار آن مربوط به چهار ماه بعد از انبارداری بود. طبق نتایج، در بین تیمارهای پوششی، کم‌ترین میزان اسیدیته مربوط به شاهد، پلی‌اتیلن معمولی و پلی‌پروپیلن معمولی بود و بیش‌ترین مقدار اسیدیته در تیمار پوششی پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات (۰/۳۹ درصد) مشاهده شد، هر چند با تیمار پوششی پلی‌اتیلن حاوی نانوسیلیکات اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). میزان اسیدیته با گذشت زمان کاهش یافت، به طوری که کم‌ترین مقدار با ۰/۲۰ درصد بعد از چهار ماه انبارداری مشاهده شد و بیش‌ترین مقدار با ۰/۴۳ درصد مربوط به شاهد قبل از انبار بود.

اثر تیمارهای پوششی بر میزان فنل کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. تیمار پوششی پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات بیش‌ترین محتوی فنل کل (۸۸۳/۵۴ میلی‌گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) را نسبت به نمونه‌ی شاهد در پایان دوره انبارداری داشت، هر چند با پلی‌اتیلن معمولی اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳).

جدول ۳- اثر ساده پوشش و مدت انبارداری بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌ها (میوه انار رقم ملس ساوه)

تیمار	pH	هدایت الکتریکی (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	اسیدیته کل (٪ اسید سیتریک)	فنل کل (میلی‌گرم گالیک اسید بر ۱۰۰میلی لیتر آب میوه)	فلاونوئید کل (میلی‌گرم گالیک اسید بر ۱۰۰میلی لیتر آب میوه)
	P=۰/۵۹۱	P=۰/۴۷۹	P=۰/۰۳۰	P=۰/۰۰۲	P=۰/۰۱۱
شاهد	۳/۲۵	۴/۳۴	۰/۳۲^{b}	۶۴۹/۷۶^{bc}	۴۳۷/۵۶^{b}
پلی‌اتیلن	۳/۳۲	۴/۱۹	۰/ ۳۲^{b}	۷۷۵/۳۱^{ab}	۴۵۴/۴۱^{b}
پروپیلن	۳/۳۰	۴/۱۸	۰/۳۱^{b}	۶۹۲/۷۰^{bc}	۴۴۰/۵۱^{b}
پلی‌اتیلن نانو	۳/۱۳	۴/۱۶	۰/۳۵^{ab}	۶۴۱/۵۱^{c}	۴۵۱/۴۵^{b}
پروپیلن نانو	۳/۳۷	۴/۱۷	۰/۳۹^{a}	۸۸۳/۵۴^{a}	۴۸۷/۷۱^{a}
مدت انبارداری	P<۰/۰۰۱	P<۰/۰۰۱	P<۰/۰۰۱	P<۰/۰۰۱	P<۰/۰۰۱
قبل از انبارداری	۳/۴۴^{a}	۴/۵۰^{a}	۰/۴۲^{a}	۱۲۲۷/۵۴^{a}	۱۱۶۸/۰۹^{a}
۲ ماه	۳/۴۴^{a}	۴/۲۰^{b}	۰/۳۸^{b}	۶۲۱/۷۰^{b}	۶۱/۹۷^{c}
۴ ماه	۲/۹۴^{b}	۳/۹۲^{c}	۰/۲۰^{c}	۳۳۶/۴۴^{c}	۱۳۲/۹۳^{b}

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

همچنین میزان فنل کل با گذشت زمان کاهش یافت و بعد از چهار ماه انبارداری به کم‌ترین حد خود (۳۳۶/۴۴ میلی‌گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) رسید. اثر مستقل تیمارهای پوششی بر میزان فلاونویید کل در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان فلاونوئید کل مربوط به تیمار پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات (۴۸۷/۷۱ میلی‌گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) بود. سایر تیمارها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین با گذشت زمان میزان فلاونویید کل به تدریج کاهش یافت، به طوریکه کم‌ترین میزان فلاونوئید کل مربوط به دو ماه بعد از انبارداری (۶۱/۹۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه) بود.

بحث

از جمله کاربردهای علم نانو در کشاورزی می‌توان به توسعه روش‌های مناسب بسته‌بندی میوه‌ها و سبزی‌ها جهت افزایش ماندگاری اشاره نمود. در این مطالعه، بیش-ترین آلودگی میوه‌ها مربوط به نمونه شاهد بود. در مقابل، تیمارهای پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات، پلی‌اتیلن معمولی و پلی‌اتیلن حاوی نانوسیلیکات همگی بعد از دو و چهار ماه انبارداری آلودگی نداشتند و یا آلودگی کمی داشتند (۰ تا ۱۱ درصد). در پژوهشی مشابه، استفاده از بسته‌های پلیمری نانوذرات در مقایسه با ظروف معمولی، در ۲۴ ساعت اولیه، منجر به کاهش رشد باکتری‌ها شد (Silvestre *et al*., 2011). همچنین مشخص شده است که استفاده از بسته‌بندی‌های نانوکامپوزیت تکنیک مفیدی برای حفظ کیفیت و کاهش پوسیدگی میوه کیوی در دوره انبارداری می‌باشد (Qiuhui Hu *et al*., 2011). مطالعات پیشین همچنین نشان داد که استفاده از پوشش‌های حاوی نانوذرات نقره و سیلیکات باعث کاهش میزان پوسیدگی میوه توت‌فرنگی شده است (Zandi *et al*., 2013) و میزان پوسیدگی میوه آلو در داخل ظروف نانوکامپوزیت نسبت به ظروف پلی‌اتیلنی معمولی کم‌تر بوده است (فهیمی‌نیا و ناصری، ۱۳۹۴). میوه‌های گیلاس داخل ظروف نانوسیلیکات رس نیز نسبت به پلی‌اتیلن معمولی پوسیدگی کم‌تری نشان دادند (Zandi *et al*., 2013). نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که بیش‌ترین کاهش وزن میوه‌ها مربوط به میوه‌های شاهد بعد از چهار ماه انبارداری بود؛ در حالی که، تیمارهای پوشش پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات و پلی‌اتیلن معمولی کم‌ترین درصد کاهش وزن را نشان دادند. گزارش شده است که میوه‌های کیوی فروت (Qiuhui Hu *et al*., 2011)، توت‌فرنگی (Zandi *et al*., 2013) و آلو (فهیمی‌نیا و ناصری، ۱۳۹۴) بسته‌بندی شده در پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات نسبت به بسته‌های پلیمری معمولی کاهش وزن کم‌تری در دوره انبارداری نشان دادند (۱۸/۶ تا ۵۷٪ کاهش وزن کم‌تر).

طبق نتایج حاصل، تیمارهای پوششی نانوکامپوزیت و پوشش پلی‌اتیلن معمولی باعث حفظ بیش‌ترین درصد رطوبت پوست، بیش‌ترین ضخامت پوست ، بیش‌ترین ضخامت غشا، بیش‌ترین درصد بافت اسفنجی و بیش‌ترین درصد غشا نسبت به شاهد قبل از انبار بودند. در مقابل، بیش‌ترین درصد آریل مربوط به شاهد بعد از دو و چهار ماه انبارداری بود. نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد که تیمارهای پوششی نانوکامپوزیت و پلی‌اتیلن معمولی بیش‌ترین درصد رطوبت آریل را در پایان دوره انبارداری داشتند. کاهش رطوبت پوستی موجب کاهش درصد وزنی بخش پوست، غشاها و بافت اسفنجی و در مقابل با کاهش ناچیز در وزن آریل موجب افزایش درصد وزن آریل نسبت به وزن میوه در پایان دوره انبارداری می‌شود. این افزایش درصد می‌تواند به دلیل کاهش درصد وزن کل پوست (که مجموع درصد بافت اسفنجی، درصد غشا و درصد پوست است) نسبت به وزن میوه ایجاد شده باشد. این پوشش‌ها نسبت به مولکول‌های بخارآب نفوذناپذیر بوده و در نتیجه سبب ایجاد میکروکلیمای اشباع از رطوبت در اطراف میوه می‌گردد. شرایط مذکور سبب کاهش اختلاف فشار بخار آب بین محیط اطراف و میوه می‌شود، در نتیجه موجب به حداقل رسیدن تلفات رطوبت و وزن در میوه‌های انار شده است (رنجبر و همکاران، ۱۳۸۶). از سوی دیگر، به علت اتمسفر تغییریافته درون پوشش‌های پلاستیکی تنفس نیز به شدت کاهش یافته و این نیز می‌تواند به طور غیر مستقیم از کاهش رطوبت بیش‌تر میوه‌ها جلوگیری نمایند (olive-Fortuny *et al*., 2001; Altunkaya and Gokmen, 2008).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیش‌ترین مواد جامد محلول در تیمار شاهد وجود داشت. به طور کلی در سایر تیمارها مواد جامد محلول با گذشت زمان و چهار ماه بعد از انبارداری اندکی کاهش پیدا کرد. در این تحقیق، افزایش مواد جامد محلول در میوه‌های شاهد به دلیل شکستن پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی و تبدیل آن‌ها به قندهای محلول صورت می‌گیرد و هر عاملی که از شکستن دیواره‌های سلولی جلوگیری کند و یا آن را کاهش دهد باعث جلوگیری از افزایش زیاد مواد جامد محلول خواهد شد. یکی دیگر از دلایل افزایش میزان قند در طول انبارداری می‌تواند در اثر کاهش آب میوه و تغلیظ محتویات آب میوه در طول انبارداری باشد (Sayyari *et al*., 2009). نتایج این تحقیق نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی با گذشت زمان در همه تیمارها کاهش یافت. تیمارهای پوششی نانوکامپوزیت و تیمار پوششی پلی‌اتیلن معمولی پس از چهار ماه انبارداری فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیش‌تری را نسبت به سایر تیمارها حفظ کردند. تیمارهایی که باعث کاهش تنفس و تولید اتیلن و در نتیجه باعث کاهش سرعت پیری می‌شوند همچنین موجب کاهش سرعت تولید رادیکال‌های آزاد و در نتیجه کاهش مصرف آنتی‌اکسیدان‌ها می‌گردند (Ahmed *et al*., 2009). سایر مطالعات نشان داده‌اند که در میوه‌های بدون پوشش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز افزایش می‌یابد، در نتیجه فعالیت این آنزیم، اکسیداسیون ترکیبات فنولیک صورت می‌پذیرد و محتوای فنولیک میوه‌های انار به شدت کاهش می‌یابد. گزارش‌های فراوانی در مورد همبستگی ترکیبات فنولیک و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی انار وجود دارد (Fawole and Opara, 2013b؛ Spinardi, 2005). طبق بررسی‌های فهیمی‌نیا و ناصری (۱۳۹۴)، کلیه ظروف نانوکامپوزیت باعث حفظ فعالیت آنتی‌اکسیدان کل در میوه آلو در دوره انباری ۲۲ و ۴۵ روزه گردیدند.

طبق نتایج حاصل از این پژوهش، در همه تیمارها روند کاهشی در میزان ویتامین ث مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار ویتامین ث بعد از آغاز انبارداری در تیمارهای پوششی پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات بعد از دو ماه انبارداری مشاهده شد. گزارش شده است که استفاده از بسته‌بندی حاوی نانونقره و نانوسیلیکات باعث حفظ بهتر ویتامین ث طی دوره انبارداری میوه آلو شد (فهیمی‌نیا و ناصری، ۱۳۹۴). بسته‌بندی با ظروف نانوکامپوزیت در میوه کیوی نیز به حفظ ویتامین ث منجر شده است (Qiuhui Hu *et al*., 2011). طبق بررسی Yang و همکاران (2010)، استفاده از پوشش‌های نانوکامپوزیت باعث حفظ کیفیت میوه توت‌فرنگی شد، زیرا در میوه‌های بسته‌بندی شده در پوشش‌های نانوکامپوزیت به دلیل مهار فعالیت پلی‌فنل‌اکسیداز و حفظ ویتامین ث، غشا سلول‌ها کم‌تر آسیب دیده بود. با بررسی اثرات پوشش‌های نانوذرات نقره و سیلیکات بر کیفیت پس از برداشت توت‌فرنگی طی دوره انبارداری، نتیجه‌گیری شد که استفاده از پوشش‌های نانوکامپوزیت باعث افزایش میزان ویتامین ث میوه گردید (Zandi *et al*., 2013). ویتامین ث به شدت تحت تأثیر آبی که میوه از دست می‌دهد قرار دارد. ویتامین ث، به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی، نقش مهمی در سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن دارد (Mittler, 2002) . کاهش میزان ویتامین ث می‌تواند با خنثی کردن رادیکال‌های آزاد در ارتباط باشد (Smimoff, 1995).

نتایج این پژوهش نشان داد که میزان آنتوسیانین آب میوه انار پس از دو ماه انبارداری در همه تیمارها کاهش یافت پس از چهار ماه انبارداری، تیمار پوششی پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات بیش‌ترین میزان آنتوسیانین را نشان داد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که محتوای آنتوسیانین بسته به شرایط نگهداری و تیمارهای پس از برداشت می‌تواند کاهش یا افزایش یابد (Sayyari *et al*., 2011; Varasteh *et al*., 2012). علاوه بر این اثر تیمارهای مختلف می‌تواند با فضای داخلی میوه مرتبط باشد (*et al*., Miguel 2004). تیمارهای پوششی تخریب آنتوسیانین را طی انبارداری کاهش دادند که می‌تواند به دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌های PPO و POD در پاسخ به تغییرات داخلی میوه باشد (Varasteh *et al*., 2012). طبق نتایج این آزمایش، اثر تیمارهای پوششی بر تغییرات pH و هدایت الکتریکی معنی‌دار نبود. pH تا دو ماه بعد از انبارداری ثابت بود و پس از آن تا ماه چهارم کاهش یافت. هدایت الکتریکی نیز در دوره انبارداری روند کاهشی داشت و کم‌ترین مقدار آن مربوط به چهار ماه بعد از انبارداری بود. کاهش میزان اسید ممکن است در اثر تبدیل به قندها و استفاده‌های دیگر آن در فرآیندهای متابولیسمی طی انبارداری باشد (Rathore, 2007). طبق بررسی‌های

Zandi و همکاران (2013)، استفاده از بسته‌بندی‌های نانوسیلیکات و نانونقره در میوه گیلاس اثر معنی‌داری بر میزان pH میوه نداشت که با نتایج این تحقیق بعد از دو ماه انبارداری مطابقت دارد.

نتایج حاصل نشان داد که در بین تیمارهای پوششی، بیش‌ترین مقدار اسیدیته در تیمار پوششی پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات مشاهده شد. میزان اسیدیته کل با گذشت زمان کاهش یافت، به طوری که کم‌ترین مقدار بعد از چهار ماه انبارداری مشاهده شد. پوشش‌های نانوکامپوزیت با کنترل تبادلات گازی، کاهش اتلاف رطوبت و جلوگیری از رشد میکروبی در سطح میوه باعث کاهش تنفس و در نتیجه حفظ بهتر اسیدیته می‌شوند. سایر بررسی‌ها نشان دادند که تغییرات اسیدیته قابل تیتراسیون در زمان‌های مختلف طی انبارداری در میوه‌های انار از الگوی ثابتی پیروی نکرده است، اما در مجموع میزان آن در پایان دوره انبارداری کاهش یافته است (Sayyari *et al*., 2009). طبق نتایج مطالعات دیگر، تفاوت قابل توجهی در میزان اسیدیته قابل تیتر بین بسته‌های نانوکامپوزیت در مقایسه با بسته‌های پلی‌اتیلن معمولی در میوه توت‌فرنگی در طول دوره انبارداری وجود داشت (Yang *et al*., 2010).

نتایج نشان داد که تیمار پوششی پلی‌پروپیلن حاوی نانوسیلیکات بیش‌ترین محتوی فنل و فلاونوئید کل را در پایان دوره انبارداری داشت. همچنین میزان فنل و فلاونویید کل با گذشت زمان کاهش یافت. بررسی‌های پیشین نشان دادند که میزان فعالیت پلی‌فنل اکسیداز در بسته‌های نانوکامپوزیت و یا میزان اکسیداسیون پلی‌فنل‌ها توسط این آنزیم به طور قابل‌توجهی در میوه‌های بسته‌بندی‌شده با ظروف محتوی نانوکامپوزیت کاهش یافت که نتایج این تحقیق را تائید می‌کنند (Qiuhui Hu *et al*., 2011). با بررسی اثر پوشش‌های نانوکامپوزیت بر حفظ کیفیت میوه توت‌فرنگی طی دوره انبارداری، مشخص شد که استفاده از پوشش‌های نانوکامپوزیت باعث حفظ کیفیت میوه توت‌فرنگی شد (Yang *et al*., 2010). مطالعات همچنین نشان داد که استفاده از فیلم نیمه‌تراوا با کیتوزان/نانوسیلیکات در میوه‌ی لونگان (Shi *et al*., 2013) و عناب (Yu *et al*., 2012) موجب کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز شد. میزان فنل کل میوه‌ها و سبزی‌ها پس از برداشت می‌تواند کاهش یا افزایش یابد که بستگی زیادی به نوع تیمار و شرایط انبار دارد (Kalt, 2005). مقدار فلاونوییدها بستگی به عوامل بسیاری از جمله ژنوتیپ، شرایط محیطی، روش‌های تولید و حمل‌ونقل و شرایط انبارداری پس از برداشت میوه دارد (Ghasemnezhad *et al*., 2013). در بررسی‌های پیشین، کاهش فلاونوئیدها در میوه سیب طی انبارداری با دمای پایین مشاهده شد (Wang and Gao, 2013).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد که پوشش‌های نانوکامپوزیت با کاهش ورود اکسیژن و خروج دی‌اکسید کربن تنفس میوه را کاهش و پیری را در میوه‌های انار به تأخیر انداختند. این تیمارها مانع از کاهش وزن شده و با جلوگیری از کاهش رطوبت پوست، بافت اسفنجی و غشایی و با حفظ رطوبت آریل طراوت و تازگی میوه را تا پایان ماه چهارم انبارداری حفظ کردند. آن‌ها همچنین با کاهش سرعت مصرف آنتی‌اکسیدان‌ها، کاهش در محتوای فنل و فلاونویید کل را به تأخیر انداختند. از طرف دیگر، این تیمارها موجب کند شدن آهنگ تغییرات در ویتامین ث شدند. به طور کلی، استفاده از این پوشش‌ها موجب حفظ کیفیت و افزایش عمر انباری میوه‌های انار گشت. پژوهش‌های بیش‌تری لازم است تا برتری مواد نانوکمپوزیت بر سایر پوشش‌ها از جمله واکس در انبارمانی میوه انار و میوه‌های دیگر مشخص گردد.

سپاسگزاری

از آقایان مهندس میرزنده دل و دکتر یوسفی به‌دلیل مهیا نمودن نمونه‌های گیاهی و مواد آزمایشگاهی قدردانی می‌گردد.

منابع

رنجبر، ح.، حسن پور، م.، عسگری سرچشمه، م. ع.، سمیع زاده لاهیجی، ح. و بنی اسدی، ع. (۱۳۸۶). بررسی تاثیر تیمارهای کلرید کلسیم، آب گرم و پوشش پلی اتیلن بر روی عمر انبارمانی و کیفیت میوه انار (رقم ملس ساوه). فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، سال چهارم، شماره ۲، صفحات ۹-۱.

طلایی، ع.، عسگری سرچشمه، م. ع.، بهادران، ف. و شرافتیان، د. (۱۳۸۳). مطالعه آثار تیمارهای آب گرم و پوشش پلی اتیلن بر روی عمر انبارمانی و کیفیت میوه انار رقم ملس ساوه. علوم کشاورزی ایران، سال سی و پنجم، شماره ۲، صفحات ۳۷۷-۳۶۹.

فهیمی نیا، ص. و ناصری، ل. (۱۳۹۴). تأثیر بسته‌های نانو کامپوزیت بر خواص کیفی و ماندگاری میوه آلو رقم سانتارزا. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، سال یازدهم، شماره ۱، صفحات ۹۹-۸۸.

محسنی، ع. (۱۳۸۹). انار (راهنمای تولید). انتشارات نشر آخر. ص ۲۱۶.

میردهقان، س.ج. و راحمی، م. (۱۳۸۸). تعیین زمان ایجاد خسارت سرمازدگی میوه انار در طول نگهداری در سردخانه. علوم باغبانی ایران، سال چهل و یکم، شماره ۱، صفحات ۱۸-۱۱.

Ahmed, M. J., Sigh, Z. & Ahmad, S. K. H. (2009). Postharvest *Aloe vera* gel-coating modulates fruit ripening and quality of 'Arctic Snow' nectarine kept in ambient and cold storage. International Journal of Food science and Technology, 44, 1024-1033.

Altunkaya, A. & Gokmen, V. (2008). Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and totalphenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). Food Chemistry, 107, 1173-1179.

AOAC. (1995). Official methods of analysis (15th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

Avella, M. D., Vlieger, J., Errico, M. E., Fischer, S., Vacca, P. & Volpe, M. (2005). Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. Food Chemistry, 93, 467-474.

D' Aquino, S., Palma, A., Schirra, M., Continella, A., Tribulato, E. & La Malfa, S. (2010). Influence of film wrapping and fludioxonil application on quality of pomegranate fruit. Postharvest Biology and Technology, 55, 121-128.

Douglas, K. R., Robinson, G. & Salejova, Z. (2010). Nanotechnology for Biodegradable and Edible Food Packaging. FOCUS REPORT for the FP7 project Observatory NANO, April 2010.

Elyatem, S. M. & Kader, A. (1984). Post-harvest physiology and storage behavior of pomegranate fruits. Scientia Horticulture, 24, 287-298.

Fawole, O. A. & Opara, U. L. (2013a). Change in physical, chemical and phytochemical properties and antioxidant activity of three pomegranate cultivars grown in South Africa. Food and Bioprocess Technology, 5 (7), 2934-2940.

Fawole, O. A. & Opara, U. L. (2013b). Changes in physical properties, chemical and elemental composition and antioxidant capacity of pomegranate fruit at five maturity stages. Scientia Horticulturae, 150, 37-46.

Ghasemnezhad, M., Zareh, S., Rassa, M. & Hassan-Sajedi, R. (2013). Effect of chitosan coating on maintenance of aril quality microbial population and PPO activity of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Tarom) at cold storage temperature. Journal of Science of Food and Agriculture, 93, 368-374.

Giusti, M. M. & Wrolestad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by uv-visible spectroscopy. In: Wrolstad, R. E., Schwartz, S. J. (Eds.), Current Protocols in Food Analytical Chemistry. John Wiley and Sons, New York, pp. 1-13.

Hu, O., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N. & Zhao, L. (2011) Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. Food Research International Journal, 44 (6), 1589-1596.

Hur, J. S., Oh, S. O., Lim, K. M., Jung, J. S., Kim, J. W. & Koh, Y. J. (2005). Novel effects OFTiO2photocatalyticozonation on control of postharvest fungal spoilage of kiwifruit. Postharvest Biology and Technology, 35 (1), 109-113.

Kalt, W. (2005). Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. Journal of Food Science, 70, 11-19.

Kashyap, G. & Gautam, M. D. (2012). Analysis of vitamin C in commercial and naturals substances by Iodomeric titration found in Nimar and Malwargeiion. Scientific Research in Pharmacy, 1 (2), 77-78.

Maneerat, C., Hayata, Y., Egashira, N., Sakamoto, K., Hamai, Z. & Kuroyanagi, M. (2003). Photocatalytic reaction of TiO2 to decompose ethylene in fruit and vegetable storage. Transactions of the Asae, 46 (3), 725-730.

Miguel, G., Fontes, C., Antunes, D., Neves, A. & Martins D. (2004). Anthocyanin concentration of 'Assaria' pomegranate fruits during different cold storage conditions. Journal of Biomedicine and Biotechnology, 5, 338-342.

Mittler, R. (2002). Oxidative stress antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Science, 7, 405-410.

Qiuhui, H., Yong, F., Yanting, Y., Ning, M. A. & Liyan, Z. (2011). Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. Food Research International Journal, 44, 1589-1596.

Robinson, D. K. R. & Salejova, G. (2010), Nanotechnology for Biodegradable and Edible Food Packaging. Focus report for the FP7 project Observatory Nano, April 2010.

Rathore, H. A., Masud, T., Shehla, X. S. & Soomro, A. H. (2007). Effect of storage on physico-chemical composition and sensory properties of Mango (*Mangnifera indica* L.) variety Dosehari. Pakistan Journal of Nutrition, 6, 143-148.

Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M. & Valero, D. (2011). Vapor treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates. Food Chemistry, 124, 964–970.

Selcuk, N. & Erkan, M. (2014). Changes in antioxidant activity and postharvest quality of sweet pomegranates cv. Hicrannaar under modified atmosphere packging. Postharvest Biology and Technology, 92, 29-36.

Shi., SH., Wang, W., Liu, L., Wu, SH., Wei, Y. & Li, W. (2013). Effect of chitosan/nano-silica coating on the physicochemical characteristics of longan fruit under ambient temperature. Journal of Food Engineering, 118, 125-131.

Shiri, M. A., Ghasemnezhad, M., Bakhshi, D. & Dadi, M. (2011). Changes in phenolic compounds and antioxidant capacity of fresh-cut table grape (*Vitis vinifera*) cultivar 'Shahaneh' as influence by fruit preparation methods and packagings. Australian Journal of Crop Science, 5, 1515-1520.

Silvestre, C., Duraccio, D. & Cimmino, S. (2011). Food packaging based on polymer nanomaterials. Progress in Polymer Science Journal, 110, 775-795.

Singelton, V. L. & Rossi, J. I. (1965). Clorimetri of total phenolics with phosphomolibdic-phosphotungestic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16, 144-158.

Smimoff, N. (1995). Antioxidant system and plant response to the environment. Bios Scientific Publisher Oxford, United Kingdom, 25, 217-243.

Spinardi, A. M. (2005). Effect of harvest date and storage on antioxidant systems in pears. Acta Horticulturae, 682, 135-140.

Sun, T. & Ho, C. T. (2005). Antioxidant activity of buck wheat extracts. Food chemistry, 90, 743-749.

UPOV. (2012). Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability in Pomegranate (*Punica granatum* L.). International union for the protection of new varieties of plants, 34 pp.

Utracki, L. A. (2004). Clay-containing polymeric nanocomposites, Vols. 1 and 2. Shaw bury (UK): Rapra Technology Ltd.

Varasteh, F., Arzani, K., Barzegar, B. & Zamani, Z. (2012). Changes in anthocyanins in arils of chitosan-coated pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Rabbab-e-Neyriz) fruit during cold storage. Food Chemistry, 130, 267–272.

Wang, S. Y. & Gao, H. (2013). Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria aranassa* Duch.). LWT Food Science Technology, 52, 71-79.

Yang, F. M., Li, H. M., Li, F., Xin, Z. H., Zaho, L. Y., Zheng, Y. H. & Hu, Q. H. (2010). Effect of nano packing on preservation quality of fresh strawberry (*Fragaria ananassa* Duch. cv Fengxiang) during storage at 4 ºC. Journal of Food Science, 75, 236-240.

Yu, Y. W., Zhang, S. Y., Ren, Y. Z., Li, H., Zhang, X. N. & Di, J. H. (2012). Jujube preservation using chitosan film with nano-silicon dioxide. Journal of Food Engineering, 113, 408-414.

Zandi, K. H., 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.

Zandi, K. H., Naseri, L. & Esmaiili, M. (2013). Effect of packaging material containing nano-silver and silicate clay particles on postharvest quality attributes of sweet cherry cv. Syaahe Mashhad. Journal of Food Reserch, 24, 102-89.

Zhu, J. & Zhu, Y. (2006). Effects of the postharvest storage temperature and its fluctuations on the keeping quality of *Agaricus* bisporus. International Journal of Food Engineering, 2, 1–10.