

تأثیر بسته‌بندی نانو سیلیکات و پلی اتیلن بر ویژگی‌های کیفی و ماندگاری میوه خرمالو (*Diospyros kaki* Thunb)

فهیمة نصر^۱، ولی ربیعی^{۲*}، فرهنگ رضوی^۳ و اورنگ خادمی^۴

۱، ۲ و ۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار، استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۴. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۱۷)

چکیده

عمر کوتاه و حساسیت به سرمازدگی بزرگ‌ترین مشکل پس از برداشت رقم‌های خرمالو است. از جمله تیمارهای مؤثر در افزایش ماندگاری پس از برداشت میوه‌ها استفاده از فناوری نانو است. در این پژوهش تأثیر به کارگیری ظرف‌های نانو سیلیکات، ظرف‌های پلی اتیلن معمولی و بدون بسته‌بندی (شاهد) بر حفظ خواص کیفی میوه خرمالو رقم کرج در چهل روز انبارداری آن در دمای ۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد بررسی شد. در مدت‌های ۲۰ و ۴۰ روز میوه‌ها از انبار سرد خارج و پس از سه روز نگهداری در دمای معمولی به عنوان عمر قفسه‌ای ویژگی‌هایی همانند شاخص سرمازدگی، درصد کاهش وزن، سفتی بافت میوه، مواد جامد محلول کل، اسید قابل عیارسنجی (تیتراسیون)، میزان آسکوربیک اسید، محتوای تانن محلول، کاروتنوئید کل، فلاونوئید کل و فعالیت پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) کل اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، بسته‌بندی نانو در هر دو مدت انبارداری در مقایسه با ظرف‌های پلی اتیلن معمولی و شاهد موجب حفظ بهتر خواص کیفی، میزان آسکوربیک اسید، میزان تانن محلول، فلاونوئید کل و فعالیت پاداکسندگی میوه در دوره انبارداری شد. همچنین میوه‌های خرمالوی بسته‌بندی شده با نانو سیلیکات کمترین شاخص سرمازدگی (۰/۱ درصد)، کاهش وزن (۱/۳۲ درصد) و بیشترین میزان سفتی (۵/۳۳ نیوتن بر سانتی‌مترمربع) را داشتند. بنابراین استفاده از ظرف‌های حاوی نانو ذرات در افزایش ماندگاری پس از برداشت و حفظ کیفیت میوه خرمالو مؤثرتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: پاداکسندگی کل، تانن محلول، خرمالو (*Diospyros kaki* Thunb)، فلاونوئید، نانو کمپوزیت.

Effect of nano-silicate and polyethylene packaging on quality and storage life of persimmon (*Diospyros kaki* Thunb) fruit

Fahime Nasr¹, Vali Rabieci^{2*}, Farhang Razavi³ and Orang Khademi⁴

1, 2, 3. M.Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

4. Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

(Received: Agu. 7, 2016 - Accepted: Nov. 7, 2016)

ABSTRACT

Short postharvest life and susceptibility to chilling are the most important problems of persimmon fruit cultivars. Use of nanotechnology is one of the most effective ways to extend storage life of fruits. In this study, effect of different packaging material including nano-silicate, polyethylene and control (without packaging) on quality and antioxidant properties of persimmon fruits cv. Karaj was investigated during 40 days of postharvest storage at 1 °C and 90-95% relative humidity. The fruits were removed after 20 and 40 days of cold storage and subsequently held at ambient temperature for three days (shelf life), and were analyzed for chilling injury index, weight loss, flesh firmness, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), ascorbic acid, soluble tannin, total flavonoids, total carotenoid contents and total antioxidant activity. The results showed that nano-packaging maintained quality attributes of ascorbic acid, soluble tannin, total flavonoids, total carotenoid contents and total antioxidant activity for longer period than polyethylene packaging and controls. Also, nano- packaged persimmon fruits had the least chilling index (0.01%), weight loss (1.32%) and the most flesh fruit firmness (5.33N/cm²). Therefore use of nano-packaging is beneficial for quality maintaining and postharvest life of persimmon fruit during storage.

Keywords: Flavonoid, nanocomposite, persimmon (*Diospyros kaki* Thunb), soluble tannin, total antioxidant.

مقدمه

خرمالو (*Diospyros kaki* Thunb) از مهم‌ترین میوه‌های نیمه گرمسیری در ایران است ولی عمر پس از برداشت آن کوتاه است. کاهش کیفیت پس از برداشت این میوه در مدت انبارداری و حمل‌ونقل بسیار سریع‌تر از میوه‌های دیگر است و به دلیل نرم شدن بافت و تغییر در کیفیت میوه و بروز نابسامانی‌های فیزیولوژیکی کیفیت آن کاهش می‌یابد. نگهداری درازمدت بیشتر رقم‌های خرمالو در دمای پایین به علت حساسیت این میوه به سرمازدگی^۱ (CI) و نرم شدن سریع هنگام انتقال از دمای پایین به دمای بالا امکان‌پذیر نیست (Arnal & Del Rio, 2004). تیمارهای پرشماری همانند آب گرم، اسید سالیسیلیک (Khademi et al., 2012)، کلرید کلسیم (Bagheri et al., 2015)، ۱- متیل سیکلوپروپین و نگهداری در اتمسفر تغییر یافته (Oz, 2011) برای افزایش عمر پس از برداشت رقم‌های خرمالو استفاده شده است. با این حال بسیاری از این راهبردها گران‌قیمت و وقت‌گیر بوده و باعث تغییر رنگ، مزه و خواص کیفی میوه‌ها می‌شوند. امروزه یافتن راه‌های غیر شیمیایی و سالم در افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت میوه‌ها اهمیت خاصی دارد (Asghari et al., 2009). در سال‌های اخیر استفاده از فناوری نانو برای نگهداری محصولات باغبانی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. کاربرد نانو در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، باعث افزایش ماندگاری مواد غذایی شده است که در نتیجه آن، مواد غذایی تازه‌تر و به مدت طولانی‌تر قابل نگهداری هستند (Silvestre & Duraccio, 2011). فناوری نانو پلیمر استفاده از مواد پلیمری است که با ذرات کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر تولید شده باشند (Utracki, 2004). با کاهش ابعاد ذرات در حد نانومتر، توان فعالیت سطحی مواد افزایش چشمگیری یافته و سرعت واکنش این مواد با محیط اطراف به دلیل ازدیاد مکان‌های فعال سطحی بیشتر می‌شود (Damm et al., 2007). استفاده از نانو ذرات در پلاستیک‌ها می‌تواند سبب بهبود خاصیت نفوذپذیری بسته‌های غذایی

شود (Lagaron, 2006). در بسته‌بندی‌های نانو، ذرات نانو به صورت زیگزاگ قرار گرفته‌اند و مانند سد از عبور اکسیژن جلوگیری می‌کنند. ذرات موجود در بسته‌بندی از انتشار بو جلوگیری کرده و باعث حفظ بسیاری از خواص از جمله استحکام، سفتی و مقاومت در برابر ریزجانداران (میکروارگانیزم‌ها) می‌شوند (Silvestre & Duraccio, 2011).

بسته‌بندی با چندسازه‌های نانو (نانو کامپوزیت) باعث حفظ کیفیت میوه کیوی و کاهش پوسیدگی آن شده و میزان کاهش وزن، نرم شدن میوه، تغییر رنگ و کاهش مواد جامد محلول در میوه‌های موجود در بسته‌های نانو در ۴۲ روز انبارداری سرد مهار شده است (Hu et al., 2011). همچنین بسته‌بندی نانو بازدارنده کاهش وزن و قهوه‌ای شدن و حفظ شادابی برش‌های سیب شده و از فساد میکروبی آن‌ها در دوازده روز انبارداری در دمای ۵ درجه سلسیوس جلوگیری کرده است (Ling et al., 2011). در بررسی دیگر نیز مشخص شده است که بسته‌بندی نانو باعث حفظ کیفیت میوه توت‌فرنگی و بازدارنده کاهش آسکوربیک اسید، اسید قابل عیارسنجی (تیتراسیون) و مواد جامد محلول شده و از پوسیدگی و افزایش میزان مالون دی‌آلدئید میوه توت‌فرنگی در دوازده روز انبارداری سرد جلوگیری کرده است (Yang et al., 2010). تأثیر بسته‌بندی نانو روی گیلاس رقم سیاه مشهد نشان داد، بسته‌های محتوای نانو ذرات نقره و سیلیکات رس بر پایه پلی‌اتیلن نسبت به پلی‌اتیلن معمولی به‌طور معنی‌داری باعث حفظ خواص پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی)، ویتامین ث، فنل کل و بازارپسندی شده است (Zandi et al., 2014). میوه‌های ازگیل ژاپنی بسته‌بندی‌شده با پوشش پلی‌اتیلن شاخص قهوه‌ای شدن و درصد کاهش وزن کمتر و کیفیت ظاهری بهتر و ماندگاری بیشتری نسبت به میوه‌های بدون پوشش در پایان دوره انبارداری داشتند (Ashournezhad & Ghasemnezhad, 2012). در این پژوهش به بررسی تأثیر استفاده از بسته‌بندی‌های پلی‌اتیلنی حاوی نانو ذرات سیلیکات بر حفظ خواص کیفی و افزایش ماندگاری میوه خرمالو رقم کرج در مقایسه با طرف‌های پلی‌اتیلنی معمولی در دو زمان انبارداری پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

پلی‌اتیلن سیلیکاتی^۱ حاوی ذرات نانو سیلیکا با ضخامت ۳۱۰ میکرون و غلظت ذرات نانو در هر بسته ۲۰۰۰ ppm که حاوی ماده پادباکتری (آنتی‌باکتریال) و دارای نفوذپذیری ۲۰ میلی‌لیتر بر مترمربع در ۲۴ ساعت برای دی‌اکسیدکربن و ۳۵ میلی‌لیتر بر مترمربع در ۲۴ ساعت برای اکسیژن و غیرقابل نفوذ برای ورود و خروج بخار آب است از شرکت نانو بسپار آیتک تهران واقع در اطراف شهر تهران تهیه شد و بسته‌های پلی‌اتیلن معمولی از بازار خریداری شد، تأثیر بسته‌بندی نانو روی ماندگاری میوه خرما در مقایسه با بسته‌های پلی‌اتیلنی معمولی با ضخامت همسان و همچنین بدون پوشش به‌عنوان شاهد بررسی شد.

میوه‌های خرما (رقم کرج) در مرحله بلوغ تجاری (رنگ‌گیری کامل با سفتی بافت حدود $1/6 \pm 0/5 \text{ N/cm}^2$) که برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه به تصادف چند عدد میوه انتخاب شده و با دستگاه سفتی‌سنج دستی مدل OSK 1618 Japan سفتی اولیه بافت میوه اندازه‌گیری شد (Sanchis *et al.*, 2015)) از باغی واقع در اطراف شهرستان کرج برداشت شد و در مدت سه ساعت به آزمایشگاه پس از برداشت گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان منتقل شد، میوه‌های سالم و یکنواخت (از نظر اندازه، رنگ و سفتی) برای آزمایش انتخاب شدند. شمار ۲۱ عدد میوه به‌عنوان سه تکرار در آغاز آزمایش به‌طور تصادفی انتخاب و برای اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی و کمی در هنگام برداشت اختصاص یافتند. دیگر میوه‌ها به سه گروه و هر گروه دارای ۴۲ عدد میوه تقسیم‌بندی شدند. گروه اول در بسته‌های نانو، گروه دوم در بسته‌های پلی‌اتیلنی و گروه سوم به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. در هر نوع بسته‌بندی شمارش بسته در نظر گرفته شد و در هر بسته هفت میوه قرار داده شد. آنگاه بسته‌های تهیه شده به سردخانه با دمای ۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد منتقل و در مدت‌های ۲۰ و ۴۰ روز از انبار سرد شمار سه بسته از هر تیمار به‌عنوان سه تکرار خارج و پس از سه روز نگهداری در دمای اتاق به‌عنوان عمر قفسه‌ای بررسی شدند.

صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل: شاخص سرمازدگی، درصد کاهش وزن، سفتی بافت میوه، مواد جامد محلول کل، اسید قابل عیارسنجی، ظرفیت پاداکسندگی، تانن محلول، آسکوربیک اسید (ویتامین ث)، کارتنوئید کل و فلاونوئید کل بود.

شاخص سرمازدگی

برای اندازه‌گیری شاخص سرمازدگی، سطح میوه به‌صورت مشاهده‌ای در چهار قسمت شامل صفر: سطح میوه قهوه‌ای نشده، یک: کمتر از ۲۵ درصد سطح میوه قهوه‌ای شده، دو: حدود ۵۰ درصد سطح میوه قهوه‌ای شده، سه: بیشتر از ۷۵ درصد سطح میوه قهوه‌ای شده نمره دهی شد و با استفاده از رابطه ۱ شاخص سرمازدگی محاسبه شد (Wang *et al.*, 2006).

$$(۱) \text{ شاخص سرمازدگی} =$$

$$\frac{\text{شمار میوه در هر درجه سرمازدگی} \times (\text{درجه سرمازدگی})}{\text{شمار کل میوه‌ها در هر تیمار} \times ۴}$$

درصد کاهش وزن

برای ارزیابی میزان درصد کاهش وزن میوه در آغاز آزمایش و پیش از آغاز نگهداری، میوه‌ها با ترازوی دیجیتال مدل (CANDGL300) وزن شدند و آنگاه در مدت‌های ۲۰ و ۴۰ روز پس از انبارداری نیز دوباره توزین شدند و درصد کاهش وزن میوه‌ها به‌صورت زیر محاسبه شد (Meng *et al.*, 2007).

$$۱۰۰ \times \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} = \text{درصد کاهش وزن}$$

سفتی بافت میوه

برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه از دو قسمت مقابل هم و پس از برداشتن پوست میوه از سفتی‌سنج دستی مدل (OSK 1618 Japan) با قطر پروپ ۸ میلی‌متری استفاده شد. سفتی بافت بر پایه میزان فشاری که بر حسب نیوتن بر سانتی‌مترمربع در اثر مقاومت گوشت میوه به نوک سفتی‌سنج وارد آمد از روی دستگاه خوانده شد (Jalilimarandi, 2004).

۸۰ درصد، بنابر روش فولین دنیز^۲ با اندکی تغییرپذیری اندازه‌گیری شد. برای عصاره‌گیری تانن محلول، ۵ گرم از نمونه با ۲۵ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد، در یک هاون چینی به‌خوبی همگن شد. آنگاه مخلوط به‌دست‌آمده در ۳۰۰۰ دور و به مدت پنج دقیقه عصاره‌تانی به دست آمد. به ۲۰ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه، ۵ میلی‌لیتر عصاره‌تانی و ۵ میلی‌لیتر معرف فولین دنیز اضافه شد. پس از گذشت پنج دقیقه ۲/۵ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم اشباع نیز به محلول تانی اضافه شد. یک ساعت بعد میزان جذب نوری محلول بالا (آبی‌رنگ) در طول موج ۷۶۰ نانومتر و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفوتومتر) مدل (Specorp 250Jena-History Germany) خوانده شد. غلظت تانن محلول بر پایه منحنی استاندارد اسید تانیک خالص که همزمان با تهیه نمونه‌ها تهیه شده بود محاسبه شد (Tiara, 1996).

آسکوربیک اسید (ویتامین ث)

اندازه‌گیری آسکوربیک اسید (ویتامین ث) با استفاده از روش یدسنجی (یدومتريک) انجام شد، به این صورت که میزان ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره میوه را در ظرف شیشه‌ای ریخته و روی آن ۲ میلی‌لیتر محلول نشاسته ۱ درصد (۱ گرم نشاسته در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد) اضافه و محلول به‌دست‌آمده با محلول ید تهیه شده (۱/۲۶۹ گرم ید + ۱۶/۶ گرم یدید پتاسیم را با هم مخلوط کرده و به حجم ۱ لیتر رسانده) عیارسنجی شد و این عمل تا تشکیل رنگ خاکستری روشن ادامه یافت. برای محاسبه آسکوربیک اسید عصاره میوه از رابطه زیر استفاده شد (Jalilimrandi, 2004).

$$A = \frac{SNF \times 88.1}{10} \times 100 \quad (5)$$

که در آن:

A = میزان آسکوربیک اسید میوه برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر

S = میزان محلول ید مصرف‌شده

N = نرمالیت محلول یدور پتاسیم = ۰/۰۱

F = عامل مخلوط ید = ۰/۱۳۵

کل مواد جامد محلول (TSS)^۱

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول (TSS) از شکست‌سنج (رفراکتومتر) دیجیتالی مدل Atago- (ATC-20E) استفاده شد و بر پایه درجه بریکس بیان شد. میانگین مواد جامد محلول سه عدد میوه به‌عنوان درصد مواد جامد محلول کل آن تکرار در نظر گرفته شد (Jalilimrandi, 2004).

اسید قابل عیارسنجی (TA)

برای اندازه‌گیری میزان اسید قابل عیارسنجی میزان ۵ میلی‌لیتر از عصاره میوه با ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق‌شده و محلول به‌دست‌آمده با سود ۰/۱ نرمال و بر پایه pH پایانی ۸/۱-۸/۲ تیتر شد. درصد اسید قابل عیارسنجی بر پایه اسید غالب یعنی اسید مالیک و بنا بر رابطه ۳ محاسبه شد (Iranzo et al., 1984).

$$(3) \quad \text{درصد اسید قابل عیارسنجی} = \frac{(\text{حجم سود مصرفی} \times \text{نرمالیت سود مصرفی} \times 68)}{(\text{حجم نمونه تیترشده} \times 1000)}$$

فعالیت پاداکسندگی کل

برای اندازه‌گیری پاداکسندگی کل در آغاز محلول ۰/۱ میلی‌مولار از DPPH تهیه شد، به‌این‌ترتیب که ۳۹/۳۴ میلی‌گرم DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول حل شد. آنگاه ۵۰ میکرولیتر از عصاره به محلول DPPH اضافه شد به‌طوری‌که حجم نهایی ۲ میلی‌لیتر شد و جذب آن پس از ۳۰ دقیقه در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. با استفاده از رابطه ۴ میزان پاداکسندگی کل محاسبه شد (Dehghan & Khoshkam, 2012).

$$(4) \quad \text{RSA \%} = \frac{100(Ac - As)}{Ac}$$

که در آن:

RSA = ظرفیت پاداکسندگی

AS = جذب نمونه حاوی عصاره

AC = جذب شاهد

تانن محلول

پس از عصاره‌گیری، تانن محلول نمونه با متانول

انبارداری و اثر برهمکنش بین تیمار بسته‌بندی و مدت انبارداری بر شاخص سرمازدگی معنی‌دار شد هرچند اثر اصلی تیمار بسته‌بندی بر آن معنی‌دار نبود. بر پایه مقایسه میانگین، در مدت بررسی بیست روز نمونه‌های بسته نانو به‌طور معنی‌داری دارای شاخص سرمازدگی کمتری در مقایسه با نمونه‌های بسته پلی‌اتیلنی بودند. در این مدت بررسی اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های بسته نانو با شاهد و نمونه‌های بسته پلی‌اتیلنی با شاهد مشاهده نشد. با گذشت مدت آزمایش شاخص سرمازدگی همه نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در مدت بررسی چهل روز انبارداری کمترین شاخص سرمازدگی در نمونه‌های بسته نانو مشاهده شد و همچنین نمونه‌های بسته پلی‌اتیلنی به‌طور معنی‌داری دارای درجه سرمازدگی کمتری در مقایسه با شاهد بودند (شکل ۱). میزان قهوه‌ای شدن میوه در مدت انبارداری سرد یک شاخص مهم کیفیت خرماست و به‌عنوان شاخص سرمازدگی در نظر گرفته می‌شود. قهوه‌ای شدن درونی و بیرونی مدت انبارداری سرد به‌عنوان یک آسیب سرمازدگی در خرما گزارش شده است (Salvador *et al.*, 2004). آسیب سرمازدگی محدودکننده مدت انبارداری میوه‌ها بوده و سبب افزایش ضایعات پس از برداشت است باین‌حال دمای سرد می‌تواند مؤثرترین روش برای افزایش عمر انباری میوه باشد (Han *et al.*, 2006). به‌طور کلی آسیب سرمازدگی در آغاز در غشاء یاخته‌ای همراه با تغییر در ترکیب اسیدهای چرب فسفولیپیدها رخ می‌دهد و آسیب غشایی موجب آغاز آبخاری از واکنش‌های ثانویه می‌شود که منجر به تخریب ساختار یاخته‌ای می‌شود (Mirdehghan *et al.*, 2007). بسته‌های نانو از ورود اکسیژن و خروج دی‌اکسیدکربن جلوگیری کرده و باعث حفظ رطوبت درون بسته‌ها می‌شوند در نتیجه موجب کاهش شاخص سرمازدگی و ضایعات ناشی از سرمازدگی میوه‌های خرما در نتیجه تنش سرما شده است (Brody, 2006).

درصد کاهش وزن میوه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تأثیر مدت بررسی و تیمار بسته‌بندی و اثر برهمکنش بین تیمار

کاروتنوئید کل

در اندازه‌گیری کاروتنوئید کل ۲ گرم از گوشت میوه در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ترکیبی استن-هگزان (۶۰:۴۰) رنگ‌گیری شد و به مدت پنج دقیقه در ۵۰۰۰ دور سانتیفریوژ شد. میزان جذب نوری عصاره کاروتنوئیدی توسط دستگاه طیف‌سنج نوری مدل (Specorp 250) در طول موج ۴۸۰ نانومتر خوانده شد. میزان کاروتنوئید کل بر پایه رابطه زیر محاسبه شد (Wang *et al.*, 2005):

$$\text{میزان کاروتنوئید کل بر حسب میلی‌گرم در } 100 \text{ گرم وزن تر} = \text{OD}_{(480\text{nm})} = \text{جذب در طول موج } 480 \text{ نانومتر} \times 4$$

فلاونوئید کل

برای اندازه‌گیری فلاونوئید کل روی ۰/۲۵ میلی‌لیتر از نمونه‌ها با رقت مناسب، ۷۵ میکرولیتر NaNO_2 (۰/۵ W/V) و ۰/۱۵ میلی‌لیتر AlCl_3 (۰/۱۰ W/V) و ۰/۵ میلی‌لیتر NaOH ۱ مولار اضافه شد و با افزودن آب مقطر حجم نهایی به ۲/۵ میلی‌لیتر رسید. جذب محلول پس از پنج دقیقه توسط دستگاه طیف‌سنج نوری مدل (Specorp 250) در طول موج ۵۰۷ نانومتر خوانده شد. نتایج به‌صورت میکرومول کریستین در هر ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره بیان شد (Kaijv *et al.*, 2006).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول شامل انواع ظرف‌های بسته‌بندی و عامل دوم شامل مدت‌های نگهداری بررسی شد. پس از اطمینان از عادی بودن توزیع داده‌ها در هر یک از تیمارهای مورد بررسی، داده‌های به‌دست‌آمده از پژوهش توسط نرم‌افزار SAS (ورژن ۹/۳) تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

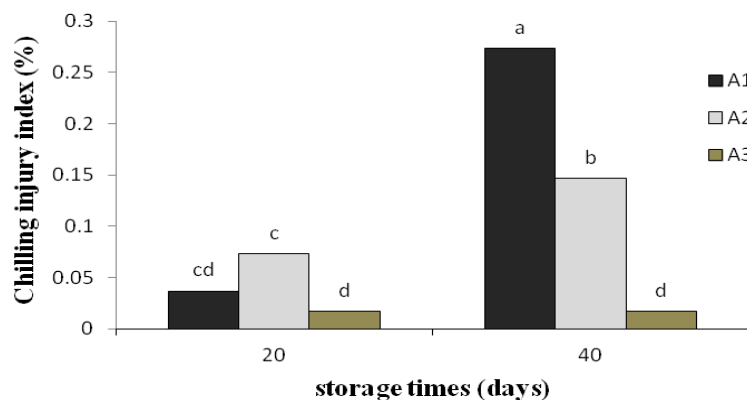
نتایج و بحث

شاخص سرمازدگی

بر پایه نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) تأثیر مدت

است و در نتیجه از دست دادن آب از سطح میوه‌ها رخ می‌دهد. ظرف‌های نانو بازدارنده ایجاد تبادل‌های گازی و کاهش رطوبت میوه شده و در نتیجه از کاهش بیش‌ازحد وزن میوه جلوگیری می‌شود (Li *et al.*, 2009). میوه‌های کیوی موجود در بسته‌های نانو کاهش وزن کمتری نسبت به بسته‌های پلی‌اتیلن معمولی در ۴۲ روز انبارداری نشان دادند (Hu *et al.*, 2011). استفاده از بسته‌بندی نانو سیلیکات رس باعث کاهش درصد کاهش وزن در میوه توت‌فرنگی شده است (Zandi *et al.*, 2013). همچنین بسته‌بندی نانو باعث جلوگیری از دست دادن رطوبت و کاهش وزن در میوه سیب شده است (Zhou *et al.*, 2011).

بسته‌بندی و مدت انبارداری بر کاهش وزن میوه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد ($P \leq 0.01$) معنی‌دار بود. با گذشت مدت درصد کاهش وزن همه نمونه‌ها افزایش یافت. بر پایه مقایسه میانگین بیشترین کاهش وزن در شاهد پس از ۴۰ روز انبارداری (۴/۶۷ درصد) و کمترین در بسته‌بندی نانو (۱/۳۲ درصد) مشاهده شد (شکل ۲). همچنین نتایج نشان داد، در نمونه‌های موجود در بسته‌های پلی‌اتیلن به‌طور معنی‌داری کاهش وزن کمتری نسبت به شاهد مشاهده شد. بسته‌بندی نانو به‌طور معنی‌داری از کاهش وزن بیش‌ازحد میوه‌ها جلوگیری کرد. کاهش وزن میوه به‌طور عمده با تنفس و تعرق از پوست میوه در ارتباط



شکل ۱. تأثیر بسته‌بندی و مدت انبارداری بر شاخص سرمازدگی میوه خرمالو رقم کرج حرف‌های همسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD هستند. A1 شاهد (بدون بسته‌بندی)، A2 ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی، A3 ظرف‌های نانو سیلیکات

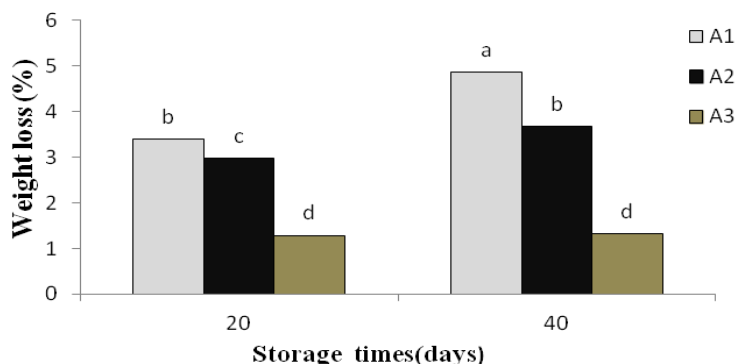
Figure 1. Effect of packaging and storage time on chilling injury index of persimmon fruits cv. Karaj. Similar letters represented no significant difference between means by LSD test at $p < 0.05$. A1 Control (Without Packaging), A2 Polyethylene Packaging, A3 Nano-silicate Packaging

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس تأثیر بسته‌بندی و مدت انبارداری بر ویژگی‌های کیفی میوه خرمالو رقم کرج در دمای ۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد

Table 1. Analysis of Variance for the effect of packaging and storage time on quality properties of persimmon fruits cv. Karaj at 1 °C and 90-95% relative humidity

S.O.V.	df	Means of Squares									
		Chilling injury index	Weight loss	Firmness	Total soluble solids	Titrateable acid	Total antioxidant activity	Soluble tannin	Ascorbic acid	Total carotenoid	Total flavonoids
Packaging	2	0.029 ^{ns}	13.773 ^{**}	18.807 ^{**}	2.347 ^{**}	0.003 ^{ns}	11.95 ^{**}	3067312.88 ^{**}	16.39 ^{**}	2.452 ^{ns}	15.089 ^{**}
Storage time	1	0.048 [*]	4.500 ^{**}	109.470 ^{**}	26.88 ^{**}	0.010 ^{**}	11.36 ^{ns}	1129003.55 ^{**}	46.49 ^{**}	2.599 ^{ns}	6.218 ^{**}
Packaging × storage time	2	0.022 [*]	1.109 ^{**}	8.173 ^{**}	9.18 ^{**}	0.033 [*]	7.72 ^{ns}	1510.55 ^{ns}	8.29 [*]	0.576 ^{ns}	1.296 ^{**}
error	12	0.009	0.149	1.067	0.152	0.005	151.64	97049.77	1.77	0.741	0.0278
C.V.(%)		35.25	12.683	22.082	2.045	18.77	17.518	13.206	1.778	17.15	4.915

ns, **, *: non significant, significant at 5% and significant at 1% level.



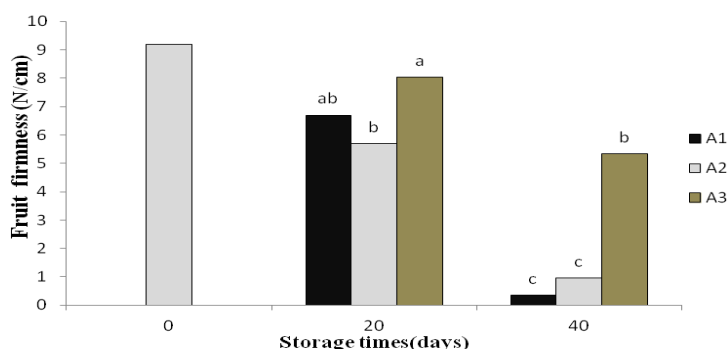
شکل ۲. تأثیر بسته‌بندی و مدت انبارداری بر میزان کاهش وزن میوه خرمالو رقم کرج حرف‌های همسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD هستند.

(A1 شاهد (بدون بسته‌بندی)، (A2 ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی، (A3 ظرف‌های نانو سیلیکات
 Figure 2. Effect of packaging and storage time on weight loss of persimmon fruits cv. Karaj
 Similar letters represented no significant difference between means by LSD test at $p < 0.05$.
 A1) Control (Without Packaging), A2) Polyethylene Packaging, A3) Nano-silicate Packaging

راه تخریب اجزای دیوارهٔ یاخته‌ای، به‌طور عمده پکتین توسط فعالیت آنزیم‌های ویژه مانند پلی‌گالاکتروناز صورت می‌گیرد (Manning, 1993). به نظر می‌رسد ظرف‌های نانو با ایجاد بازدارنده در برابر گازهای تنفسی، کاهش تولید اتیلن و حفظ رطوبت درون بسته باعث حفظ استحکام و سفتی میوه شده است. یکی از شاخصه‌های اصلی کیفیت میوه و عمر سودمند پس از برداشت، سرعت و میزان از دست دادن استحکام و سفتی در مدت انبارداری است (Martinez-Romero *et al.*, 2006). بسته‌های نانو باعث حفظ استحکام و جلوگیری از نرم شدن بیش‌ازحد میوهٔ توت‌فرنگی در هجده روز انبارداری شده است (Sogvar *et al.*, 2016).

سفتی بافت میوه

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که تأثیر مدت انبارداری، تیمار بسته‌بندی و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد ($P \leq 0.01$) بر میزان سفتی میوهٔ خرمالو معنی‌دار بود. میزان سفتی میوه‌ها در مدت بررسی چهل روز انبارداری در ظرف‌های بسته‌بندی نانو سیلیکات به‌خوبی حفظ شد. در این مدت انبارداری بیشترین میزان سفتی مربوط به بسته‌بندی نانو (۵/۳۳ نیوتن بر سانتی‌متر) و کمترین میزان سفتی مربوط به شاهد (۰/۳۴ نیوتن بر سانتی‌متر) بود، همچنین اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های موجود در بسته‌های پلی‌اتیلن و شاهد مشاهده نشد (شکل ۳). کاهش استحکام و نرم شدن بافت میوه از



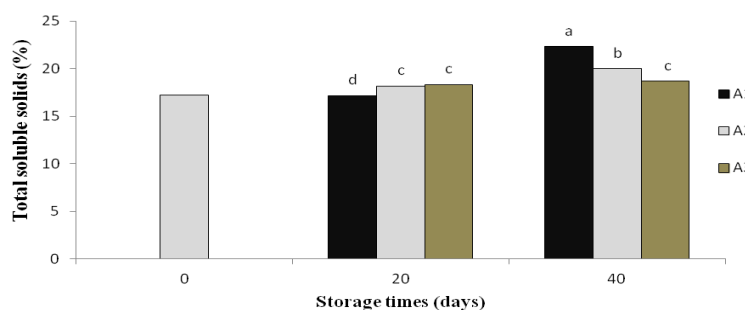
شکل ۳. تأثیر بسته‌بندی و مدت انبارداری بر سفتی بافت میوه خرمالو رقم کرج حرف‌های همسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD هستند.

(A1 شاهد (بدون بسته‌بندی)، (A2 ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی، (A3 ظرف‌های نانو سیلیکات
 Figure 3. Effect of packaging and storage time on firmness of persimmon fruits cv. Karaj
 Similar letters represented no significant difference between means by LSD test at $P < 0.05$.
 A1) Control (Without Packaging), A2) Polyethylene Packaging, A3) Nano-silicate Packaging

مواد جامد محلول کل (TSS)

اسیدهای آلی (ارگانیک) در واکنش‌های آنزیمی تنفس کاهش داده و با ایجاد تأخیر در رسیدگی میوه‌ها، از افزایش میزان مواد جامد محلول جلوگیری می‌کند (Hernandez-Munoz *et al.*, 2008). در این پژوهش بسته‌بندی نانو با کاهش میزان سوخت‌وساز و تنفس میوه‌ها بازدارنده افزایش شدید کل مواد جامد محلول نسبت به شاهد شده و دلیل شکستن پلی‌ساکاریدهای میوه‌های یاخته‌ای و تبدیل آن‌ها به قندهای محلول است. میزان کل مواد جامد محلول در هجده روز انبارداری در میوه توت‌فرنگی افزایش یافته ولی میزان افزایش در بسته‌بندی نانو نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر بوده است. در روز هجده انبارداری بیشترین میزان مواد جامد محلول کل در شاهد گزارش شده است، همچنین بسته‌بندی نانو نسبت به ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی به‌طور معنی‌داری باعث حفظ میزان کل مواد جامد محلول در میوه گیلان رقم سیاه مشهد شده است و از افزایش بیش‌ازحد آن در ۴۵ روز انبارداری جلوگیری کرده است (Sogvar *et al.*, 2016; Zandi *et al.*, 2014).

تأثیر تیمار بسته‌بندی و مدت انبارداری و برهمکنش تیمار بسته‌بندی و مدت انبارداری در سطح احتمال ۱ درصد ($P \leq 0.01$) بر میزان مواد جامد محلول میوه معنی‌دار بود (جدول ۱). بر پایه مقایسه میانگین داده‌های مواد جامد محلول کل اختلاف معنی‌داری در مدت انبارداری بیست روز بین بسته‌های نانو و پلی‌اتیلن مشاهده نشد ولی بین بسته‌های پلی‌اتیلن و شاهد و بسته‌های نانو و شاهد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. میزان افزایش مواد جامد محلول بسته‌بندی نانو بسیار کمتر از شاهد و بسته‌بندی پلی‌اتیلن معمولی بود. بیشترین مواد جامد محلول مربوط به شاهد (۲۲/۳۳ درصد) و کمترین مربوط به بسته‌های نانو (۱۸/۶۶ درصد) در اواخر دوره انبارداری بود (شکل ۴). میزان مواد جامد محلول کل در میوه‌های بدون بسته‌بندی (در مدت انبارداری آب بیشتری را از دست می‌دهند) نسبت به میوه‌های بسته‌بندی شده به علت فعالیت تنفسی شدیدتر و تغلیظ محتویات آب‌میوه افزایش بیشتری می‌یابد (Hu *et al.*, 2011). استفاده از پوشش سرعت تنفس میوه‌ها را با تأخیر در استفاده از



شکل ۴. تأثیر بسته‌بندی و مدت انبارداری بر میزان مواد جامد محلول میوه خرمالو رقم کرج

حرف‌های همسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD هستند.

A1 شاهد (بدون بسته‌بندی)، A2 ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی، A3 ظرف‌های نانو سیلیکات

Figure 4. Effect of packaging and storage time on total soluble solids content of persimmon fruits cv. Karaj

Similar letters represented no significant difference between means by LSD test at $P < 0.05$.

A1 Control (Without Packaging), A2 Polyethylene Packaging, A3 Nano-silicate Packaging

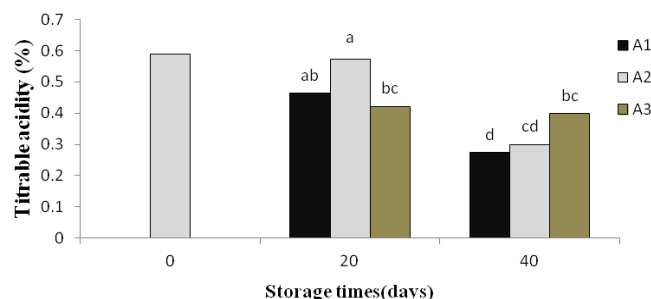
ظرف‌های بسته‌بندی تأثیر معنی‌داری بر میزان اسید قابل عیارسنجی نداشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد، میزان اسید قابل عیارسنجی در مدت انبارداری کاهش یافت ولی در ظرف‌های نانو میزان کاهش کمتر از شاهد و ظرف‌های پلی‌اتیلن

اسید قابل عیارسنجی (TA)

تأثیر مدت انبارداری در سطح ۱ درصد ($P \leq 0.01$) و اثر متقابل مدت انبارداری و نوع ظرف‌های بسته‌بندی در سطح ۵ درصد ($P \leq 0.05$) بر میزان اسید قابل عیارسنجی میوه خرمالو معنی‌دار بود ولی تیمار

عیارسنجی در ظرف‌های نانو می‌تواند به دلیل نفوذپذیری کم اکسیژن و میزان تنفس کمتر و در نتیجه جلوگیری از اکسایش (اکسیداسیون) اسیدهای آلی باشد (Yaman, 2002). بسته‌های نانو باعث حفظ اسید قابل عیارسنجی در میوه توت‌فرنگی نسبت به بسته‌بندی پلیمر معمولی شده است (Yang *et al.*, 2010). بسته‌های پلی‌اتیلن معمولی و نانو سیلیکات میزان اسید قابل عیارسنجی بیشتری را نسبت به بسته‌های نانو ذرات نقره در میوه گیلاس از دست دادند (Zandinavgaran *et al.*, 2014). همچنین بسته‌های نانو میزان اسید قابل عیارسنجی بیشتری را در مقایسه با شاهد در میوه توت‌فرنگی حفظ کرده است (Sogvar *et al.*, 2016).

معمولی بود. در مدت انبارداری بیست روز اختلاف معنی‌داری بین تیمار بسته‌بندی نانو و شاهد و تیمار بسته پلی‌اتیلن و شاهد مشاهده نشد ولی بین بسته‌های نانو و پلی‌اتیلن اختلاف معنی‌دار وجود داشت. در مدت انبارداری چهل روز اختلاف معنی‌دار بین بسته‌بندی نانو و شاهد مشاهده شد و بیشترین میزان کاهش اسید قابل عیارسنجی پس از چهل روز انبارداری مربوط به ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی و شاهد بود (شکل ۵). اسیدهای آلی هنگام رسیدن میوه به دلیل مصرف شدن در تنفس و تبدیل شدن به قندها کاهش می‌یابند و کاهش آن‌ها رابطه مستقیمی با فعالیت‌های سوخت‌وسازی (متابولیسم) میوه دارد. حفظ اسید قابل



شکل ۵. تأثیر بسته‌بندی و مدت انبارداری بر میزان اسید قابل عیارسنجی میوه خرمالو رقم کرج حرف‌های همسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD هستند. A1 شاهد (بدون بسته‌بندی)، A2 ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی، A3 ظرف‌های نانو سیلیکات
Figure 5. Effect of packaging and storage time on titratable acid content of persimmon fruits cv. Karaj Similar letters represented no significant difference between means by LSD test at $p < 0.05$. A1 Control (Without Packaging), A2 Polyethylene Packaging, A3 Nano-silicate Packaging

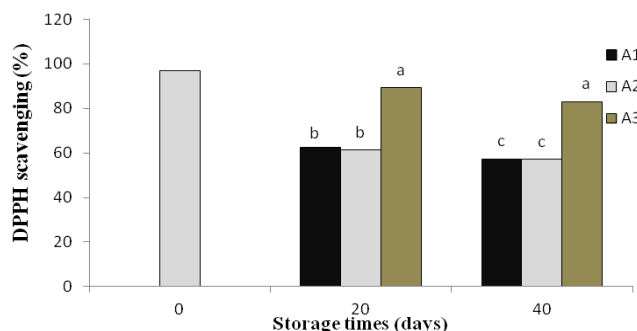
کاهش ظرفیت پاداکسندگی آنزیم‌ها و میزان اسکوربات در فرآیند پیری اغلب مربوط به کاهش توانایی روبرویی با آسیب اکسایشی (اکسیداتیو) است، پاداکسندگی موجود در میوه، بافت میوه را در برابر تنش‌ها و بیماری‌ها محافظت می‌کند (Hebert *et al.*, 2002). ظرفیت پاداکسندگی میوه‌ها و سبزی‌ها مربوط به ترکیب‌های آنزیمی (کاتالاز، پراکسیداز، اسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ردوگتاز و سوپراکسید دیسموتاز) و غیر آنزیمی (شامل ویتامین ث، فنل‌ها، فلاونوئیدها، کاروتنوئید) است. در نتیجه افزایش سوخت‌وساز (متابولیسم) اکسایشی، گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابند و گیاهان برای روبرویی با رادیکال‌های آزاد اکسیژن سامانه پاداکسندگی خود را فعال می‌کنند،

پاداکسندگی کل

نتایج نشان می‌دهد، تأثیر تیمار بسته‌بندی بر حفظ میزان پاداکسندگی کل میوه خرمالو معنی‌دار است ولی تأثیر مدت انبارداری و اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نیست (جدول ۱). در مدت انبارداری بیست روز نمونه‌های بسته‌بندی نانو به‌طور معنی‌داری میزان کاهش ظرفیت پاداکسندگی کمتری نسبت به تیمارهای شاهد و بسته‌بندی با پلی‌اتیلن داشتند. میزان ظرفیت پاداکسندگی کل میوه‌ها در مدت انبارداری چهل روز کاهش یافت ولی در این مدت بیشترین میزان کاهش مربوط به نمونه‌هایی بود که در بسته‌بندی پلی‌اتیلن و تیمار شاهد قرار داشتند و کمترین میزان کاهش مربوط به میوه‌های بسته‌بندی نانو بود (شکل ۶).

مصرف پاداکسندها می‌شوند (Muhammad *et al.*, 2009). بسته‌بندی نانو در مقایسه با ظرف‌های معمولی به‌طور معنی‌داری باعث حفظ پاداکسنده کل گیلاس رقم سیاه مشهد شده است که با این نتایج همخوانی دارد (Zandinavgaran *et al.*, 2014).

پاداکسندها با دادن الکترون به گونه‌های فعال اکسیژن اکسید می‌شوند و میزان‌شان کاهش می‌یابد (Spinardi, 2005). ذرات نانو ظرف‌های بسته‌بندی نانو باعث کاهش تبادل‌های گازی و تنفس میوه، کاهش سرعت پیری و سرعت تولید رادیکال‌های آزاد و درنهایت باعث کاهش



شکل ۶. تأثیر بسته‌بندی و مدت انبارداری بر میزان فعالیت پاداکسنده کل میوه خرمالو رقم کرج حرف‌های همسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD هستند. (A1 شاهد (بدون بسته‌بندی)، A2 ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی، A3 ظرف‌های نانو سیلیکات)

Figure 6. Effect of packaging and storage time on total antioxidant activity of persimmon fruits cv. Karaj Similar letters represented no significant difference between means by LSD test at $P < 0.05$. A1) Control (Without Packaging), A2) Polyethylene Packaging, A3) Nano-silicate Packaging

یاخته‌ای و تانن است (Taira *et al.*, 1997). بسته‌های نانو از تبادل گازهای اکسیژن و دی‌اکسیدکربن جلوگیری کرده و بازدارنده تولید اتیلن و در نتیجه بازدارنده تجزیه آن می‌شوند (Huand, 2003). در نتیجه رسیدن میوه خرمالو به تأخیر افتاده و میزان تانن محلول آن حفظ شده است.

آسکوربیک اسید (ویتامین ث)

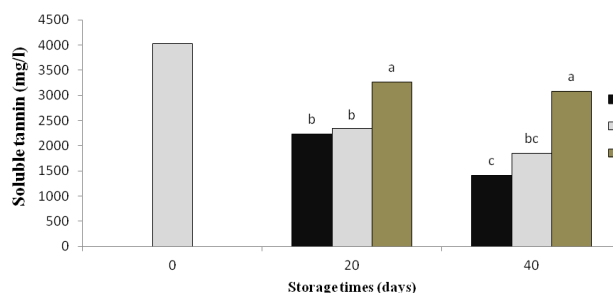
بنابر جدول تجزیه واریانس تأثیر تیمار بسته‌بندی و مدت انبارداری بر میزان آسکوربیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد ($P \leq 0.01$) و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد ($P \leq 0.05$) معنی‌دار است. در بیست روز پس از انبارداری اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های بسته نانو با شاهد و نمونه‌های بسته پلی‌اتیلنی با شاهد مشاهده نشد. در مدت انبارداری ۴۰ روز نمونه‌های بسته نانو به‌طور معنی‌داری دارای ویتامین ث بیشتری در مقایسه با نمونه‌های بسته پلی‌اتیلنی بودند، کمترین میزان ویتامین ث مربوط به شاهد (۱۲/۰۱ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) و بیشترین مربوط به بسته‌بندی نانو (۱۶/۸۶ میلی‌گرم

تانن محلول

تأثیر تیمار بسته‌بندی و مدت انبارداری در سطح احتمال ۱ درصد ($P \leq 0.01$) بر میزان تانن محلول معنی‌دار بود هرچند اثر متقابل آن‌ها بر میزان تانن محلول میوه خرمالو معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد، استفاده از بسته‌بندی نانو باعث حفظ تانن محلول و جلوگیری از کاهش آن شد. در مدت انبارداری بیست روز نمونه‌های بسته نانو به‌طور معنی‌داری میزان تانن محلول بیشتری در مقایسه با نمونه‌های بسته پلی‌اتیلنی داشتند بیشترین میزان تانن محلول در مدت انبارداری ۴۰ روز مربوط به بسته‌های نانو (۳۰۷۶ mg/l) بود و میزان کاهش تانن محلول در تیمار بسته‌بندی نانو کمتر از بسته‌بندی پلی‌اتیلن و شاهد بود و در این مدت انبارداری اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای بسته‌بندی پلی‌اتیلن و شاهد مشاهده نشد (شکل ۷). میزان تانن محلول از مشخصه‌های اصلی در ارتباط با کیفیت میوه خرمالو رسیده است. میزان تانن محلول در طول ذخیره‌سازی به‌طور مداوم کاهش می‌یابد که به علت تشکیل کمپلکس بین پکتین آزاد شده از دیواره

کاهش سرعت تولید رادیکال‌های آزاد شده در نتیجه از کاهش محتوای ویتامین ث در مدت انبارداری، میزان کاهش در ظرف‌های نانو کمتر از ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی و شاهد بود. بنابراین نتایج استفاده از ظرف‌های نانو باعث حفظ بهتر ویتامین ث در مدت انبارداری شد. به نظر می‌رسد در بسته‌های نانو به دلیل پایین بودن سطح اکسیژن زیان‌های آسکوربیک اسید به‌وسیله اکسید شدن کاهش می‌یابد زیرا اکسیژن باعث اکسایش و از بین رفتن آسکوربیک اسید می‌شود و کاهش آن می‌تواند باعث حفظ آسکوربیک اسید شود (Yang *et al.*, 2010). آسکوربیک اسید یک کوفاکتور در واکنش‌های آنزیمی است که در رویارویی با تنش‌های اکسایشی پس از برداشت مصرف می‌شود و میزان آن کاهش می‌یابد (B-Gol *et al.*, 2013). تیمارهایی که باعث کاهش تنفس می‌شوند، باعث است (Zandinavgaran *et al.*, 2014).

کاهش سرعت تولید رادیکال‌های آزاد شده در نتیجه از کاهش محتوای ویتامین ث در مدت انبارداری، میزان کاهش در ظرف‌های نانو کمتر از ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی و شاهد بود. بنابراین نتایج استفاده از ظرف‌های نانو باعث حفظ بهتر ویتامین ث در مدت انبارداری شد. به نظر می‌رسد در بسته‌های نانو به دلیل پایین بودن سطح اکسیژن زیان‌های آسکوربیک اسید به‌وسیله اکسید شدن کاهش می‌یابد زیرا اکسیژن باعث اکسایش و از بین رفتن آسکوربیک اسید می‌شود و کاهش آن می‌تواند باعث حفظ آسکوربیک اسید شود (Yang *et al.*, 2010). آسکوربیک اسید یک کوفاکتور در واکنش‌های آنزیمی است که در رویارویی با تنش‌های اکسایشی پس از برداشت مصرف می‌شود و میزان آن کاهش می‌یابد (B-Gol *et al.*, 2013). تیمارهایی که باعث کاهش تنفس می‌شوند، باعث

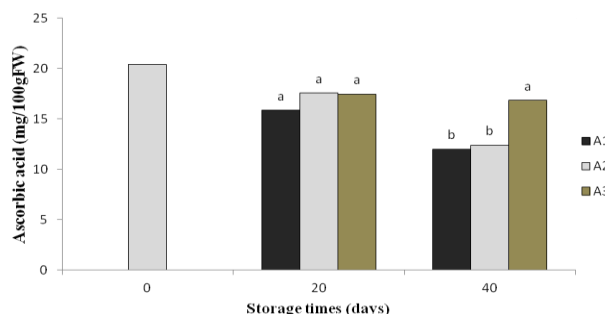


شکل ۷. تأثیر بسته‌بندی و مدت انبارداری بر میزان تانن محلول میوه خرمالو رقم کرج

حرف‌های همسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD هستند.

(A1 شاهد (بدون بسته‌بندی)، (A2 ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی، (A3 ظرف‌های نانو سیلیکات

Figure 7. Effect of packaging and storage time on soluble tannin content of persimmon fruits cv. Karaj
Similar letters represented no significant difference between means by LSD test at $P < 0.05$.
A1) Control (Without Packaging), A2) Polyethylene Packaging, A3) Nano-silicate Packaging



شکل ۸. تأثیر بسته‌بندی و مدت انبارداری بر میزان آسکوربیک اسید میوه خرمالو رقم کرج

حرف‌های همسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD هستند.

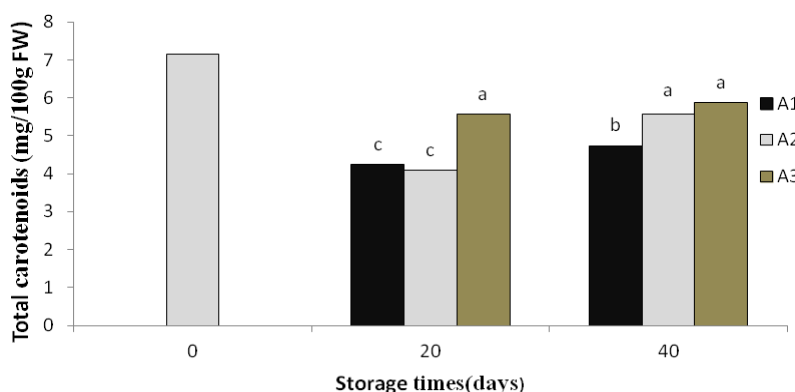
(A1 شاهد (بدون بسته‌بندی)، (A2 ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی، (A3 ظرف‌های نانو سیلیکات

Figure 8. Effect of packaging and storage time on ascorbic acid content of persimmon fruits cv. Karaj
Similar letters represented no significant difference between means by LSD test at $P < 0.05$.
A1) Control (Without Packaging), A2) Polyethylene Packaging, A3) Nano-silicate Packaging

کاروتنوئید کل

در زمینه کاروتنوئید کل هرچند اختلاف معنی داری بین تیمارهای بسته بندی، مدت انبارداری و اثر متقابل آن‌ها وجود نداشت ولی با این وجود میزان کاروتنوئید کل میوه خرمالو بسته بندی شده به وسیله بسته بندی نانو بالاتر از بسته بندی پلی اتیلن معمولی و شاهد بود (جدول ۱). در مدت انبارداری بیست روز اختلاف معنی داری بین نمونه های بسته نانو با شاهد و نمونه های بسته پلی اتیلنی مشاهده شد ولی در مدت

انبارداری چهل روز نمونه های بسته نانو و پلی اتیلن معمولی به طور معنی داری میزان کاروتنوئید بیشتری در مقایسه با شاهد داشتند (شکل ۹). کاروتنوئید در کلروپلاست‌ها به عنوان رنگیزه کمکی عمل می کنند اما نقش مهم تر آن‌ها نقش پاداکسندگی آن‌ها است که در تنش های اکسایشی پس از برداشت نقش پاداکسندگی دارند (Egert & Tevini, 2002). نتایج نشان می دهد، پوشش نانو تا حدودی باعث حفظ میزان کاروتنوئید کل و شاخص رنگ زمینه شده است.



شکل ۹. تأثیر بسته بندی و مدت انبارداری بر میزان کاروتنوئید کل میوه خرمالو رقم کرج حرف های همسان بیانگر نبود اختلاف معنی دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD هستند.

A1 شاهد (بدون بسته بندی)، A2 ظرف های پلی اتیلن معمولی، A3 ظرف های نانو سیلیکات

Figure 9. Effect of packaging and storage time on total carotenoid content of persimmon fruits cv. Karaj

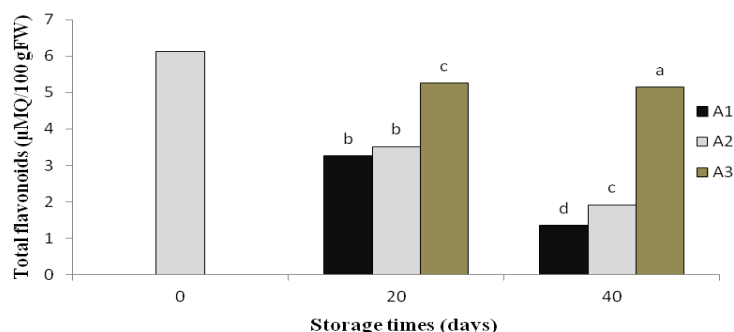
Similar letters represented no significant difference between means by LSD test at $P < 0.05$.

A1) Control (Without Packaging), A2) Polyethylene Packaging, A3) Nano-silicate Packaging

فلاونوئید کل

بنابر جدول ۱ تأثیر تیمار بسته بندی و مدت انبارداری و اثر متقابل آن‌ها بر میزان فلاونوئید کل میوه خرمالو در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است. در مدت انبارداری بیست روز نمونه های بسته نانو به طور معنی داری میزان فلاونوئید بیشتری نسبت به شاهد و نمونه های بسته پلی اتیلن دارند، بیشترین فلاونوئید کل در مدت انبارداری چهل روز مربوط به میوه هایی بود که در ظرف های نانو نگهداری شده بودند و اختلاف معنی دار بین نمونه های بسته نانو با شاهد و نمونه های بسته پلی اتیلن و شاهد مشاهده می شود (شکل ۱۰). ظرف های نانو بازدارنده ورود اکسیژن و خروج دی اکسید کربن شده و در نتیجه میزان تنفس، سرعت

پیری و سرعت تولید رادیکال های آزاد کاهش یافته و مصرف پاداکسندها (از جمله فلاونوئیدها) کاهش می یابد (Muhammad *et al.*, 2009) فلاونوئیدها از پاداکسندها و متابولیت های ثانویه مهم گیاهی هستند که نقش مهمی در از بین بردن رادیکال های آزاد اکسیژن دارند (Fiorentino *et al.*, 2009). میزان فلاونوئید در میوه های نارس بیشتر از میوه های رسیده است (Ortuno *et al.*, 1997). کاهش میزان فلاونوئید کل در مدت انبارداری نشانه افزایش رادیکال های آزاد اکسیژن در پاسخ به تنش های فیزیولوژیکی ضمن رسیدن و پیری است. فلاونوئیدها ممکن است توسط رادیکال های آزاد اکسیژن، اکسید شده و تخریب شوند (Rodrigues *et al.*, 2010).



شکل ۱۰. تأثیر بسته‌بندی و مدت انبارداری بر میزان فلاونوئید کل میوه خرمالو رقم کرج حرف‌های همسان بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD هستند.

(A1 شاهد (بدون بسته‌بندی)، (A2 ظرف‌های پلی‌اتیلن معمولی، (A3 ظرف‌های نانو سیلیکات

Figure 10. Effect of packaging and storage time on total flavonoids content of persimmon fruits cv. Karaj
Similar letters represented no significant difference between means by LSD test at $P < 0.05$.
A1) Control (Without Packaging), A2) Polyethylene Packaging, A3) Nano-silicate Packaging

قابل عیارسنجی جلوگیری کرده است و باعث حفظ کیفیت میوه و افزایش عمر انبارداری میوه خرمالو شده است، همچنین با توجه به قیمت مناسب و تولید داخلی بسته‌بندی نانو به نظر می‌رسد استفاده گسترده آن در پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها صرفه اقتصادی داشته باشد.

سپاسگزاری

از مساعدت‌های بی‌شائبه جناب آقای ایرج حسین علی‌زاده بازرگان مدیرعامل شرکت نانو بسپار آیتک تهران برای تأمین بسته‌های مورد استفاده در پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

بسته‌بندی حاوی نانو ذرات به‌طور موفقیت‌آمیزی برای نگهداری میوه خرمالو رقم کرج به مدت چهار روز در دمای ۱ درجه سلسیوس استفاده قرار شد. نتایج نشان داد، پوشش نانو سیلیکات در حفظ کیفیت میوه نسبت به بسته‌بندی معمولی مؤثرتر بوده است و باعث افزایش ماندگاری و حفظ خواص کیفی خرمالو شده است. به نظر می‌رسد پوشش نانو با کاهش ورود اکسیژن و خروج دی‌اکسیدکربن میزان کاهش وزن و قهوه‌ای شدن را کاهش داده و موجب حفظ تانن محلول، پاداکسندۀ کل، آسکوربیک اسید، فلاونوئید کل شده و از تغییر بیشتر مواد جامد محلول و اسید

REFERENCES

1. Arnal, L. & Del Rio, M. (2004). Effect of cold storage and removal astringency on quality of persimmon fruit (*Diospyros kaki* L) cv. Rojo Brillante. *Food Science and Technology*, 10, 179-185.
2. Asghari, M. R., Hajitagilo, & Jalilimarandi, R. (2009). Postharvest application of salicylic acid before coating with chitosan affects the pattern of quality changes in table grape during cold storage. In: *Proceedings of 16th International Postharvest Symposium*, Antalya, Turkey, pp.8-12.
3. Ashournezhad, M. & Ghasemnezhad, M. (2012). Effects of cellophane-film packaging and cold storage on the keeping quality and storage life of loquat fruit (*Eriobotrya japonica*). *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 2, 95-102. (in Farsi)
4. Bagheri, M., Esna-Ashari, M. & Ershadi, A. (2015). Effect of postharvest calcium chloride treatment on the storage life and quality of persimmon fruits (*Diospyros kaki* Thunb) cv. Karaj. *Horticultural Science and Technology*, 2, 15-26.
5. B-Gol, N., Patel, R., Rao, P. & Ramana, T. V. (2013). Improvement of quality and shelf life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 85, 185-195.
6. Brody, A. L. (2006). Nanotechnology food packaging. *Food Technology*, 3, 92-94.
7. Damm, C., Neumann, M. & Munstedt, H. (2007). Properties of nanosilver coatings on polymethyl methacrylate. *Soft Mater*, 3, 71-88.
8. Dehghan, J. & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)-quercetin complex: Synthesis, spectral characterisation and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 131, 422-426.

9. Egert, M. & Tevini, M. (2002). Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). *Envirimental and Experimental Botany*, 48, 43-49.
10. Fiorentin, A., Dabrosca, B., Pacifico, S., Mastellone, C., Scognamiglio, M. & Monaco, P. (2009). Identification and assessment of antioxidant capacity of phytochemicals from kiwi fruits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 57, 4148-4155.
11. Fry, S. C. (1998). Oxidative scission of plant cell wall polysaccharides by ascorbate-induced hydroxyl radicals. *Biochemistry Journal*, 322, 507-515.
12. Han, J., Tian, S. P., Meng, X. H. & Ding, Z. H. (2006). Response of physiologic metabolism and cell structures in mango fruits to exogenous methyl salicylate under low temperature stress. *Physiologia Plantarum*, 128, 125-133.
13. Hebert, C., Charles, M. T., Gauthier, L., Willemot, C., Khanizadeh, S. & Cousineau, J. (2002). Strawberry proanthocyanidins: biochemical markers for Botrytis cinerea resistance and shelf-life predictability. *Acta Horticulturae*, 567, 659-662.
14. Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Valle, V. D. Velez, D. & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananasa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110, 428-435.
15. Hu, A. W., Fu, Z. H. (2003). Nano technology and its application in packaging and packaging machinery. *Packaging Engineering*, 24, 22-24.
16. 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, 1589-1596.
17. Iranzo, B., Pertegaz, J. C. & Balsalobre, A. P. (1984). Characterization and measurement of astringency and tannin content in Rojo Brillanteg persimmon quality and systems. *Acta Horticulturae*, 601, 227-231.
18. Jalilimarandi, R. (2004). *Postharvest Physiology (Handling and storage of fruits, vegetables and ornamental plants)*. Publishers Jihad Urmia University. (2nd ed.). p. 276. (in Farsi)
19. Kaijv, M., Sheng, L. & Chao, C. (2006). Antioxidation of flavonoids of Green Rhizome. *Food Science and Technology*, 27, 110-115.
20. Khademi, O., Zamani, Z., Mostofi, Y., Kalantari, S. & Ahmadi, A. (2012). Extending storability of persimmon fruit cv. Karaj by postharvest application of salicylic acid. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 1067-1074.
21. Lagaron, M. (2006). Food engineering and ingredients. *Food Chemistry*, 2, 50-51.
22. Ling, Z., Sining, L. V., Guiping, He., Qiang, He. & Bi, Shi. (2011). Effect of PE/Ag₂O nanopackaging on the quality of apple slices. *Journal of Food Quality*, 34, 171-176.
23. Li, H., Li, F., Wang, L., Sheng, J., Xin, Z., Zhao, L., Xiao, H., Zheng, Y. & Hu, Q. (2009). Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube. *Food Chemistry*, 114, 547-562.
24. Manning, K. (1993). *Soft fruit [A]. In Biochemistry of fruit ripening*. (pp. 347-373). London: Chapman and Hall.
25. Martínez-Romero, D., Alburquerque, N., Valverde, J. M., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D. & Serrano, M. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1), 93-100.
26. Meng, X., Li, B., Liu, J. & Tian, S. (2007). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry*, 106, 501-508.
27. Mirdehghan, S. H., Rahemi, M., Castillo, S., Martinez-Romero, D., Serrano, M. & Valero, D. (2007). Pre-storage application of polyamines by pressure or immersion improves shelf life of pomegranate stored at chilling temperature by increasing endogenous polyamine levels. *Postharvest Biology and Technology*, 44(1), 26-33.
28. Muhammad, J. A., Sigh, Z. & Ahmad, S. Kh. (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, 1024-103.
29. Oz, A. T. (2011). Combined effects of 1-methyl cyclopropene (1-MCP) and modified atmosphere packaging (MAP) on different ripening stages of persimmon fruit during storage. *African Journal of Biotechnology*, 31, 807-814.
30. Ortuno, A., Reynaldo, I., Fuster, M. D., Botia, J., Puig, D. J., Sabater, F., Lindon, A. Q., Porras, I. & Del Rio, J. L. (1997). Citrus cultivars with high flavonoid contents in the fruits. *Sicentia Horticulturae*, 68, 231-236.
31. Rodrigues, A. S., Perez-Gregorio, M., Falcon, M. G., Gandara, J. S. & Almeida, D. P. (2010). Effect of post-harvest practices on flavonoid content of red and white onion cultivars. *Food Control*, 21, 878-884.
32. Salvador, A., Arnal, L., Monterde, A. & Cuquerella, J. (2004). Reduction of Chilling Injury Symptoms in Persimmon Fruit cv. Rojo Brillante by 1-MCP. *Postharvest Biology and technology*, 33, 285-291.

33. Silvestre, C. & Duraccio, D. (2011). Food packaging based on polymer nano-materials. *Polymer Science Journal*, 110, 775-795.
34. Sanchis, E., Gonzalez, S., Ghidelli, Ch., Sheth, C., Mateos, M., Palou, L. & Perez-Gago, M. B. (2015). Browning inhibition and microbial control in fresh-cut persimmon (*Diospyros kaki* Thunb. cv. Rojo Brillante) by apple pectin-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 112, 186-193.
35. Spinardi, A. M. (2005). Effect of harvest date and storage on antioxidant systems in pears. *Acta Horticulturae*, 682, 1125-1134.
36. Taira, S. (1996). Linskens, H. F. & Jackson, J. F (Eds). *Astringency in Persimmon*. In: "Modern Method of Plant Analysis, Fruit Analysis". (pp. 97-110.) Springer-Verlang, Berlin.
37. Taira, S., Ono, M. & Matsumoto, N. (1997). Reduction of persimmon Astringency by complex formation between pectin and tannin. *Postharvest Biology and Technology*, 12, 265-271.
38. Utracki, L. A. (2004). *Clay-containing polymeric nanocomposites*, Vols. 1 and 2 (pp.206-318) Rapra Technology.
39. Wang, L., Chen, S., Kong, W., Li, S. & Archbold, D. D. (2006). Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and affects the antioxidant system and heat shock protein of peaches during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 224-251.
40. Wang, Z., Ying, T., Bao, B. & Huang, X. (2005). Characteristics of fruit ripening in tomato mutant epi. *Journal of Zhejiang University Science*, 6, 502-207.
41. Yaman, O. & Bayoindirli, L. (2002). Effects of an edible coating and cold storage on shelf life and quality of cherries. *Lebensmittel- Wissenschaft and Technologie*, 35, 146-150.
42. 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 °C. *Journal of Food Science*, 75, 236-240.
43. Zandi, K. H., Weisany, W., Ahmadi, H., Bazargan, I. & Naseri, L. (2013). Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of strawberry during storage. *Environment Pharmacology and Life Sciences*, 2(5), 28-36.
44. Zandinavgaran, Kh., Naseri, L. & Esmaili, M. (2014). Effect of packaging material containing nano-silver and silicate clay particles on postharvest quality attributes of sweet cherry cv. Syaah Mashhad. *Iranian Journal Food Science and Technology*, 24, 89-102. (in Farsi)
45. Zhou, L., Sining, L. V., Guiping, H. E., Qiang, H. E. & Bi, Shi. (2011). Effect of PE/AG2O nano-packaging on the quality of apple slices. *Journal of Food Quality*, 34, 171-176.