

The effect of postharvest application of nanocellulose containing the extract Myrtle on the quality characteristics and shelf life of Paros strawberry fruit

ABSTRACT

Strawberry is a highly perishable fruit susceptible to mechanical and physiological damage, exhibiting rapid metabolism and deterioration during storage. This study aimed to investigate the effects of nanocellulose (0 and 1.5%) in conjunction with myrtle extract (0, 2, and 4%) on extending the postharvest life of strawberries. The experiment was conducted as a factorial in a completely randomized design with three replications at 4 °C and 90% relative humidity. The treatments consisted of nanocellulose (0 and 1.5%), myrtle extract (0, 2, and 4%), and the combined application of nanocellulose at 1.5% and myrtle extract at 2 and 4%. Physiological and biochemical characteristics were evaluated at 0, 6, 12, and 18 days of storage. Analysis of variance revealed significant interactions between time, nanocellulose, and myrtle extract for weight loss, ascorbic acid, flavonoids, anthocyanins, antioxidant capacity, and polyphenol oxidase activity. Significant interactions between time and myrtle extract were observed for total phenolics, firmness, Titratable acidity and pH. The interaction between time and nanocellulose was significant for Titratable acidity, while the interaction between nanocellulose and myrtle extract was significant for pH. The results indicated that treated fruits exhibited higher firmness, total phenolic and flavonoid content, antioxidant activity, ascorbic acid, and titratable acidity, while they showed lower PH and weight loss than the control group. The lowest weight loss and polyphenol oxidase activity along with the highest ascorbic acid content were observed in fruits treated with 1.5% nanocellulose and 2% myrtle extract. The lowest anthocyanin content was observed in fruits treated with 1.5% nanocellulose, while the highest firmness and ascorbic acid content were observed in fruits treated with 2% myrtle extract. Overall, the combined treatment of 1.5% nanocellulose and 2% myrtle extract effectively preserved ascorbic acid, inhibited Enzyme polyphenol oxidase activity, and change weight loss. Considering the economic importance of strawberries and their high postharvest losses, the application of this treatment is recommended to improve the quality and extend the shelf life of this valuable product.

Key words: *Coating, Extract, Myrtle nanocellulose, Phenolic compounds, Strawberry.*

تأثیر کاربرد پس از برداشت نانوسلولز حاوی عصاره مورد بر ویژگی‌های کیفی و ماندگاری میوه توت‌فرنگی رقم پاروس

چکیده

توت‌فرنگی به عنوان یک میوه حساس، مستعد آسیب‌های مکانیکی و فیزیولوژیکی بوده و به دلیل متابولیسم بالا، سرعت تخریب آن در طول دوره نگهداری زیاد است. پژوهش حاضر با هدف افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی، به بررسی تاثیر نانوسلولز (در دو سطح صفر و ۱/۵ درصد) به همراه عصاره مورد (در سه سطح صفر، ۲ و ۴ درصد) پرداخته است. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد انجام شد. تیمارها شامل نانوسلولز (صفر و ۱/۵ درصد)، عصاره مورد (صفر، ۲ و ۴ درصد) و ترکیب نانوسلولز ۱/۵ درصد و عصاره مورد ۲ و ۴ درصد بودند. ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی توت‌فرنگی در زمان‌های صفر، ۶، ۱۲ و ۱۸ روز انبارمانی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس

نشان داد که اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر کاهش وزن، آسکوربیک اسید، فلاونوئید، آنتوسیانین، ظرفیت آنتی اکسیدانی و پلی فنل اکسیداز معنی دار بود. اثر متقابل زمان و عصاره مورد بر فنل کل، سفتی، اسیدیته قابل تیتراسیون و pH و اثر متقابل زمان و نانوسلولز بر اسیدیته قابل تیتراسیون معنی دار بود. همچنین، اثر متقابل نانوسلولز و عصاره مورد بر pH معنی دار بود. نتایج نشان داد که میوه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه شاهد، سفتی، محتوای فنل و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی اکسیدانی، آسکوربیک اسید و اسیدهای قابل تیتراسیون بالاتری و PH و کاهش وزن کمتری داشتند. در میوه‌های تیمار شده با ترکیب نانوسلولز ۱/۵ درصد + ۲ درصد عصاره مورد، کمترین میزان کاهش وزن و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و بیشترین میزان آسکوربیک اسید مشاهده شد. کمترین میزان آنتوسیانین در میوه‌های تیمار شده با نانوسلولز ۱/۵ درصد و بیشترین میزان سفتی و آسکوربیک اسید در میوه‌های تیمار شده با ۲ درصد عصاره مورد مشاهده شد. به طور کلی، تیمار با ترکیب نانوسلولز ۱/۵ درصد + ۲ درصد عصاره مورد با حفظ آسکوربیک اسید، مهار آنزیم پلی فنل اکسیداز و تغییر کاهش وزن، تأثیر مثبتی بر کیفیت توت‌فرنگی داشت. با توجه به اهمیت اقتصادی توت‌فرنگی و میزان بالای ضایعات آن، استفاده از این تیمار به منظور بهبود ویژگی‌های این محصول ارزشمند توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: پوشش، ترکیبات فنلی، توت‌فرنگی، عصاره، نانوسلولز

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa*) به عنوان یک میوه مهم اقتصادی با سطح زیر کشت بالا، به دلیل عطر، طعم و مزه جذاب خود در سطح جهانی شناخته شده است (Shahzad Salim et al., 2021). این میوه حاوی مقادیر قابل توجهی از ویتامین‌ها، آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی است که نقش حیاتی در رژیم غذایی و سلامت انسان ایفا می‌کنند (Rux et al., 2016). با این وجود، کیفیت و عمر انبارمانی میوه‌ها و سبزیجات، از جمله توت‌فرنگی، تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند کاهش آب، قهوه‌ای شدن آنزیمی، آسیب بافتی و فرآیند پیری کاهش می‌یابد (Atress et al., 2010). تولید سالیانه توت‌فرنگی در جهان حدود ۴/۵ میلیون تن است، اما به دلیل رشد کپک بوتریتیس سینرا، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد این محصول دچار فساد شده و غیرقابل استفاده می‌شود (Villa-Rojas., 2012). بنابراین، توسعه روش‌های نوین و سالم برای افزایش ماندگاری و کاهش پوسیدگی‌های قارچی در توت‌فرنگی ضروری است.

امروزه روش‌های متعددی برای افزایش ماندگاری توت‌فرنگی تازه وجود دارد، از جمله اتمسفر اصلاح شده (Rux et al., 2016)، جذب رطوبت (Le Nguyen et al., 2022)، جذب اتیلن (Nguyen et al., 2016)، تیمارهای شیمیایی (Baranyai et al., 2020)، پوشش‌های خوراکی (Hazarika et al., 2019) و تابش (de Jesus Filho et al., 2018). در این میان، فیلم‌های خوراکی یا پوشش‌ها به عنوان یک روش نوآورانه، سازگار با محیط زیست و غیرسمی برای نگهداری مواد غذایی مطرح هستند. این پوشش‌ها با ایجاد یک مانع فیزیکی بر روی سطح سبزیجات و میوه‌ها، کیفیت پس از برداشت را حفظ و ماندگاری آنها را افزایش می‌دهند. سلولز به عنوان یک ماده اولیه مناسب برای فرمولاسیون فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی شناخته شده است، زیرا پلیمری زیستی فراوان، تجدیدپذیر، غیرسمی و ارزان است (Souza et al., 2019; Gómez et al., 2016).

“مورد” (*Myrtus communis*) گیاهی دارویی با سابقه طولانی در طب سنتی است که به دلیل خواص دارویی متنوع خود همواره مورد توجه محققان بوده است. این گیاه همیشه سبز، بومی مناطق آسیایی و مدیترانه‌ای است. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که عصاره‌های مختلف گیاه مورد حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی قوی مانند فلاونوئیدها، اسیدهای فنولیک، تانن‌ها و آلفاتوکوفرول هستند (مزدستان و همکاران، ۱۳۹۴). Bahadirlı et al. (2020) در مطالعه‌ای اثربخشی اسانس‌های فرار مشتق‌شده از برگ‌های مورد را در جلوگیری از تغییر در استحکام میوه‌های لوکوات نشان دادند. همچنین، Hernandez-Lopez et al. (2020) در بررسی اثر پوشش خوراکی نانوکیتوزان حاوی ترکیب غالب گیاه مورد (آلفاپینن) بر حفظ کیفیت پس از برداشت فلفل به این نتیجه رسیدند که در پایان دوره انبارمانی، کاهش وزن برای فلفل‌های تیمار شده کاهش یافته و میزان فلاونوئیدها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن تغییر نکرد.

پیشینه پژوهش

پوشش‌های کامپوزیت نانوسلولز، کربوکسی‌متیل سلولز و هیدروکسی‌اتیل سلولز با عصاره و اسانس گیاهان دیگر نیز وجود دارند. برای نمونه، Liu et al. (2021) در بررسی اثرات هیدروکسی‌اتیل سلولز و سدیم آلزینات حاوی عصاره ضایعات مارچوبه، به طور قابل توجهی تغییر رنگ (ΔE) را به تأخیر انداختند، کاهش وزن را کاهش دادند و فنول و فلاونوئید کل را حفظ کردند. با توجه به اهمیت توت‌فرنگی به عنوان یک میوه پرمصرف و حساس به فساد، پژوهش‌های متعددی نیز در زمینه استفاده از پوشش‌های خوراکی برای افزایش ماندگاری آن انجام شده است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعه Shahbazi (2018) اشاره کرد که نشان داد استفاده از کربوکسی‌متیل سلولز و پوشش کیتوزان حاوی اسانس نعناع می‌تواند به عنوان یک عامل ضد میکروبی بر روی سطح توت‌فرنگی عمل کرده و به افزایش ماندگاری آن کمک کند. همچنین، Montero et al. (2021) در بررسی اثر نانوسلولز و اسانس دارچین بر انبارمانی توت‌فرنگی به این نتیجه رسیدند که میوه‌های بسته‌بندی شده در پوشش‌هایی با ۰/۵ درصد وزنی نانوسلولز پس از ۱۵ روز نگهداری، کاهش وزن کمتری دارند، تازگی بهتری دارند و بدون حمله قارچی هستند. Dasilva et al. (2019) در پژوهشی پوشش نانوسلولز همراه با اسانس علف لیمو را بر انبارمانی میوه شاه‌توت مورد بررسی قرار دادند. میوه‌های شاه‌توت پوشش داده شده با نانوسلولز و اسانس علف لیمو در غلظت‌های ۰/۲ و ۰/۶ درصد بیشترین مقادیر اسیدیته را نشان دادند که مقادیر بالای اسیدیته نشان دهنده وجود اسیدهای آلی است که به آن طعم می‌بخشد. Dong et al. (2015) در بررسی اثر کاربرد نانوسلولز و کیتوزان در پس از برداشت توت‌فرنگی به این نتیجه رسیدند که پوشش‌های کامپوزیت تأثیر مثبتی بر حفظ غلظت‌های بالاتر فنل کل داشتند. آنتوسیانین‌ها در میوه‌های شاهد به دلیل فرآیندهای پیری کاهش یافتند.

امروزه، با افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی تازه و با کیفیت، استفاده از روش‌های نوین برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت این محصولات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از این روش‌ها، استفاده از پوشش‌های خوراکی است که به عنوان یک لایه محافظ بر روی سطح میوه‌ها عمل کرده و از آنها در برابر عوامل مختلفی مانند کاهش وزن، تغییر رنگ، و فساد میکروبی محافظت می‌کنند. در این راستا، پژوهش‌های متعددی در زمینه استفاده از پوشش‌های خوراکی مختلف برای افزایش ماندگاری میوه‌ها انجام شده

است. به عنوان مثال، (Medina-Jaramillo *et al.* (2020) دریافتند که پوشش‌های نانوالیاف آلژینات/سلولز می‌توانند ظاهر زغال اخته را بهبود بخشیده و سرعت تنفس و کاهش وزن آن را طی ۲۱ روز انبارمانی در یخچال کاهش دهند. در مورد گلابی، (Ruffo Roberto *et al.* (2019) نشان دادند که پوشش‌های کیتوزان تقویت‌شده با نانوسلولز کریستالی می‌توانند تأخیر در تخریب کلروفیل، جلوگیری از قهوه‌ای شدن داخلی، کاهش لکه‌های پیری و بهبود سفتی میوه را در ارقام آنجو و بارتلت هم در دمای اتاق و هم در انبارمانی سرد به همراه داشته باشند.

در سایر میوه‌ها نیز پژوهش‌های مشابهی انجام شده است. برای مثال، (Răpă *et al.* (2024) نشان دادند که کربوکسی‌متیل سلولز مشتق‌شده از ساقه موز می‌تواند عمر مفید توت‌فرنگی را افزایش دهد. همچنین، (Miranda *et al.* (2024) دریافتند که پوشش نانوکامپوزیت با استفاده از نانوالیاف سلولز حاصل از ضایعات سیر همراه با کیتوزان و نانوکورکومین می‌تواند عمر مفید موز را ۸ روز افزایش دهد. با توجه به فقدان مطالعات جامع در خصوص تأثیر تیمارهای کامپوزیت نانوسلولز حاوی عصاره گیاه "مورد" بر حفظ کیفیت و ماندگاری توت‌فرنگی، هدف اصلی این پژوهش، بررسی اثر این تیمارها بر خصوصیات کیفی و عمر پس از برداشت توت‌فرنگی می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش:

آماده‌سازی نمونه

میوه‌های توت‌فرنگی رقم پاروس از یک گلخانه تجاری در استان کردستان شهرستان مریوان دارای طول جغرافیایی شرقی حداکثر بین ۴۵ دقیقه و ۴۶ درجه و حداقل بین ۵۸ دقیقه و ۴۵ درجه و عرض شمالی حداکثر ۴۸ دقیقه و ۳۵ درجه و حداقل بین ۱۹ دقیقه و ۳۵ درجه نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد که در ارتفاع ۱۳۲۰ متری دریا قرار دارد در مرحله بلوغ تجاری (۷۵ درصد رنگ قرمز) برداشت و در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان منتقل شدند. پس از آن، میوه‌های سالم، هم‌اندازه و عاری از هرگونه علامت بیماری انتخاب و به مدت پنج دقیقه در محلول مورد نظر غوطه‌ور شدند. سپس میوه‌ها در دمای اتاق خشک

شده و برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد قرار گرفتند. برای هر تیمار، ۱۲۰ میوه در نظر گرفته شد که در هر مرحله اندازه‌گیری، ۳۰ عدد میوه (۱۰ عدد در هر تکرار در هر ظرف) برای هر تیمار مورد استفاده قرار گرفت.

تهیه عصاره از گیاه "مورد"

برای تهیه عصاره مورد نظر، ابتدا ۱۰ گرم از برگ‌های خشک و آسیاب شده گیاه را به فلاسک‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد اضافه کردند. سپس فلاسک‌ها به مدت ۷۲ ساعت در اتاقک روی شیکر قرار داده شدند تا عصاره‌گیری به خوبی انجام شود. پس از گذشت این مدت زمان، محتویات فلاسک‌ها از کاغذ صافی عبور داده شد تا ذرات جامد از محلول جدا شوند. برای حذف متانول و تغلیظ عصاره، محلول به دستگاه تقطیر تحت خلاء منتقل شد. این کار باعث تبخیر متانول در دمای پایین و حفظ ترکیبات فعال موجود در عصاره می‌شود. در نهایت، عصاره خالص شده برای تهیه غلظت‌های مورد نظر مورد استفاده قرار گرفت (Garcia-Salas *et al.*, 2010).

آماده سازی عصاره ذرات نانوسلولز بارگذاری شده

در این پژوهش، ژل نانوسلولز از شرکت پلیمر نانو نوین (گرگان، ایران) تهیه شد. برای تهیه محلول پوشش، ابتدا نانوسلولز به میزان ۱/۵ درصد به مدت یک ساعت همزده شد تا به خوبی در آب پخش شود. سپس گلیسرول به میزان ۲۰ درصد به عنوان نرم‌کننده به محلول اضافه شد تا پوشش نهایی انعطاف‌پذیرتر باشد. در ادامه، عصاره مورد در غلظت‌های ۲ و ۴ درصد به محلول اضافه گردید. برای بهبود پخش عصاره و ایجاد یکنواختی در محلول، مخلوط حاصل به مدت کوتاهی سونیک شد. محلول پوشش آماده شده بلافاصله پس از تهیه مورد استفاده قرار گرفت.

کاهشی وزن

نمونه‌های انتخاب شده برای این آزمون به طور جداگانه و ثابت در ظرف‌های برچسب‌گذاری شده نگهداری شدند. از هر ظرف ۱۰ میوه انتخاب و در مجموع ۳۰ میوه برای هر تیمار (با سه تکرار) بررسی شد. در روز اول پس از اعمال تیمارها، وزن اولیه نمونه‌ها با ترازوی

دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم) مدل (G120) اندازه‌گیری و ثبت شد. در روزهای بعدی نیز وزن نمونه‌ها به همین روش اندازه‌گیری شد. اختلاف وزن بین وزن اولیه و وزن اندازه‌گیری شده در هر مرحله، نشان‌دهنده میزان کاهش وزن نمونه‌ها در طول زمان بود.

اسیدیته قابل تیتراسیون

اسیدیته میوه بر اساس درصد سیتریک اسید موجود در آن، با استفاده از روش تانسیومتری (Tensiometry) که توسط Tanada (2005) palmu & Grosso توصیف شده است، اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۵ گرم از نمونه میوه مورد استفاده قرار گرفت. پس از هموژنیزه کردن نمونه، حجم آن با افزودن آب مقطر به ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال، pH محلول تا ۸/۱ تنظیم گردید. اسیدیته قابل تیتر به صورت درصد سیتریک اسید بیان شد (Ehtesham Nia *et al.*, 2021).

$$100 \times \left[\frac{\text{حجم سود مصرفی} \times \text{نرمالیت سود مصرفی} \times 0.064}{\text{اسیدیته قابل تیتراسیون}} \right]$$

سفتی بافت

سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه سفتی سنج (Lutron Taiwan FG 5020) و پروب ۳ میلی‌متری، با یک بار نفوذ میله نفوذ کننده به درون هر میوه انجام شد. سفتی بافت میوه بر اساس بیشینه نیروی لازم برای نفوذ در گوشت میوه و بر حسب نیوتن بیان شد (Nguyen *et al.*, 2020).

اندازه‌گیری pH میوه

میزان pH آب میوه با استفاده از دستگاه pH متر (مدل ۳۲۲۰) اندازه‌گیری شد. در هر نوبت اندازه‌گیری، ابتدا دستگاه با استفاده از بافرهای ۴ و ۷ کالیبره شد. سپس الکتروود دستگاه داخل آب میوه قرار داده شد و پس از ثابت شدن عدد نمایش داده شده، عدد pH ثبت شد (Khan *et al.*, 2008).

آسکوربیک اسید

میزان آسکوربیک اسید در نمونه‌های توت‌فرنگی مطابق با روش تیتراسیون ۲ و ۶ دی‌کلروفنول ایندوفنول (He *et al.*, 2018) برآورد شد. به طور خلاصه، ۵ گرم توت‌فرنگی در ۵۰ میلی لیتر محلول اگزالیک اسید با غلظت ۰/۰۲ گرم در میلی لیتر همگن شد و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس و دور ۱۵۰۰۰ سانتی‌رفیوژ گردید. ۱۰ میلی لیتر از مایع رویی با محلول ۰/۱ درصد ۲ و ۶ دی‌کلروفنول ایندوفنول تا ظهور رنگ صورتی دائمی تیتر شد. غلظت آسکوربیک اسید با توجه به حجم تیتراسیون ۲ و ۶ دی‌کلروفنول ایندوفنول و با استفاده از فرمول زیر محاسبه و به صورت میلی گرم در صد گرم وزن میوه بیان شد:

$$AA = (V \times F \times Y \times 100) / (W \times T)$$

AA: میزان آسکوربیک اسید در هر ۱۰۰ گرم وزن میوه تازه، V: میلی‌لیتر ایندوفنول مصرف شده در تیتراسیون، F: عامل ایندوفنول که برای محلول استاندارد آسکوربیک اسید برابر با ۰/۲۵ است، Y: میلی‌لیتر حجم مخلوط میوه و اگزالیک اسید، W: گرم وزن نمونه، T: میلی‌لیتر حجم نمونه

تهیه عصاره توت‌فرنگی برای فنل کل و فلاونوید کل

ابتدا ۲/۵ گرم از میوه توت‌فرنگی با استفاده از نیتروژن مایع به طور کامل پودر شد. سپس ۳۷/۵ میلی‌لیتر متانول حاوی ۰/۲ مولار استیک اسید به پودر توت‌فرنگی اضافه گردید و به مدت دو ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در حمام آب گرم (بن ماری) قرار داده شد. پس از این مرحله، مخلوط حاصل از صافی عبور داده شد و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. مایع رویی شفاف به دست آمده برای تجزیه و تحلیل صفات مورد بررسی، یعنی محتوای فنل کل و فلاونوئید، در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شد.

محتوای فنل کل

محتوای فنل کل با استفاده از معرف فولین سیکالتیو با استفاده از روش (He et al. (2018) مورد بررسی قرار گرفت. به طور خلاصه برای هر لوله آزمایش ۲۰۰ میکرولیتر عصاره، ۲ میلی‌لیتر از معرف فولین سیکالتیو ۱۰ درصد و ۴ میلی‌لیتر سدیم کربنات یک مولار اضافه شد. لوله آزمایش به مدت دو ساعت در دمای اتاق در تاریکی قرار گرفت. سپس میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. گالیک اسید در غلظت‌های مختلف (۲۰۰۰، ۱۵۰۰، ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۶۲/۵، ۳۱/۲۵، ۰) به‌عنوان استاندارد اضافه شد و نتایج به صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم گالیک اسید وزن تر میوه بیان شد.

ارزیابی محتوای فلاونوید کل

محتوای فلاونوئیدها با استفاده از روش رنگ‌سنجی (He et al. (2018) اندازه‌گیری شد. در این روش، ۱۰۰۰ میکرولیتر عصاره توت‌فرنگی و ۵۰۰ میکرولیتر نیتريت سدیم ۵ درصد در یک فالكون ۱۰ میلی‌لیتری اضافه شد. سپس ۵۰۰ میکرولیتر نیترات آلومینیوم ۱۰ درصد، ۴ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۴ درصد و الکل اتیلیک ۷۰ درصد به فالكون‌ها اضافه گردید. بعد از گذشت ۱۲ دقیقه، جذب در طول موج ۵۰۲ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای تهیه منحنی استاندارد از ماده روتین (کوئرستین) در غلظت‌های مختلف (۲۰۰۰، ۱۵۰۰، ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۶۲/۵، ۳۱/۲۵، ۰) استفاده شد. در نهایت، نتایج به صورت میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه بیان گردید.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

ظرفیت آنتی اکسیدانی کل بر مبنای احیاء رادیکال آزاد DPPH (۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل) با اندکی تغییر بر اساس روش توصیف شده (Patras et al, 2009) اندازه گیری شد. در این روش، ۲ میلی لیتر عصاره متانولی با ۲ میلی لیتر محلول DPPH مخلوط گردید. محلول DPPH با حل کردن ۰/۲۵ گرم DPPH در ۱۰۰ میلی لیتر متانول ۸۵ درصد (تهیه شده از شرکت سیگما آلد ریچ، آمریکا) تهیه شد. مخلوط به خوبی ورتکس شد تا از اختلاط کامل آن اطمینان حاصل شود. سپس لوله ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی قرار داده شدند. پس از طی دوره آنکوباسیون، جذب مخلوط واکنش در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (UV1800, Mapada Co. China) اندازه گیری شد. درصد مهار رادیکال های آزاد (DPPH) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$I_n (\%) = \frac{C_a - S_a}{C_a} \times 100$$

که در آن Ca و Sa به ترتیب نشان دهنده جذب DPPH و جذب نمونه + DPPH هستند.

آنزیم پلی فنل اکسیداز

برای تعیین فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز یک نمونه ۰/۳ گرمی در ۲۰ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار PEG¹ و ۲ درصد w/v PVPP² در حالیکه در حمام یخ قرار می گرفت، مخلوط شد. پس از سانتریفیوژ در ۶۰۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد، مایع رویی برای سنجش جمع آوری شد. مخلوط واکنش شامل ۵۰ میکرو لیتر پیروگالول ۰/۰۲ مولار و ۳۰۰۰ میکرو لیتر بافر فسفات در pH ۷ بود که در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه آنکوبه شد. پس از آن، ۵۰ میکرو لیتر عصاره خام اضافه شد و تغییرات جذب در ۴۲۰ نانومتر بررسی شد (Serradell et al. 2000).

تجزیه آماری داده ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول نانوسلولز (۰ و ۱/۵ درصد) فاکتور دوم عصاره (۰، ۲ و ۴ درصد) و فاکتور سوم زمان انبارمانی (۰، ۶، ۱۲، ۱۸ روز) می باشد. آنالیز داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین با آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

1 - Polyethylene glycol
2 - Polyvinylpyrrolidone

یافته‌های پژوهش

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل بین مدت زمان انبارمانی، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفات کاهش وزن و آسکوربیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین، اثر متقابل بین زمان انبارمانی و عصاره مورد بر صفات سفتی، اسیدیته و pH در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. علاوه بر این، اثر متقابل بین زمان انبارمانی و نانوسلولز بر صفت اسیدیته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در نهایت، اثر متقابل بین نانوسلولز و عصاره مورد نیز بر صفت pH در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تیمار نانوسلولز و عصاره مورد بر ویژگی‌های کیفی و عمر پس از برداشت توت‌فرنگی رقم پاروس

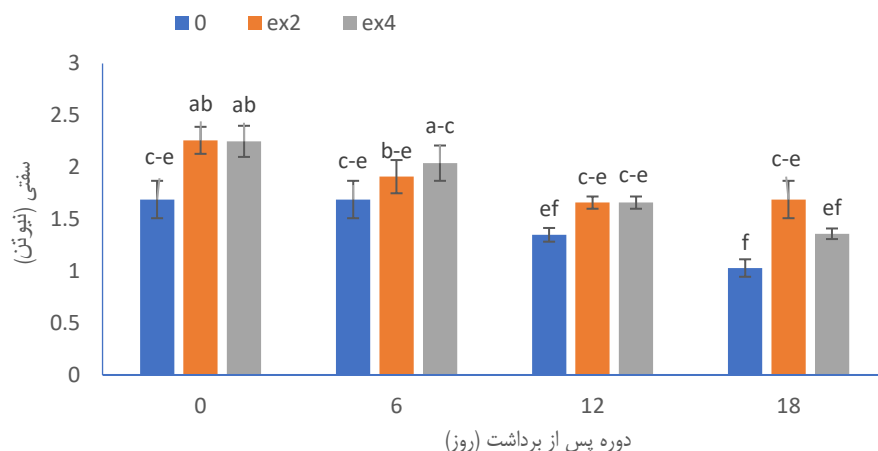
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		pH	اسیدیته	سفتی	کاهش وزن
زمان	۳	۰/۱۱**	۰/۰۴**	۴/۰۷**	۷۳۳/۴۰**
نانوسلولز	۱	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۳*	۰/۰۱ ^{ns}	۴۱۴۴/۰۰**
عصاره مورد	۲	۳/۲۷**	۵/۱۸**	۲۹/۴۰**	۶۱۵۶/۴۱**
زمان × نانوسلولز	۳	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۱۹**	۰/۲۴ ^{ns}	۱۳۸/۵۹**
زمان × عصاره مورد	۶	۰/۰۳**	۰/۰۳**	۵/۵۲**	۱۳۸/۸۱**
نانوسلولز × عصاره مورد	۲	۰/۰۶**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۳۰ ^{ns}	۸۴/۶۱**
زمان × نانوسلولز × عصاره مورد	۶	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۱۵۱/۶۵**
خطا	۴۸	۰/۰۱	۰/۰۰۶	۰/۲۵	۱۴/۴۸
ضریب تغییرات		۳/۲۴	۱۰/۲۶	۲۴/۶۹	۲۳/۵۷

***، ** و * به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری

سفتی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل زمان و عصاره مورد بر صفت سفتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش دوره انبارمانی، سفتی در میوه‌های تیمار شده و شاهد کاهش یافت. به طوری که در گروه شاهد، سفتی از ۱/۶۹ نیوتن در

ابتدای اندازه‌گیری به ۱/۰۳ نیوتن کاهش یافت. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین میزان سفتی (۲/۲۶ نیوتن) مربوط به تیمار عصاره ۲ درصد در روز صفر و کمترین میزان سفتی (۱/۰۳ نیوتن) مربوط به گروه شاهد پس از ۱۸ روز انبارمانی بود (شکل ۱).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و عصاره مورد بر صفت سفتی میوه توت فرنگی. شاهد (صفر)، عصاره ۲ درصد (ex2)، عصاره ۴ درصد (ex4)، تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد (منبع: یافته‌های پژوهش)

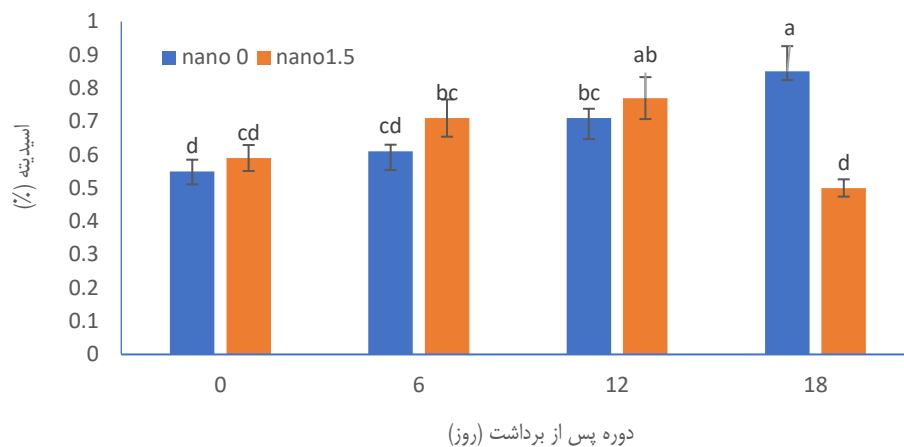
اسیدیتة قابل تیتراسیون و pH

آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل زمان و عصاره مورد و همچنین اثر متقابل نانوسلولز و زمان بر صفت اسیدیتة در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). در بررسی اثر متقابل زمان و نانوسلولز مشاهده شد که با افزایش دوره انبارمانی، میزان اسیدیتة در میوه‌های بدون نانوسلولز افزایش یافت، اما در تیمار نانوسلولز ۱/۵ درصد، ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. نتایج مربوط به مقایسات میانگین اثر متقابل زمان و نانوسلولز نشان داد که بیشترین میزان اسیدیتة (۰/۸۵ درصد) در تیمار بدون نانوسلولز پس از ۱۸ روز انبارمانی مشاهده شد (شکل ۲).

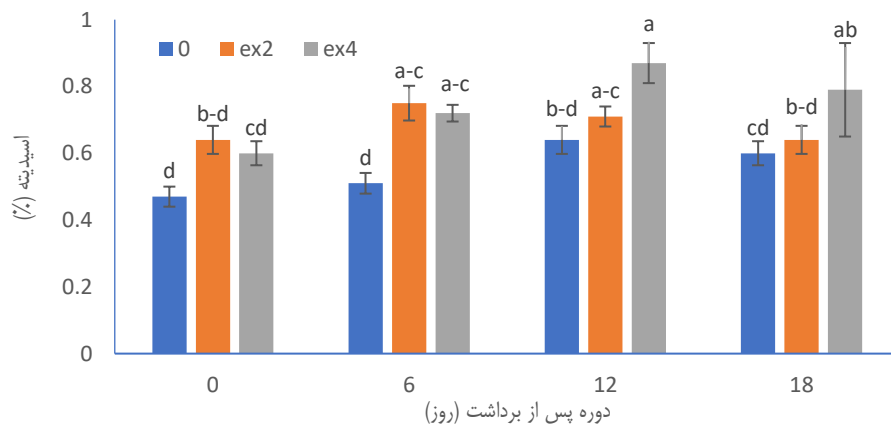
نتایج اثر متقابل زمان و عصاره مورد نشان داد که با افزایش دوره انبارمانی، میزان اسیدیتة تا روز دوازدهم افزایش و سپس کاهش یافت. نتایج مربوط به مقایسات میانگین نشان داد که در کل دوره انبارمانی، بالاترین میزان اسیدیتة (۰/۸۷ درصد) در تیمار عصاره ۴ درصد پس از ۱۲ روز انبارمانی و کمترین میزان اسیدیتة (۰/۴۷ درصد) در گروه شاهد در روز صفر مشاهده شد (شکل ۳).

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل زمان و عصاره مورد و همچنین اثر متقابل نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت pH در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). نتایج اثر متقابل نانوسلولز و عصاره مورد نشان داد که مقدار pH در میوه‌های بدون نانوسلولز بیشتر از میوه‌های حاوی نانوسلولز است. نتایج مربوط به مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین مقدار pH (۳/۷۴) در گروه بدون نانوسلولز در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۴).

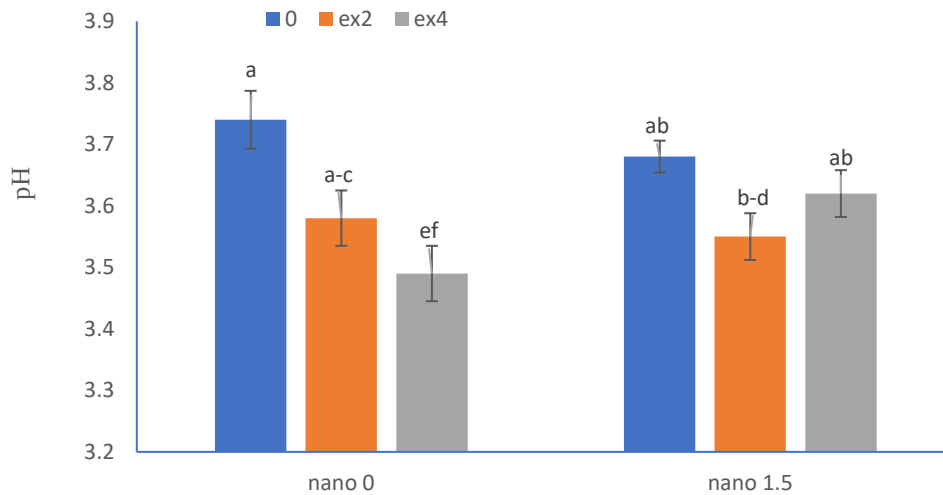
نتایج اثر متقابل زمان و عصاره مورد نشان داد که در میوه‌های گروه شاهد، مقدار pH افزایش یافت، در حالی که در میوه‌های تیمار شده روند ثابتی مشاهده نشد. نتایج مربوط به مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین مقدار pH (۳/۸۲) در تیمار شاهد پس از ۱۲ روز انبارمانی مشاهده شد (شکل ۵).



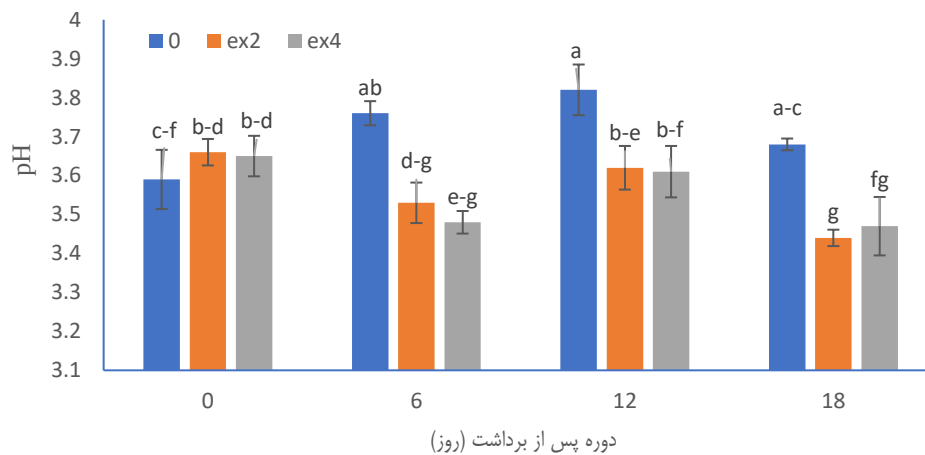
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل نانوسولوز و زمان بر صفت اسیدیته قابل تیتراسیون توت‌فرنگی. تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد (منبع: یافته‌های پژوهش)



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و عصاره مورد بر صفت اسیدیته قابل تیتراسیون توت‌فرنگی. شاهد (صفر)، عصاره ۲ درصد (ex2)، عصاره ۴ درصد (ex4)، تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد (منبع: یافته‌های پژوهش)



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل نانو سلولز و عصاره مورد بر صفت pH میوه توت‌فرنگی. شاهد (صفر)، عصاره ۲ درصد (ex2)، عصاره ۴ درصد (ex4)، (نانو صفر درصد و نانو ۱/۵ درصد) تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد (منبع: یافته‌های پژوهش)

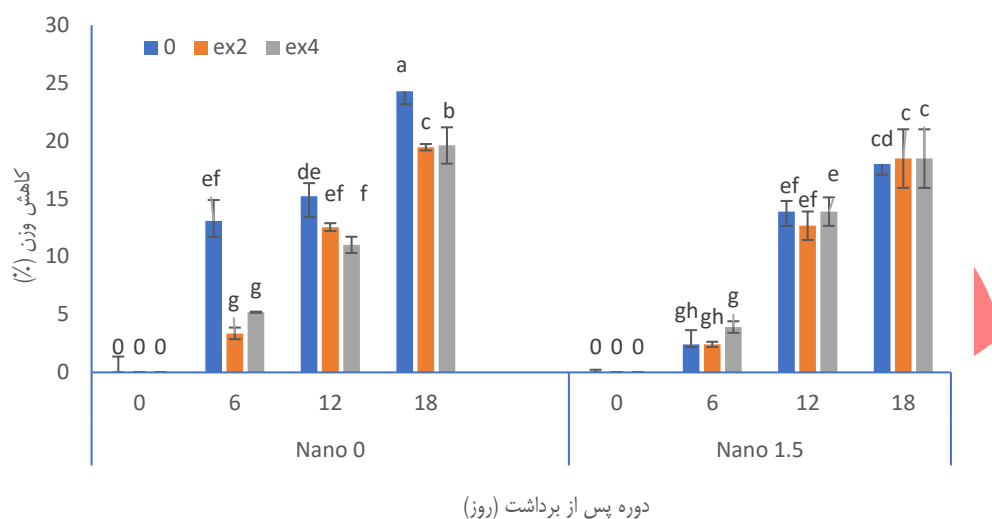


شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و عصاره مورد بر صفت pH توت‌فرنگی. شاهد (صفر)، عصاره ۲ درصد (ex2)، عصاره ۴ درصد (ex4)، تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد (منبع: یافته‌های پژوهش)

کاهش وزن

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت کاهش وزن در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). با افزایش دوره انبارمانی، کاهش وزن میوه افزایش یافت. با این وجود، استفاده از عصاره مورد به تنهایی یا همراه با نانوسلولز منجر به کاهش وزن در مقایسه با گروه شاهد شد. نتایج مربوط به مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین میزان کاهش

وزن (۲۴/۲۹ درصد) مربوط به گروه شاهد پس از ۱۸ روز انبارمانی و کمترین میزان کاهش وزن (۲/۴۲ درصد) مربوط به تیمار نانوسلولز ۱/۵ درصد و تیمار نانوسلولز ۱/۵ درصد + ۲ درصد عصاره مورد پس از ۶ روز انبارمانی بود (شکل ۶).

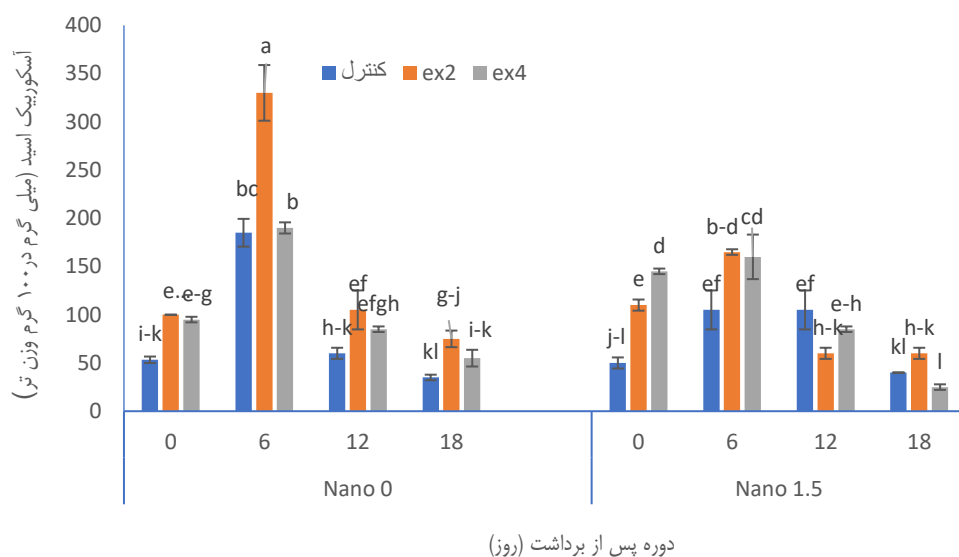


شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت کاهش وزن میوه توت‌فرنگی. شاهد (صفر)، عصاره ۲ درصد (ex2)، عصاره ۴ درصد (ex4)، نانوسلولز ۱/۵ درصد، نانوسلولز و عصاره ۲ درصد، نانوسلولز و عصاره ۴ درصد، تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD

در سطح احتمال پنج درصد (منبع: یافته‌های پژوهش)

آسکوربیک اسید

اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت آسکوربیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). میزان آسکوربیک اسید در طول دوره انبارمانی تا روز ششم افزایش و سپس کاهش یافت. نتایج مربوط به مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین میزان آسکوربیک اسید (۳۳۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) مربوط به تیمار عصاره ۲ درصد پس از ۶ روز انبارمانی و کمترین میزان آسکوربیک اسید (۲۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) مربوط به تیمار نانوسلولز ۱/۵ درصد + ۴ درصد عصاره مورد پس از ۱۸ روز انبارمانی مشاهده شد (شکل ۷).



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت آسکوربیک اسید میوه توت‌فرنگی‌شاهد (صفر)، عصاره ۲ درصد (ex2)، عصاره ۴ درصد (ex4) نانوسلولز ۱/۵ درصد، نانوسلولز و عصاره ۲ درصد، نانوسلولز و عصاره ۴ درصد) تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد (منبع: یافته‌های پژوهش)

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت فلاونوئید، آنتوسیانین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد و پلی‌فنل‌اکسیداز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل زمان و عصاره مورد بر صفت فنل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمار نانوسلولز و عصاره مورد بر ویژگی‌های کیفی و عمر پس از برداشت توت‌فرنگی رقم پاروس

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
پلی فنل اکسیداز	ظرفیت آنتی اکسیدانی	آنتوسیانین	فلاونوئید	فنل		
۱۰۶/۸۸**	۵۴۰/۰۲**	۲۲۸۲۴/۸۷**	۲۴۲۷۲۶/۳۹**	۷۴۷۱/۴۹**	۳	زمان
۰/۰۷۵ ^{ns}	۲۵/۸۹**	۴/۱۲*	۲۱۷۰/۱۶۶ ^{ns}	۹۰/۱۱ ^{ns}	۱	نانوسلولز
۴/۶۱ ^{ns}	۳۲۶۹/۲۶**	۱۳۵۷۲۱/۲۲**	۱۲۵۰۱۲/۸۴**	۱۵۰۲۵/۶۳**	۲	عصاره
۵/۲۵ ^{ns}	۶/۰۷*	۵/۱۹**	۴۰۸۸۹۹/۰۸**	۶۷۰/۰۶ ^{ns}	۳	زمان × نانوسلولز
۱۵/۳۵**	۳۴۷/۷۲**	۱۴۹۵۸/۳۵**	۴۸۱۸۸/۴۱**	۱۳۸۶/۹۳*	۶	زمان × عصاره

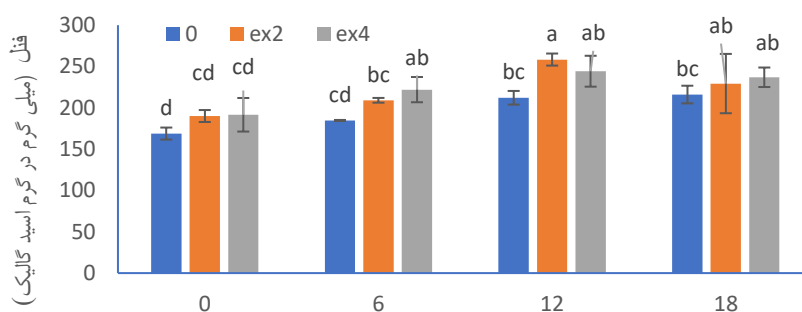
نانوسلولز ×	۲	۴۵۲/۷۹ ^{ns}	۳۱۳۳۱/۵۶**	۱/۱۳ ^{ns}	۱/۶۳ ^{ns}	۲/۹۵ ^{ns}
عصاره						
زمان ×	۶	۱۲۱۲/۸۳ ^{ns}	۹۵۲۳۹/۵۸**	۲/۶۳**	۱۲/۳۰**	۷/۸۳*
نانوسلولز × عصاره						
خطا	۴۸	۶۷۱/۹۸	۲۳۷۸۸۶/۴۳	۰/۶۸۷	۱/۹۵	۲/۲۷
ضریب تغییرات		۱۲/۵۴	۱۵/۲۷	۲/۰۴	۱/۶۵	۲۳/۴۷

*** و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری

فنل و فلاونوئید

اثر متقابل زمان و عصاره مورد، بر میزان فنل کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که با افزایش دوره انبارمانی، میزان فنل در میوه‌های شاهد و تیمار شده افزایش یافت. بیشترین میزان فنل کل (۲۵۸/۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) پس از ۱۲ روز انبارمانی در تیمار عصاره ۲ درصد مشاهده شد، در حالی که کمترین میزان (۱۶۸/۸۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در روز صفر در گروه شاهد به ثبت رسید (شکل ۸).

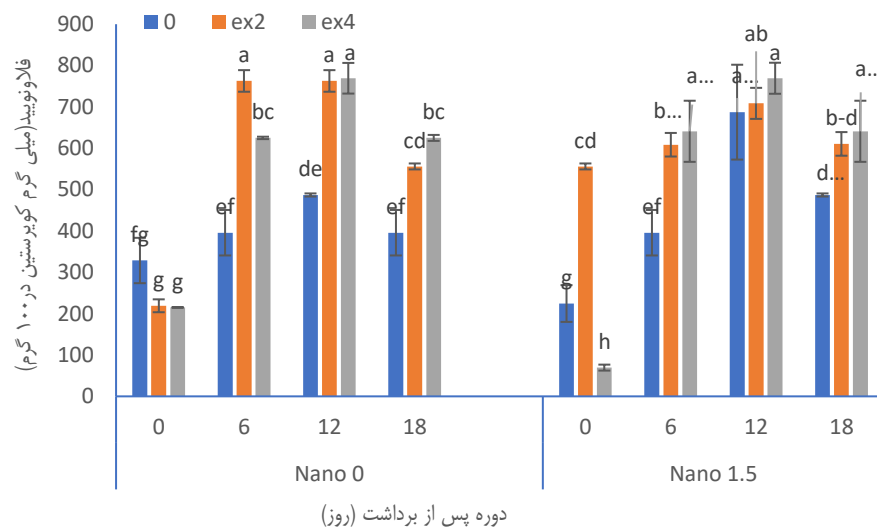
اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر میزان فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (جدول ۲). نتایج حاکی از آن بود که محتوای فلاونوئید در میوه‌های تیمار شده و شاهد تا روز دوازدهم افزایش و پس از آن کاهش یافت. این کاهش در میوه‌های شاهد چشمگیر بود و در روز هجدهم انبارمانی به کمترین میزان خود رسید. بیشترین میزان فلاونوئید (۷۶۹/۲۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) در تیمار عصاره ۴ درصد و نانوسلولز + ۴ درصد عصاره مورد پس از ۱۲ روز انبارمانی مشاهده شد (شکل ۹).



دوره پس از برداشت (روز)

شکل ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و عصاره مورد بر صفت فنل توت‌فرنگی شاهد (صفر)، عصاره ۲ درصد (ex2)، عصاره ۴ درصد (ex4)، تجزیه

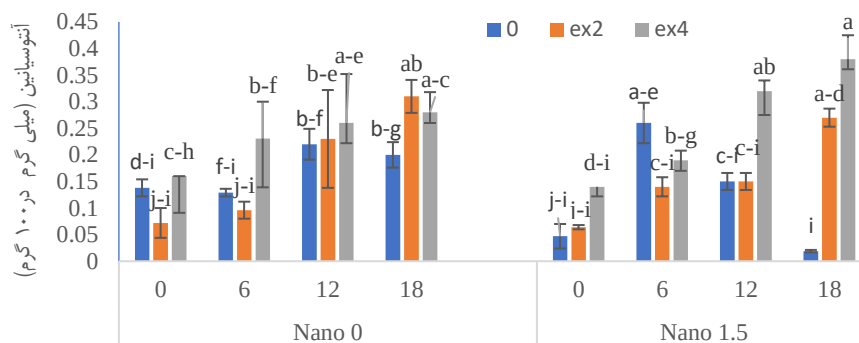
و تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد (منبع: یافته‌های پژوهش)



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت فلاونویید میوه توت‌فرنگی. شاهد (صفر)، عصاره ۲ درصد (ex2)، عصاره ۴ درصد (ex4)، نانوسلولز ۱/۵ درصد، نانوسلولز و عصاره ۲ درصد، نانوسلولز و عصاره ۴ درصد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد (منبع: یافته‌های پژوهش)

آنتوسیانین

اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که با افزایش زمان انبارمانی، میزان آنتوسیانین در گروه شاهد افزایش و سپس کاهش یافت، اما در سایر تیمارها روند افزایشی داشت. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین (۳۸/۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) در ترکیب نانوسلولز + ۴ درصد عصاره مورد پس از ۱۸ روز انبارمانی مشاهده شد که اختلاف معناداری با تیمار نانوسلولز + ۲ درصد عصاره مورد و عصاره ۲ و ۴ درصد نداشت. (شکل ۱۰).



دوره پس از برداشت (روز)

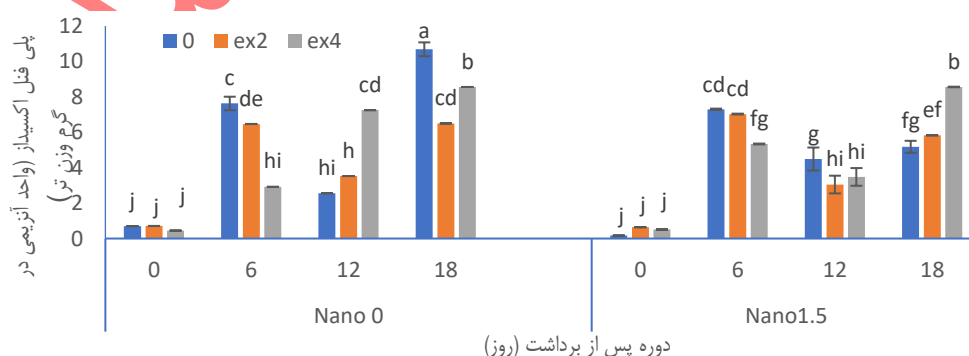
شکل ۱۰. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی. شاهد (صفر)، عصاره ۲ درصد (ex2)، عصاره ۴ درصد (ex4)،

نانوسلولز ۱/۵ درصد، نانوسلولز و عصاره ۲ درصد، نانوسلولز و عصاره ۴ درصد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

(منبع: یافته‌های پژوهش)

پلی‌فنل اکسیداز

اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت پلی‌فنل اکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). فعالیت پلی‌فنل اکسیداز نیز افزایش تدریجی را در طول دوره انبارمانی نشان داد. با این حال، میزان افزایش در نمونه‌های تیمار شده کمتر از گروه شاهد بود. نتایج مربوط به مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیمی (۱۰/۶۹ واحد آنزیم در گرم وزن تر) در گروه شاهد پس از ۱۸ روز انبارمانی و کمترین میزان فعالیت آنزیمی (۰/۱۷ واحد آنزیم در گرم وزن تر) مربوط به تیمار نانوسلولز ۱/۵ درصد در روز صفر مشاهده شد.



دوره پس از برداشت (روز)

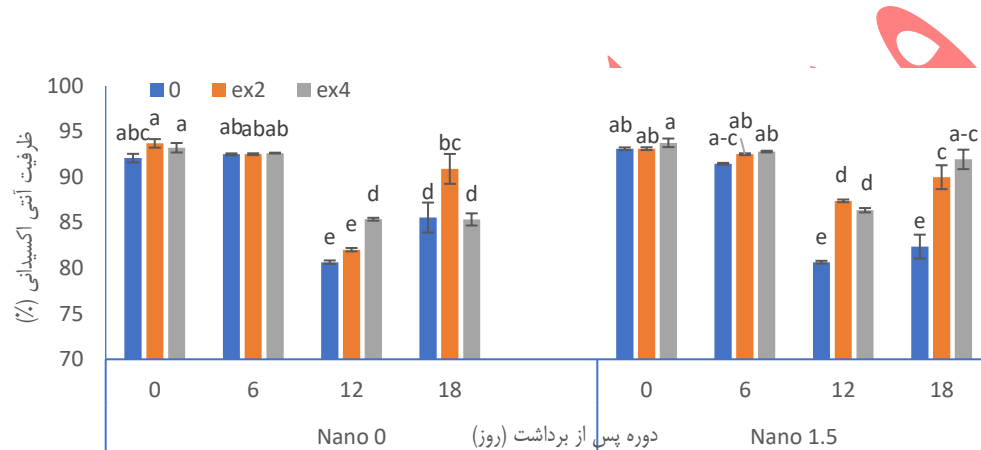
شکل ۱۱. اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت پلی‌فنل اکسیداز میوه توت‌فرنگی. شاهد (صفر)، عصاره ۲ درصد (ex2)، عصاره ۴ درصد (ex4)، نانوسلولز

۱/۵ درصد، نانوسلولز و عصاره ۲ درصد، نانوسلولز و عصاره ۴ درصد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد (منبع: یافته‌های

پژوهش)

ظرفیت آنتی اکسیدانی

اثر متقابل زمان، نانوسلولز و عصاره مورد بر صفت ظرفیت آنتی اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). به طور کلی، صرف نظر از تیمار اعمال شده، آنتی اکسیدان ها در نمونه ها تا ۶ روز انبارمانی تغییرات حداقلی را نشان دادند، اما در پایان دوره انبارمانی کاهش قابل توجهی را تجربه کردند. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (۹۳/۷۶ درصد) مربوط به تیمار نانوسلولز + ۴ درصد عصاره مورد در روز صفر و کمترین میزان ظرفیت آنتی اکسیدانی (۸۰/۶۶ درصد) مربوط به گروه شاهد و تیمار نانوسلولز ۱/۵ درصد پس از ۱۲ روز انبارمانی بود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. مقایسه میانگین اثر متقابل نانو سلولز، زمان و عصاره مورد بر صفت ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه توت فرنگی. شاهد (صفر)، عصاره ۲ درصد (ex2)، عصاره

۴ درصد (ex4)، نانوسلولز ۱/۵ درصد، نانوسلولز و عصاره ۲ درصد، نانوسلولز و عصاره ۴ درصد تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال

پنج درصد (منبع: یافته های پژوهش)

بحث

سفتی به عنوان یک پارامتر فیزیکی مهم، نقش بسزایی در قضاوت و پذیرش مصرف کننده ایفا می کند. طی دوره انبارمانی، از یک سو فعالیت آنزیم های تجزیه کننده پکتین که پروپکتین را به پکتین های محلول در آب تجزیه می کنند و از سوی دیگر کاهش فشار تورژسانس سلولی منجر به شکستن دیواره سلولی و نرم شدن میوه می گردد (Wang & Gao, 2013). به طور کلی، پوشش ها روند نرم شدن میوه را کند می کنند که احتمالاً ناشی از خواص بازدارندگی پوشش ها در برابر جذب اکسیژن است. این امر منجر به کاهش فعالیت های متابولیکی شده و فرآیند رسیدن و پیری را به تأخیر انداخته و سبب حفظ سفتی میوه می گردد (Sogvar et al., 2016). نتایج پژوهش حاضر با نتایج Petroselino et al. (2015) مطابقت دارد.

در طول رسیدن و پیری میوه، محتوای اسید میوه می‌تواند به عنوان یک عامل کلیدی در تنظیم متابولیسم تنفس کاهش یابد. در نتیجه، تنفس بیشتر منجر به کاهش بیشتر در اسیدیته می‌شود، بنابراین میزان اسید میوه شاخص خوبی برای میزان تنفس است (Valero *et al.*, 2013). این کاهش اسید میوه در انتهای دوره انبارمانی شاید به دلیل شکسته شدن قند به اسید و در پی افزایش تنفس باشد (پورعزیز و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین، این کاهش می‌تواند ناشی از تغییرات متابولیکی باشد که طی آن میوه از اسیدهای آلی به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کند (Sogvar *et al.*, 2016). در واقع، پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک محیط داخلی مناسب و کاهش تنفس، تغییرات اسیدیته را در میوه‌های پوشش‌دار کاهش می‌دهند (عشقی و همکاران، ۱۳۹۲). (Zaragza *et al.*, 2020) و Yan *et al.* (2019) نیز در مطالعات خود بر روی توت‌فرنگی، تأثیر مثبت پوشش‌های خوراکی در حفظ کیفیت میوه و کاهش اسیدیته را تأیید کرده‌اند. به طور کلی، افزایش pH در میوه‌ها طی انبارمانی معمولاً به دلیل فرآیندهای متابولیکی، واکنش‌های شیمیایی و فعالیت میکروبی است (Mannozi *et al.*, 2017).

میوه‌های توت‌فرنگی به دلیل پوست بسیار نازک فاسد شدنی و مستعد از دست دادن سریع آب هستند. کاهش وزن در میوه‌ها در طول دوره انبارمانی عمدتاً به دلیل افزایش نرخ تنفس و تبخیر آب از سطح میوه می‌باشد (Duan *et al.*, 2011). پوشش‌های کامپوزیت با ایجاد یک لایه محافظ بر روی سطح میوه از تبخیر آب و نفوذ گازها جلوگیری کرده و به عنوان یک محافظ عمل می‌کنند و در نتیجه باعث تأخیر در از دست دادن آب می‌شوند (Hernandez-Munoz *et al.*, 2008). نتایج این پژوهش با یافته‌های Shehata *et al.* (2020) مبنی بر تأثیر اسانس‌های گیاهی بر حفظ کیفیت توت‌فرنگی همخوانی دارد.

آسکوربیک اسید نه تنها به عنوان شاخصی مهم برای ارزیابی کیفیت میوه و ارزش غذایی آن شناخته می‌شود، بلکه به عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی حیاتی در حذف گونه‌های فعال اکسیژن از میوه نیز عمل می‌کند (Li *et al.*, 2014). علاوه بر این، آسکوربیک اسید به عنوان یک آنتی‌اکسیدان و کوفاکتور در واکنش‌های ردوکس، نقش اصلی را در فعال‌سازی مکانیسم‌های اپی‌ژنتیکی که تمایز سلولی را کنترل می‌کنند، ایفا می‌کند (Fenech *et al.*, 2019).

طی فرآیند انبارمانی، میزان آسکوربیک اسید تحت تأثیر فعالیت آنزیم اکسیدکننده آسکوربیک اسید (آسکوربیناز) به سرعت کاهش می‌یابد. آسکوربیک اسید در مقایسه با سایر مواد مغذی، طی فرآیند انبارمانی نسبت به اکسیداسیون و تجزیه حساس‌تر است. دلیل احتمالی کاهش آن، اتواکسیداسیون است که به طور خودبه‌خودی در مجاورت اکسیژن رخ می‌دهد (Sogvar *et al.*, 2016). پوشش‌های کامپوزیتی به دلیل کاهش اکسیداسیون در سطح نفوذپذیر و محدودیت تبادل گاز، ممکن است محتویات آسکوربیک اسید را افزایش دهند. ترکیب پوشش‌های خوراکی با محدود کردن تبادل گاز و نرخ تنفس از محتویات ویتامین محافظت می‌کنند و موجب جلوگیری از قرار گرفتن آن در معرض نور و تمرکز آن در داخل میوه می‌شوند (Sun *et al.*, 2019).

نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های Shehata *et al.* (2020) مبنی بر تأثیر اسانس‌های گیاهی بر حفظ کیفیت میوه توت‌فرنگی مطابقت دارد. فنل‌ها و فلاونوئیدها به عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی قوی، نقش مهمی در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه‌ها ایفا می‌کنند (Mazza & Brouillard, 1990; Bhat & Stamminger, 2015). میزان فنل کل طی فرآیند انبارمانی بسته به شرایطی نظیر عوامل

محیطی، نوع محصول، زمان برداشت و مرحله رسیدگی می‌تواند کاهش یا افزایش یابد. این تغییرات احتمالاً به دلیل تغییر در متابولیسم فنلی در طول انبارمانی و همچنین افزایش در فعالیت فنیل آلانین آمونیالاز رخ می‌دهد (Leja *et al.*, 2008). فلاونوئیدها نیز به عنوان یکی از اجزای مهم سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی، در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد نقش بسزایی دارند (Rawia *et al.*, 2011).

یافته‌های مطالعه حاضر با نتایج گزارش شده توسط Liu *et al.* (2021) همخوانی دارد که نشان می‌دهد مقدار فلاونوئیدها در نمونه شاهد به طور قابل توجهی کمتر از سایر تیمارها بوده است. آنتوسیانین‌ها به عنوان اجزای اصلی فنلی میوه شناخته می‌شوند. ارتباط مستقیمی بین کیفیت میوه‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها با میزان کل محتوای فنلی‌شان وجود دارد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آنتوسیانین‌ها احتمالاً به دلیل خواص بیولوژیکی قابل توجه آنهاست. بنابراین، حفظ سطوح بالای این ترکیبات در طول انبارمانی از اهمیت بسزایی برخوردار است. افزایش آنتوسیانین مشاهده شده در این مطالعه احتمالاً به دلیل رسیدگی میوه، افزایش قند میوه و همچنین فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز طی دوره انبارمانی بوده است. پوشش‌های خوراکی می‌توانند بر پایداری و حفظ آنتوسیانین‌ها در محصولات غذایی تأثیرگذار باشند. آنتوسیانین‌ها به عواملی مانند نور، اکسیژن و pH حساس هستند که می‌تواند منجر به تخریب آنها شود (Cortez *et al.*, 2017). استفاده از پوشش احتمالاً با مهار اکسیداسیون آنزیمی ترکیبات از میوه محافظت می‌کند و بنابراین به طور بالقوه بر سطوح آنتوسیانین در توت‌فرنگی تأثیر می‌گذارد (Oliveira *et al.*, 2024). نتایج پژوهش حاضر با نتایج Petrosino *et al.* (2015) در بررسی پوشش کیتوزان در پس از برداشت توت‌فرنگی همخوانی دارد. پلی‌فنل اکسیداز یک فنولاز مهم است که در تخریب مواد قهوه‌ای آنزیمی (فنولیک‌ها) در محصولات تازه پس از برداشت نقش دارد (Gao *et al.*, 2018; Lin *et al.*, 2016). (Nguyen *et al.*, 2020) در بررسی اثر نانوکیتوسان و کیتوسان در پس از برداشت توت‌فرنگی به نتایج مشابهی دست یافتند.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به عنوان شاخصی مهم، وضعیت و سلامت سلول‌های گیاهی را نشان می‌دهد. میوه‌هایی که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارند، از نظر سلامتی و بازارپسندی در وضعیت مطلوبی قرار دارند. گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) طی فرآیندهای متابولیکی طبیعی سلول و در پاسخ به تنش‌های محیطی (زنده و غیر زنده) تولید می‌شوند. آنتی‌اکسیدان‌ها با خنثی‌سازی این گونه‌های فعال اکسیژن، از سلول‌ها در برابر آسیب‌های ناشی از آنها محافظت می‌کنند. با پیشرفت پیری و افزایش فعالیت‌های متابولیکی، تولید رادیکال‌های آزاد افزایش می‌یابد که این امر منجر به آسیب‌های سلولی و افزایش ضایعات پس از برداشت می‌شود. کاهش فعالیت‌های متابولیکی و پاسخ به تنش می‌تواند سرعت تولید رادیکال‌های آزاد و پیشرفت پیری را کاهش دهد (Asghari & Hasanlooe, 2015).

در همین راستا، Elrasheid Tahir *et al.* (2018) در تحقیقی به بررسی اثر صمغ عربی بر کیفیت و ماندگاری پس از برداشت توت‌فرنگی پرداختند و به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها نشان دادند که محلول‌های پوششی غنی از ترکیبات فنلی می‌توانند به بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها کمک کنند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که استفاده از پوشش‌های حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت میوه‌ها باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تیمار میوه‌های توت‌فرنگی با نانوسلولز حاوی عصاره مورد منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آنها شد. نتایج حاکی از آن بود که در طول دوره انبارمانی، کمترین میزان کاهش وزن و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و بیشترین مقدار آسکوربیک اسید در میوه‌های تیمار شده با نانوسلولز ۱/۵ + ۲ درصد عصاره مورد مشاهده شد. به طور کلی تیمار نانوسلولز ۲+ درصد عصاره مورد باعث حفظ آسکوربیک اسید و مهار آنزیم پلی‌فنل اکسیداز شد و کاهش وزن را کاهش داد. با توجه به اهمیت اقتصادی توت‌فرنگی و میزان بالای ضایعات آن، استفاده از این تیمار به منظور بهبود ویژگی‌های کیفی و افزایش ماندگاری این محصول ارزشمند توصیه می‌شود.

منابع

- پورعزیز، سولماز؛ ناطوری، فاطمه؛ میردهقان، سیدحسین؛ اسماعیلی زاده، مجید (۱۳۹۷). اثر پوشش خوراکی آلژینات سدیم بر ماندگاری میوه توت فرنگی رقم گاوپوتا. مجله علوم باغبانی ایران، ۵۰(۳)، ۵۲۶-۵۱۵.
- عشقی، سارا؛ هاشمی، مریم؛ محمدی، عبدالرضا؛ بدیعی، فوزان؛ محمد حسینی، زهرا؛ احمدی صومعه، کریم؛ قناتی، کیاندرخت (۱۳۹۲). تأثیر پوشش نانومولسیون حاوی کیتوزان بر افزایش ماندگاری و ویژگی‌های کیفی میوه‌ی توت‌فرنگی پس از برداشت. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۸(۲)، ۹-۱۹.
- مزدستان، شکوفه؛ ابراهیم زاده، محمدعلی؛ خلیلی، معصومه (۱۳۹۴). مقایسه اهمیت روش‌های مختلف استخراج بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ گیاه "مورد". مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. ۲۵(۱۲۷)، ۲۴-۱۰.

References

- Asghari, M., & Hasanlooee, A. R. (2015). Interaction effects of salicylic acid and methyl jasmonate on total antioxidant content, catalase and peroxidase enzymes activity in "Sabrosa" strawberry fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, 197, 490-495. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.009>.
- Atrass, S. A., El-Mogy, M. M., Aboul-Anean, H. E., & Ausonius, B. W. (2010). Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 2(3), 88-97.
- Bahmani, R., Razavi, F., Mortazavi, S. N., Gohari, G., & Juárez-Maldonado, A. (2022). Evaluation of proline-coated chitosan nanoparticles on decay control and quality preservation of strawberry fruit (cv. Camarosa) during cold storage. *Horticulturae*, 8 (7), 648. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070648>.
- Bhat, R., & Stamminger, R. (2015). Impact of ultraviolet radiation treatments on the physicochemical properties, antioxidants, enzyme activity and microbial load in freshly prepared hand pressed strawberry juice. *Food Science and Technology International*, 21(5), 354-363. <https://doi.org/10.1177/1082013214536708>.
- Baranyai, L., Nguyen, L. L. P., Zsom, T., Hitka, G., & Sao Dam, M. (2020). Evaluation of precooling temperature and 1-MCP treatment on quality of 'Golden Delicious' apple. *Journal of Applied Botany & Food Quality*, 93, 130-135. <https://DOI:10.5073/JABFQ.2020.093.017>.
- Bahadırılı, N. P., Kahramanoğlu, İ., & Wan, C. (2020). Exposure to volatile essential oils of myrtle (*Myrtus communis* L.) leaves for improving the postharvest storability of fresh loquat fruits. *Journal of Food Quality*, 2020(1), 8857669. <https://doi.org/10.1155/2020/8857669>.
- Cortez, R., Luna-Vital, D. A., Margulis, D., & Gonzalez de Mejia, E. (2017). Natural pigments: stabilization methods of anthocyanins for food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 180-198. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12244>.
- Cao, S. F., & Zheng, Y. H. (2010). Postharvest biology and handling of loquat fruit. *Stewart Postharvest Review*, 4, 1-5. <https://doi.org/10.2212/spr.2008.2.3>.
- Duan, J., Wu, R., Strik, B. C., & Zhao, Y. (2011). Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. *Postharvest biology and technology*, 59(1), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.08.006>.
- De Jesus Filho, M., Scolforo, C. Z., Saraiva, S. H., Pinheiro, C. J. G., Silva, P. I., & Della Lucia, S. M. (2018). Physicochemical, microbiological and sensory acceptance alterations of strawberries caused by gamma radiation and storage time. *Scientia Horticulturae*, 238, 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.053>.
- Dong, F., Li, S., Liu, Z., Zhu, K., Wang, X., Jin, C., (2015). Improvement of Quality and Shelf Life of Strawberry with Nanocellulose/Chitosan Composite Coatings. *Bangladesh Journal of Botany*. 44(5): 709-717.
- Da Silva, E. L. P., de Carvalho, T. C., Ayub, R. A., & de Almeida, M. C. M. (2019). Nanocellulose coating associated with lemongrass essential oil at postharvest of blackberry fruits. *Preprints*. DOI: 10.20944/preprints201910.0131.v1.
- Ehteshamnia, A., Taghipour, S., & Siahmansour, S. (2021). Effect of Pre-harvest Application of Putrescine and Post Harvesting Aloe vera Gel on the Quality and Shelf Life of Table Grape (*Vitis vinifera* cv. 'Yaghouti'). *Journal Of Horticultural Science*, 35(1), 103-116. <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61904>.
- Eshghi, S., Hashemi, M., Mohammadi, A., Badie, F., Mohammad Hosseini, Z., Ahmadi S., K., & Ghanati, K. (2014). Effect of nano-emulsion coating containing chitosan on storability and qualitative characteristics of strawberries after picking. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 8(2), 9-19.(in persian)

Elrasheid Tahir, H. E., Xiaobo, Z., Jiyong, S., Mahunu, G. K., Zhai, X., & Mariod, A. A. (2018). Quality and postharvest-shelf life of cold-stored strawberry fruit as affected by gum arabic (*Acacia senegal*) edible coating. *Journal of Food Biochemistry*, 42(3), e12527. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12527>.

Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M.A. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. *Frontiers in plant science*, 9, 2006. <https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2018.02006>.

Gao, H., Lu, Z., Yang, Y., Wang, D., Yang, T., Cao, M., & Cao, W. (2018). Melatonin treatment reduces chilling injury in peach fruit through its regulation of membrane fatty acid contents and phenolic metabolism. *Food Chemistry*, 245, 659-666. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.008>.

Garcia-Salas, P., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2010). Phenolic-compound-extraction systems for fruit and vegetable samples. *Molecules*, 15(12), 8813-8826. <https://doi.org/10.3390/molecules15128813>.

Gomez H.C., Serpa, A., Velasquez-Cock, J., Ganán, P., Castro, C., Velez, L., Zuluaga, R. (2016) Vegetable nanocellulose in food science: a review. *Food Hydrocolloids* 57:178–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.01.023>.

Hazarika, T. K., Lalrinfeli, L., Lalthanhmawia, J. O. N. A. T. H. A. N., & Mandal, D. E. B. A. S. H. I. S. (2019). Alteration of quality attributes and shelf-life in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) fruits during storage as influenced by edible coatings. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89(1), 28-34. <https://doi.org/10.56093/ijas.v89i1.86098>.

Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food chemistry*, 110(2), 428-435. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020>.

Hernández-López, G., Ventura-Aguilar, R. I., Correa-Pacheco, Z. N., Bautista-Baños, S., & Barrera-Necha, L. L. (2020). Nanostructured chitosan edible coating loaded with α -pinene for the preservation of the postharvest quality of *Capsicum annuum* L. and *Alternaria alternata* control. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 1881-1888. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.094>.

He, Y., Bose, S. K., Wang, W., Jia, X., Lu, H., & Yin, H. (2018). Pre-harvest treatment of chitosan oligosaccharides improved strawberry fruit quality. *International journal of molecular sciences*, 19(8), 2194. <https://doi.org/10.3390/ijms19082194>.

Khan, A.S., Singh, Z., Abbasi, N.A., & Swinny, E.E. (2008). Pre- or post-harvest application of putrescine and low temperature storage affect fruit ripening and quality of Angelino plum. *Science of food and Agriculture*, 88, 1686-1695. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3265>.

LeNguyen, H. L., & Le, T. Q. (2022). Drying kinetics and effective moisture diffusivity of pomelo albedo under vacuum-assisted microwave drying and its semi-product. *Journal of Food Process Engineering*, 45(3), e13968. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13968>.

Lin, Y., Lin, H., Lin, Y., Zhang, S., Chen, Y., & Jiang, X. (2016). The roles of metabolism of membrane lipids and phenolics in hydrogen peroxide-induced pericarp browning of harvested longan fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.030>.

Liu, C., Jin, T., Liu, W., Hao, W., Yan, L., & Zheng, L. (2021). Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit. *LWT*, 148, 111770. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111770>.

Longo, L., & Vasapallo, G. (2006). Extraction and identification of anthocyanins from *Smilax aspera* L. berries. *Food chemistry*, 94(2), 226-231. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.008>.

- Leja, M., Mareczek, A., & Ben, J. (2008). Antioxidant properties of two apple cultivars during long-term storage. *The Journal of Food Composition and Analysis*, 21, 396-401. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00263-7).
- Li, C., Zhang, H., Yang, Q., Komla, M. G., Zhang, X., & Zhu, S. (2014). Ascorbic acid enhances oxidative stress tolerance and biological control efficacy of *Pichia caribbica* against postharvest blue mold decay of apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(30), 7612-7621. <https://doi.org/10.1021/jf501984n>.
- Mazza, G., & Brouillard, R. (1990). The mechanism of co-pigmentation of anthocyanins in aqueous solutions. *Phytochemistry*, 29(4), 1097-1102. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(90\)85411-8](https://doi.org/10.1016/0031-9422(90)85411-8).
- Meyers, K. J., Watkins, C. B., Pritts, M. P., & Liu, R. H. (2003). Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(23), 6887-6892. <https://doi.org/10.1021/jf034506n>.
- Mozdastan, S., Ebrahimzadeh, M. A., & Khalili, M. (2015). Comparing the impact of different extraction methods on antioxidant activities of myrtle (*Myrtus communis* L.). *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 25(127), 10-24. (in persian) <http://jmums.mazums.ac.ir/article-1-6073-en.html>.
- Miranda, M., Bai, J., Pilon, L., Torres, R., Casals, C., Solsona, C., & Teixidó, N. (2024). Fundamentals of Edible Coatings and Combination with Biocontrol Agents: A Strategy to Improve Postharvest Fruit Preservation. *Foods*, 13(18), 2980. <https://doi.org/10.3390/foods13182980>.
- Medina-Jaramillo, C., Quintero-Pimiento, C., Gómez-Hoyos, C., Zuluaga-Gallego, R., & López-Córdoba, A. (2020). Alginate-edible coatings for application on wild andean blueberries (*Vaccinium meridionale* swartz): Effect of the addition of nanofibrils isolated from cocoa by-products. *Polymers*, 12(4), 824. <https://doi.org/10.3390/polym12040824>.
- Mannozi, C., Cecchini, J. P., Tylewicz, U., Siroli, L., Patrignani, F., Lanciotti, R., & Romani, S. (2017). Study on the efficacy of edible coatings on quality of blueberry fruits during shelf-life. *LWT-Food Science and Technology*, 85, 440-444. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.056>.
- Montero, Y., Gabrieli Souza, A., Oliveira, E., Santos Rosa, D. (2021). "Nanocellulose functionalized with cinnamon essential oil: A potential application in active biodegradable packaging for strawberry". *Sustainable Materials and Technologies*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00289>.
- Nguyen, L. P. L., Szabó, G., Hitka, G., Zsom, T., Tóth, A., Németh, C., & Kókai, Z. (2016). Effect of ethylene absorber on banana during storage. In *VI International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits 1216* (55-58).
- Nguyen, H. V., & Nguyen, D. H. (2020). Effects of nano-chitosan and chitosan coating on the postharvest quality, polyphenol oxidase activity and malondialdehyde content of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 3(1), 11-24. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2019.2698.1082>
- Oliveira, J. D., Silva, P. P. M. D., Parisi, M. C. M., Baggio, J. S., Gloria, E. M., & Spoto, M. H. F. (2024). Effect of carboxymethylcellulose-based edible coatings incorporating essential oil on *Botrytis cinerea* and strawberry attributes. *Scientia Horticulturae*, 330, 113024. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113024>
- Pineau, B., Layoune, O., Danon, A., & De Paepe, R. (2008). L-galactono-1, 4-lactone dehydrogenase is required for the accumulation of plant respiratory complex I. *Journal of Biological Chemistry*, 283(47), 32500-32505. DOI 10.1074/jbc.M805320200.
- Pitkänen, M., Honkalampi, U., Von Wright, A., Sneek, A., Hentze, H. P., Sievänen, J., & Hellen, E. (2010). Nanofibrillar cellulose: In vitro study of cytotoxic and genotoxic properties. In *2010 TAPPI International Conference on Nanotechnology for the Forest Product Industry* (pp. 246-261). TAPPI Press. <http://www.tappi.org/content/events/10nano/papers/5.4>.

Parra-Palma, C., Morales-Quintana, L., & Ramos, P. (2020). Phenolic content, color development, and pigment-related gene expression: A comparative analysis in different cultivars of strawberry during the ripening process. *Agronomy*, 10 (4), 588. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040588>.

Patras, A., Brunton, N. P., Da Pieve, S., & Butler, F. (2009). Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(3), 308-313. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.12.004>

Poraziz, S., Nazoori, F., Mirdehghan, S. H., & Esmailzadeh, M. (2019). The effect of sodium alginate coating on the shelf life of Gaviota strawberry fruit . *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50 (3), 515-526.(in persian)

Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M. S., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G., & Scortichini, M. (2015). Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. *Foods*, 4(4), 501-523. <https://doi.org/10.3390/foods4040501>.

Rawia, A. E., Lobna, S. T., & Soad, M. M. I. (2011). Alleviation of adverse effects of salinity on growth, and chemical constituents of marigold plants by using glutathione and ascorbate. *Journal of Applied Sciences Research*, 7 (5), 714-721.

Rux, G., Mahajan, P. V., Linke, M., Pant, A., Sänglerlaub, S., Caleb, O. J., & Geyer, M. (2016). Humidity-regulating trays: moisture absorption kinetics and applications for fresh produce packaging. *Food and bioprocess technology*, 9, 709-716. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1671-0>.

Ruffo Roberto, S., Youssef, K., Hashim, A. F., & Ippolito, A. (2019). Nanomaterials as alternative control means against postharvest diseases in fruit crops. *Nanomaterials*, 9 (12), 1752. <https://doi.org/10.3390/nano9121752>.

Râpă, M., Darie-Niță, R. N., & Coman, G. (2024). Valorization of fruit and vegetable waste into sustainable and value-added materials. *In Waste MDPI*. 2 (3). 258-278). <https://doi.org/10.3390/waste2030015>

Souza, L. O., Lessa, O. A., Dias, M. C., Tonoli, G. H. D., Rezende, D. V. B., Martins, M. A., & Franco, M. (2019). Study of morphological properties and rheological parameters of cellulose nanofibrils of cocoa shell (*Theobroma cacao* L.). *Carbohydrate polymers*, 214, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.037>

Serpa, A., Velásquez-Cock, J., Gañán, P., Castro, C., Vélez, L., & Zuluaga, R. (2016). Vegetable nanocellulose in food science: A review. *Food Hydrocolloids*, 57, 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.01.023>.

Shahbazi, Y. (2018). Application of carboxymethyl cellulose and chitosan coatings containing *Mentha spicata* essential oil in fresh strawberries. *International journal of biological macromolecules*, 112, 264-272. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.186>.

Shehata, S. A., Abdeldaym, E. A., Ali, M. R., Mohamed, R. M., Bob, R. I., & Abdelgawad, K. F. (2020). Effect of some citrus essential oils on post-harvest shelf life and physicochemical quality of strawberries during cold storage. *Agronomy*, 10 (10), 1466. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101466>.

Shahzad Saleem, M. S., Anjum, M. A., Naz, S., Ali, S., Hussain, S., Azam, M., & Ejaz, S. (2021). Incorporation of ascorbic acid in chitosan-based edible coating improves postharvest quality and storability of strawberry fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 189, 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.051>.

Serradell, M. D. L., Rozenfeld, P. A., Martínez, G. A., Civello, P. M., Chaves, A. R., & Añón, M. C. (2000). Polyphenoloxidase activity from strawberry fruit (*Fragaria × ananassa*, Duch., cv Selva): characterisation and partial purification. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80 (9): 1421-1427. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200007\)80:9%3C1421::AID-JSFA649%3E3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200007)80:9%3C1421::AID-JSFA649%3E3.0.CO;2-K)

Sogvar, O. B., Saba, M. K., & Emamifar, A. (2016). Aloe vera and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest biology and Technology*, 114, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.019>.

Sun, X., Baldwin, E., & Bai, J. (2019). Applications of gaseous chlorine dioxide on postharvest handling and storage of fruits and vegetables—A review. *Food Control*, 95, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.044>

Tanada-Palmu, P. S., & Grosso, C. R. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest biology and technology*, 36 (2), 199-208. doi: 10.1016/j.postharvbio.2004.12.003

Valero, D., Díaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., & Serrano, M. (2013). Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.10.011>.

Wang, S. Y., & Gao, H. (2013). Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *LWT-Food Science and Technology*, 52 (2), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.003>.

Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., & Li, L. (2019). The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.002>.

Villa-Rojas, R., Sosa-Morales, M. E., López-Malo, A., & Tang, J. (2012). Thermal inactivation of *Botrytis cinerea* conidia in synthetic medium and strawberry puree. *International journal of food microbiology*, 155(3), 269-272. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.02.021>.

Zambrano-Zaragoza, M. L., Quintanar-Guerrero, D., Del Real, A., González-Reza, R. M., Cornejo-Villegas, M. A., & Gutiérrez-Cortez, E. (2020). Effect of nano-edible coating based on beeswax solid lipid nanoparticles on strawberry's preservation. *Coatings*, 10 (3), 253. <https://doi.org/10.3390/coatings10030253>

The effect of postharvest application of nanocellulose containing the extract Myrtle on the quality characteristics and shelf life of Paros strawberry fruit

Extended abstract introduction

Strawberry (*Fragaria × ananassa*) is an economically important fruit widely cultivated worldwide and is known for its desirable aroma, taste, and flavor. It is a valuable source of minerals, vitamins, anthocyanins, flavonoids, and phenolic compounds, all of which contribute substantially to human health and nutrition. However, strawberries are highly perishable and require specialized postharvest handling. They are particularly vulnerable to deterioration, postharvest diseases, and microbial contamination, factors that can negatively impact their quality attributes and diminish their nutritional value. *Myrtus communis* L. (Myrtle) is a medicinal plant with a rich history of use in traditional medicine, and its diverse therapeutic properties have long been a subject of scientific inquiry. This evergreen shrub is indigenous to regions of Asia and the Mediterranean. Numerous studies have demonstrated that various extracts derived from *M. communis* contain potent antioxidant compounds, including flavonoids, phenolic acids, tannins, and α -tocopherol.

Material and methods

'Paros' cultivar strawberries were harvested from a commercial greenhouse in Kurdistan, Iran, and immediately transported to the Horticultural Science Laboratory, Faculty of Agriculture, Lorestan University. Nanocellulose gel, sourced from Polymer Nano Novin (Gorgan, Iran), was used to prepare the coating solution. Specifically, a 1.5% (w/v) nanocellulose suspension was stirred for one hour. Following this, 20% (v/v) glycerol (as a plasticizer) and myrtle extract (at 2% and 4% (w/v) concentrations) were incorporated into the nanocellulose suspension. The resulting solution was then sonicated and immediately applied to the harvested strawberries.

Results and Discussion

Analysis of variance indicated significant interactions between storage time, nanocellulose concentration, and myrtle extract concentration for both weight loss and ascorbic acid content. A significant interaction between storage time and myrtle extract concentration was also observed for firmness, Titratable acidity and pH. The interaction between storage time and nanocellulose concentration significantly affected Titratable acidity, while the interaction between nanocellulose and myrtle extract concentrations significantly influenced pH. Coating strawberry fruits with a nanocellulose-myrtle extract formulation improved their physicochemical characteristics. Specifically, fruits treated with 1.5% nanocellulose and 2% myrtle extract exhibited the lowest weight loss, lowest polyphenol oxidase activity, and highest ascorbic acid content. In general, this combined treatment (1.5% nanocellulose and 2% myrtle extract) improved ascorbic acid retention, inhibited polyphenol oxidase activity, and reduced weight loss. Given the economic importance of strawberries and their high postharvest losses, this treatment is recommended for enhancing fruit quality and extending shelf life. Strawberries are highly perishable due to their thin skin, making them susceptible to rapid water loss. Weight loss during storage is primarily attributed to increased respiration rates and transpiration, the evaporative loss of water from the fruit surface. Edible coatings provide a protective barrier, impeding water transfer and evaporation, thus mitigating water loss. Composite coatings may enhance ascorbic acid content by minimizing oxidation at the coating interface and restricting gas exchange. Furthermore, these coatings can preserve vitamin content by regulating gas exchange and respiration, while also reducing light exposure and maintaining a modified internal fruit atmosphere.

Conclusion

Generally, the application of a nanocellulose-extract coating (1.5% nanocellulose, 2% extract) proved effective in maintaining key quality attributes of strawberries during storage. Specifically, this treatment significantly reduced weight loss, a major factor in postharvest deterioration, and inhibited polyphenol oxidase activity, an enzyme linked to browning. Critically, the coating also preserved ascorbic acid content, an important nutritional component. These findings suggest that this coating formulation has considerable potential for enhancing the postharvest life and marketability of strawberries.

Key words: Coating, Extract, Myrtle nanocellulose, Phenolic compounds, Strawberry