



Investigating the effects of chitosan and *Aloe vera* coatings on the post-harvest life, quality and bioactive compounds of *strawberry camarosa*

Pooya Jalali¹, Abdolrasoul Zakrin^{2*}, Abdolhossein Aboutalebi Jahromi³,
Hamid Sadeghi⁴

¹ Department of Horticulture, Jahrom Branch, Islamic Azad University, Jahrom, Iran, Email: Pooya.jalalii@gmail.com

² Department of Horticulture, Jahrom Branch, Islamic Azad University, Jahrom, Iran, Email: a.zakrin@iau.ac.ir

³ Department of Horticulture, Jahrom Branch, Islamic Azad University, Jahrom, Iran, Email: a.aboutalebi@iau.ac.ir

⁴ Department of Biology, Jahrom Branch, Islamic Azad University, Jahrom, Iran, Email: h.sadeghi@iau.ac.ir

Article type:

Research article

Abstract

Article history

Received:29.11.2023

Revised:18.03.2024

Accepted:23.03.2024

Published:21.03.2025

Keywords

Total Phenol
Antioxidant Capacity
Soluble Solids
Titratable Acid
Taste Index
Decay Percentage

Strawberry is one of the perishable fruits, prompting significant efforts in recent decades to extend their shelf life and enhance their nutritional value under post-harvest conditions, using methods other than fungicides. Considering the importance of the subject, in the present study, the effects of seven treatments of chitosan coating (0.5, 0.75 and 1 % solutions), *Aloe vera* gel (0.25, 0.50 and 0.75% solutions) along with a control on shelf life and the quality of the strawberry product was investigated in warehouse conditions (4 °C and 90% relative humidity). On the 3rd, 6th, and 12th days of storage, the quality and life indicators of the fruits were evaluated after harvesting. The use of edible coatings reduced the rate of weight loss, fruit decay, soluble solids content, fruit juice pH and taste index during the storage period compared to the control. In contrast, the content of titratable acids, vitamin C, tissue stiffness, phenolic compounds and antioxidant capacity increased compared to the control. Among the treatments, the use of chitosan 1% and *Aloe vera* 0.75% were the most effective in increasing the storage life and quality of strawberry fruit. The results of this study recommended the application of these coatings as edible and safe coatings for the consumer.

Introduction: Strawberry is a highly perishable fruit with a short post-harvest life due to its high respiration rate, soft texture, and susceptibility to microbial decay. The use of edible coatings has been recognized as an effective approach to extend the shelf life of fresh produce by reducing moisture loss, gas exchange, and microbial growth. Chitosan and *Aloe vera* gel are among the most promising natural coating materials because of their biodegradability, safety, and antimicrobial and antioxidant properties. Chitosan acts as a semi-permeable barrier to gases and water vapor, reduces respiration and ethylene production, and inhibits the growth of postharvest pathogens. *Aloe vera* gel, rich in polysaccharides, phenolic compounds, and bioactive metabolites, can form a protective layer on fruit surfaces and delay senescence. This study aimed to evaluate the effects of different concentrations of chitosan and *Aloe vera* gel coatings on postharvest quality, antioxidant capacity, and storage life of strawberry fruits under cold storage conditions.

Materials and Methods: Uniform, commercially mature strawberry fruits (cv. *Camarosa*) were harvested from a hydroponic greenhouse and

transferred to the laboratory. Fruits were treated with three concentrations of *Aloe vera* gel (0.25, 0.50, and 0.75%) and three concentrations of chitosan (0.50, 0.75, and 1%), while untreated fruits served as the control. Coatings were applied by dipping, followed by air-drying. Treated and control fruits were stored at 4 °C and 90% relative humidity for 12 days. Measurements were conducted on days 0, 3, 6, and 12. Evaluated parameters included weight loss, decay percentage, total soluble solids, titratable acidity, pH, flavor index, vitamin C content, fruit firmness, total phenolic content, and antioxidant activity (DPPH assay). The experiment was arranged in a factorial completely randomized design with three replications, and data were analyzed using ANOVA and Duncan's multiple range test at a 1% significance level.

Results and Discussion: The results showed that storage time, coating type, and their interaction significantly affected all quality attributes. Weight loss and decay increased with storage duration, but significantly reduced by both coatings compared to the control. Fruits treated with 0.75% *Aloe vera* gel and 1% chitosan exhibited the lowest weight loss and decay incidence. Coated fruits maintained higher titratable acidity, vitamin C content, firmness, total phenolic compounds, and antioxidant capacity, while showing lower increases in total soluble solids and pH. The improved quality was attributed to reduced respiration rate, delayed metabolic activity, moisture retention, and the antimicrobial and antioxidant properties of the coatings. Chitosan and *Aloe vera* gel effectively delayed senescence and preserved nutritional and sensory quality during cold storage.

Conclusion: Overall, the application of edible coatings based on *Aloe vera gel* and chitosan effectively extended the storage life and maintained the postharvest quality of strawberry fruits. *Aloe vera* gel at 0.75% and chitosan at 1% were the most effective treatments. Given their natural origin, safety, and availability, especially the lower cost of *Aloe vera* gel, these coatings can be recommended as sustainable alternatives to synthetic preservatives for postharvest management of strawberries.

Cite this article as: Jalali, P., Zakrin, A., Aboutalebi Jahromi, A.H., Sadeghi, H. (2025). Investigating the effects of chitosan and *Aloe vera* coatings on the post-harvest life, quality and bioactive compounds of *strawberry camarosa*. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 77(1): 89-110.



©The author(s)

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

Doi: <https://doi.org/10.71890/iper.2025.984468>

بررسی و مقایسه پوشش کیتوسان و آلوهورا بر عمر پس از برداشت، کیفیت و ترکیبات زیست فعال توت فرنگی رقم کاماروسا (*Strawberry camarosa*)

پویا جلالی^۱، عبدالرسول ذاکرین^{۲*}، عبدالحسین ابوطالبی جهرمی^۳، حمید صادقی^۴

^۱ گروه باغبانی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران. Poiya.jalalii@gmail.com

^۲ گروه باغبانی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران. a.zakrin@iau.ac.ir

^۳ گروه باغبانی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران. a.aboutalebi@iau.ac.ir

^۴ گروه زیست شناسی، واحد جهرم، دانشگاه آزاد اسلامی، جهرم، ایران. h.sadeghi@iau.ac.ir

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

توت فرنگی از جمله میوه های فسادپذیر است و از این رو در دهه های اخیر تلاش فراوانی در راستای افزایش ماندگاری توت فرنگی و حفظ ارزش تغذیه ای آن در شرایط پس از برداشت با روش هایی غیر از کاربرد قارچ کش ها صورت گرفته است. با توجه به اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر اثرات کاربرد هفت تیمار پوشش شامل سه تیمار کیتوسان (محلول ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱ درصد)، سه تیمار ژل آلوهورا (محلول ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ درصد) به همراه شاهد بر عمر انباری و کیفیت محصول توت فرنگی در شرایط انبار (دمای ۴ درجه سانتیگراد با رطوبت ۹۰ درصد) مورد بررسی قرار گرفت. در روزهای ۳، ۶ و ۱۲ انبارمانی، شاخص های کیفی و عمر پس از برداشت میوه ها ارزیابی شد. کاربرد پوشش های خوراکی میزان اتلاف وزن، پوسیدگی میوه، محتوای مواد جامد محلول، pH آب میوه و شاخص طعم را در طول دوره انبارمانی نسبت به شاهد کاهش داد. در مقابل موجب افزایش محتوای اسیدهای قابل تیتر، ویتامین ث، سفتی بافت، ترکیبات فنولی و ظرفیت آنتی اکسیدانی نسبت به شاهد گشت. در بین تیمارهای مورد استفاده، کاربرد کیتوسان ۱ درصد و آلوهورا ۰/۷۵ درصد بیشترین کارایی را در افزایش عمر انباری و کیفیت میوه توت فرنگی داشتند. نتایج این پژوهش استفاده از این مواد را به عنوان پوشش های خوراکی و بی خطر برای مصرف کننده توصیه می کند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۰۴

تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

واژه های کلیدی:

فنول کل
ظرفیت آنتی اکسیدانی
مواد جامد محلول
اسید قابل تیتر
شاخص طعم
درصد پوسیدگی

استناد: جلالی، پویا؛ ذاکرین، عبدالرسول؛ ابوطالبی جهرمی، عبدالحسین؛ صادقی، حمید (۱۴۰۴). بررسی و مقایسه پوشش

کیتوسان و آلوهورا بر عمر پس از برداشت، کیفیت و ترکیبات زیست فعال توت فرنگی رقم کاماروسا (*Strawberry*

camarosa). فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۷۷ (۱)، ۸۹-۱۱۰.

DOI <https://doi.org/10.71890/iper.2025.984468>:

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی گرگان

© نویسندگان.



مقدمه

توت‌فرنگی از جمله میوه‌های فسادپذیر است و یکی از روش‌های کارآمد برای افزایش عمر تازه محصولات فسادپذیر، استفاده از پوشش‌های خوراکی است. پوشش خوراکی به عنوان لایه نازکی از مواد است که برای مصرف کننده قابل خوردن بوده و به عنوان مانعی در مقابل انتقال گازها و بخار آب عمل می‌کند. پوشش‌های خوراکی می‌توانند به عنوان جایگزین مواد شیمیایی برای افزایش عمر میوه‌ها و سبزی‌های تازه مورد استفاده قرار گیرند و اثراتی مشابه انبارهای با اتمسفر کنترل‌شده داشته باشند (Raybaudi-Massilia et al., 2006).

کیتوسان یکی از مواد پوششی برای میوه‌ها است که در حال حاضر چشم‌انداز امیدوارکننده‌ای دارد. پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی کیتوسان در میوه‌ها و سبزی‌هایی از جمله توت‌فرنگی، سیب، گلابی، هلو، خرما، خیار، فلفل دلمه‌ای به کار رفته است (Dhall, 2013). کیتوسان به عنوان یک سد نیمه نفوذپذیر عالی در برابر اکسیژن، دی‌اکسید کربن و رطوبت عمل می‌کند. در نتیجه تنفس و هدر رفتن آب را کاهش داده و با کمبود آب و کوچک شدن میوه مقابله می‌کند، از این رو، بلوغ و پیری را عقب می‌اندازد (Petriccione et al., 2015). پوشش کیتوسان به واسطه ایجاد مانع در مقابل عبور گازها، باعث کاهش تلفات آب در میوه، تبادلات گازی، تولید اتیلن و تثبیت مواد جامد محلول می‌گردد. همچنین کیتوسان با کاهش سطح اکسیژن، بالا بردن سطح CO_2 و جلوگیری از سنتز اتیلن، باعث اصلاح فضای داخل محصول می‌شود (Hong et al., 2012). کیتوسان خاصیت ضد قارچی داشته، از جوانه‌زنی اسپورها و رشد میکروب‌های بیماری‌زا نظیر بوتریتیس سینرا و رایزوپوس استولونیفر ممانعت می‌نماید (Petriccione et al., 2016). برهمکنش بین گروه‌های آمینی با

رادیکال‌های آزاد به کیتوسان خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌بخشد (Sabbaghi et al., 2015). کیتوسان در کاهش فعالیت آنزیم‌های پلی‌گالاکتروناز، بتا گالاکتوزیداز و پکتین متیل استراز که از مهم‌ترین آنزیم‌های تخریب کننده دیواره سلولی و مسئول نرم کردن میوه می‌باشند نقش دارد. پلی‌گالاکتروناز منجر به تخریب ترکیب پکتین رامنوگالاکترونان و افزایش پکتین محلول در بیشتر میوه‌ها می‌شود که نرم شدن بافت میوه را به دنبال دارد. میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با کیتوسان ۱،۵ درصد کمترین میزان سرعت تنفس را در مقایسه با میوه‌های بدون پوشش از خود نشان دادند، در حالی که میوه‌های بدون پوشش بالاترین سرعت تنفس را دارا بودند (Rahimi et al., 2018). همچنین کیتوسان باعث کند شدن در کاهش محتوی اسید آسکوربیک می‌شود که این می‌تواند مربوط به کاهش تنفس در میوه‌های دارای پوشش باشد (Ghasemi Tavalaei et al., 2015).

ژل آلوه یک هیدروکلوئید است که در واکنش یا دیواره سلول‌ها جا گرفته و برخلاف صمغ‌ها خاصیت چسبندگی ندارد. ژل آلوه‌ورا به طور تقریبی دارای ۹۹/۵ درصد آب و ۰/۵ درصد ماده جامد است که شامل ترکیباتی مثل پلی‌ساکاریدها، ویتامین‌ها، مواد معدنی، ترکیبات فنولی و اسیدهای آلی است. این ژل شفاف و بی‌بو، بدون چسبندگی و دارای قدرت جذب بالاست. ژل آلوه‌ورا کاملاً سالم و سازگار با محیط و pH آن حدوداً ۴/۵ است. مطالعات نشان داده است که آلوه‌ورا دارای ویژگی‌های ضد میکروبی، ضد اکسایشی، ضد ویروسی و ضد التهابی می‌باشد (Pal et al., 2013). ژل آلوه‌ورا جزء پوشش‌های پلی‌ساکاریدی با خاصیت کشسانی بالا است که به راحتی در آب حل شده و در تمام اطراف محصول به یک اندازه پخش می‌شود، این ژل به صورت یک لایه حفاظتی روی محصول عمل کرده و سلول‌های زیر

لایه حفاظتی را در مقابل صدمات مکانیکی محافظت کرده و از اتلاف آب میوه جلوگیری می‌کند. این پوشش با تأثیر بر روزنه و عدسک‌ها سرعت عبور گازها از پوست میوه را کاهش می‌دهد (Ahmad et al., 2009). در مطالعه‌ای سرعت رشد میکروبی در توت‌فرنگی تازه با پوشش‌دهی توسط ژل آلئوئورا کاهش یافت. همچنین در این مطالعه استفاده از پوشش‌های خوراکی حاوی ۴۰ درصد ژل آلئوئورا توانایی افزایش طول عمر نگهداری توت‌فرنگی تازه را تا ۱۶ روز بدون تأثیر منفی در اکثر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ویژگی‌های حسی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد داشت. باین حال به کارگیری ژل آلئوئورا، به عنوان پوشش خوراکی با هدف افزایش عمر ماندگاری و پس از برداشت توت‌فرنگی تازه برای نگه‌داری در زمان‌های طولانی، موثر نبود. بنابراین باید روش‌های تکمیلی برای افزایش طول عمر ماندگاری این محصول استراتژیک، به همراه پوشش‌دهی با ژل آلئوئورا، با غلظت ۴۰ درصد، به کار گرفته شود (Emamifar, 2014). آلئوئورا به دلیل داشتن خواص ضد میکروبی و ضدقارچی می‌تواند عمر پس از برداشت میوه‌ها را افزایش دهد (Rasouli et al., 2019). از این رو از این ماده می‌توان به عنوان یک پوشش خوراکی برای طولانی‌تر کردن کیفیت و ایمنی محصولات تازه استفاده نمود. این ژل نه تنها بر طعم غذا یا ظاهر آن اثر نمی‌گذارد بلکه به عنوان یک جایگزین امن و طبیعی به جای نگهدارنده‌های مصنوعی معمولی که در حال حاضر پس از برداشت محصول عمل می‌کنند، در نظر گرفته می‌شود. امروزه از پوشش‌های خوراکی ژل آلئوئورا برای کنترل از دست دادن رطوبت، کاهش پوسیدگی بافت استفاده می‌گردند. پوشش‌های خوراکی آلئوئورا می‌توانند اتمسفر درونی را تغییر دهند و شرایطی را همانند بسته‌بندی با اتمسفر کنترل شده برای میوه‌ها به وجود

آورند. این ترکیب برای سلامتی انسان مفید است و به عنوان جایگزینی مناسب به جای قارچ‌کش‌های شیمیایی مطرح شده است (Navaro et al., 2010). بر طبق گزارش‌های به دست آمده آنتراکوئینون، دی‌هیدروکسی آنتراکوئینون و ساپونین به عنوان مواد مؤثره آلئوئورا و مواد ضدقارچی در نظر گرفته می‌شود. ترکیبی دیگر به نام آسمانان با ساختمان پلی-ساکاریدی حاصل از گیاه آلئوئورا است که به صورت غیرمستقیم نقش ضد میکروبی خود را ایفا می‌کنند (Garcia-Sosa et al., 2006). ژل آلئوئورا از جوانه‌زنی و رشد میسیلیوم قارچ جلوگیری کرده و همچنین اثرات بازدارنده ترکیبات موجود در آن و جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های قارچ‌های بیماری‌زا ثابت شده است (Asghari et al., 2013). همچنین اعلام شده است این پوشش توانایی نابودی اسپورهای کپک پنیسیلیوم، بوتریتیس، آلترناریا، ریزوکتانیا، فوزاریوم و کلوتریکومرا دارا می‌باشد (Babaei et al., 2013). به طور کلی پوشش‌های خوراکی بر پایه آلئوئورا کاهش وزن را به تأخیر می‌اندازد، سرعت تنفس را کم می‌کند. علاوه بر این، این پوشش‌های خوراکی به حفظ کیفیت محصول، افزودن ویژگی‌های حسی، بهبود ایمنی محصول، تأخیر در کاهش وزن، تغییر رنگ، کاهش سفتی، افزایش ماده‌های جامد محلول، کاهش اسید قابل تیتر، کاهش تولید اتیلن، کاهش تنفس و در نتیجه منجر به تأخیر در فرایند رسیدن پس از برداشت میوه‌ها می‌شوند (Valero and Serrano et al., 2010).

با توجه به اینکه هر ساله مقدار قابل توجهی از محصول توت‌فرنگی در مراحل قبل و بعد از برداشت، از بین می‌رود در پژوهش حاضر اثرات هفت تیمار مختلف شامل سه تیمار کیتوسان، سه تیمار ژل آلئوئورا به همراه تیمار شاهد بر عمر انباری و کیفیت

محصول توت‌فرنگی در شرایط انبار مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مربوط به این پژوهش در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز انجام شد. میوه‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا از یک گلخانه کشت هیدروپونیک واقع در شهرستان جیرفت (استان کرمان) تهیه و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال یافت. برای انجام آزمایش‌های مربوط به این پژوهش از میوه‌های یکنواخت در مرحله بالغ تجاری استفاده شد. میوه‌ها در سه تیمار از محلول‌های ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ درصد ژل آلئوئورا و سه تیمار از محلول‌های ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱ درصد کیتوسان غوطه‌ور شدند و سپس در مجاورت هوا در آزمایشگاه خشک شدند، برای تیمار شاهد هیچ گونه محلولی استفاده نشد.

برای تهیه ژل آلئوئورا، برگ‌های تازه آلئوئورا به آزمایشگاه دانشگاه انتقال داده شد. سپس با آب مقطر استریل شستشو داده شدند. نوک، انتها و لبه برگ‌ها بریده و سپس با استفاده از یک چاقوی تیز قسمت میانی برگ به صورت طولی برش داده‌شده، پوست و برگ‌ها از وسط برگ که حاوی ژل می‌باشد جدا شد. ژل‌ها پس از جداسازی توسط یک مخلوط‌کن به مدت ۵ دقیقه به خوبی خرد و مخلوط شدند. مخلوط حاصل پس از عبور از صافی پارچه‌ای با هدف تولید ژل خالص جمع‌آوری گردید (Valverde et al., 2005). میوه‌ها را با اندازه و وزن یکسان در محلول رقیق شده ژل آلئوئورا با آب مقطر استریل در غلظت‌های مد نظر به مدت ۵ دقیقه غوطه‌ور شدند. میوه‌ها پس از انجام تیمار پوشش‌دهی از محلول خارج و آبکش شدند. پس از ۳۰ دقیقه و در دمای محیط میوه‌ها تا حدی که خشک شده و رطوبت سطحی آن‌ها تبخیر شده بود.

برای کیتوسان، کیتوسان در سه غلظت مختلف در محلول آبی اسید استیک (۰/۵ درصد حجمی) تهیه شد. محلول تا ۴۵ درجه سانتی گراد گرم شد و سپس pH محلول (۵/۲) با استفاده از NaOH تنظیم شد. پس از سرد شدن در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد، میوه‌های توت‌فرنگی در محلول کیتوسان برای ۶۰ ثانیه قرار گرفتند. مشابه تیمار قبلی، میوه‌ها پس از ۳۰ دقیقه و در دمای محیط میوه‌ها تا حدی که خشک شده به ظروف یک‌بار مصرف دارای ۳ منفذ جهت تهویه هوا انتقال یافته که در هر بسته، ۲۰ عدد توت‌فرنگی تازه قرار داشت.

پس از پوشش‌دار شدن، میوه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی گراد و رطوبت ۹۰ درصد نگهداری شدند و در روزهای ۳، ۶ و ۱۲ انبارمانی، اندازه‌گیری‌ها انجام شد. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. برای هر تیمار ۳ تکرار و در هر تکرار ۲۰ میوه در نظر گرفته شد.

شاخص‌های اندازه‌گیری شده

درصد کاهش وزن: کاهش وزن میوه‌ها با ترازوی دیجیتالی انجام گرفت و تفاوت وزن میوه‌های مشخص در روزهای اندازه‌گیری نسبت به روز اول محاسبه شد (Ali et al., 2011).

(وزن اولیه/وزن ثانیه - وزن اولیه) = کاهش وزن

$$100 \times$$

تعیین درصد پوسیدگی میوه: درصد خرابی به صورت مشاهده‌ای ارزیابی شد و با مشاهده گسترده‌گی میسیلیوم‌های کپک و وجود لکه‌های قهوه‌ای در سطح میوه توت‌فرنگی، آن میوه‌ها حذف شدند. میزان خرابی نسبت به کل میوه‌های موجود به صورت درصد محاسبه شد.

میزان کل مواد جامد محلول: برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول از دستگاه رفرکتومتر دیجیتالی (آتاگو - N1 و ساخت ژاپن) استفاده شد. چند قطره از عصاره آب میوه روی دکتور دستگاه ریخته شد و میزان مواد جامد محلول ثبت گردید. میزان مواد جامد به صورت درصد بیان گردید.

محتوای اسیدهای قابل تیتراسیون: برای اندازه‌گیری میزان اسیدیت قابل تیتر از روش تیتراسیون با سود (هیدروکسید سدیم) ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH عصاره ۸/۲ استفاده شد. طبق رابطه زیر محاسبه و به صورت درصد اسید سیتریک (اسید آلی غالب) بیان گردید (Ayala-Zavala et al., 2005):

$$\text{اسیدیت کل} = (\text{مقدار سود} \times ۰,۰۶۴) / \text{حجم نمونه}$$

شاخص طعم و pH میوه: از تقسیم کردن مواد جامد محلول بر اسیدیت قابل تیتر شاخص طعم به دست آمد. درجه pH آب میوه با دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد (HosseiniFarahi et al., 2020).

محتوای ویتامین ث: ویتامین ث با استفاده از روش Malik و Singh (۲۰۰۵)، به وسیله تیتراسیون با یدید پتاسیم تعیین شد. مقدار ویتامین ث با استفاده از فرمول زیر بر حسب میلی گرم در ۱۰۰ گرم محاسبه می‌شود:

$$\text{ویتامین ث} = (\text{مقدار محلول ید مصرفی} \times ۰/۸۸ \times ۲۵) / (۱۰۰)$$

سفتی بافت میوه: برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه توت‌فرنگی، از هر تکرار ۵ میوه به طور تصادفی انتخاب شده و با استفاده از سفتی‌سنج اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری از دستگاه پترومتر لوترون FR-5120 ساخت تایوان با یک پروب ۳ میلی متری استفاده شد.

استخراج عصاره: استخراج عصاره جهت اندازه‌گیری فعالیت آن‌تی اکسیدانی و فنل کل آب میوه توت

فرنگی همراه با متانول خالص به نسبت ۱:۱۰ (۵ میلی لیتر متانول و ۰/۵ میلی لیتر آب میوه) با استفاده از دستگاه اولتراسونیک در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه با هم مخلوط شدند سپس مخلوط حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ با دور ۵۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. در نهایت محلول رویی را در میکروتیوب ریخته و تا زمان آنالیز در دمای -۲۰ درجه سانتیگراد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری محتوای فنل کل: برای سنجش محتوای فنل کل از روش Folin-ciocalteau استفاده شد به این صورت که ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی را با ۵۰۰ میکرولیتر از محلول فولین ۱۰ درصد مخلوط کرده و پس از ۳ دقیقه ۴۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم (۷ مولار) به آن اضافه شد. بعد از گذشت ۲ ساعت در دمای اتاق و تاریکی، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مقدار جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت شد.

اندازه‌گیری فعالیت آن‌تی اکسیدان: ظرفیت آنتیاکسیدان با استفاده از روش رادیکال آزاد DPPH ارزیابی شد. به این صورت که ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۳ میلی لیتر محلول DPPH (۰/۰۰۸ گرم DPPH در ۲۰۰ میلی لیتر متانول) مخلوط گردید و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی نگهداری شد. تغییرات جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانو متر قرائت شد، ظرفیت آنتیاکسیدان کل طبق فرمول زیر محاسبه گردید.

$$\text{بازدارندگی} = \left[\frac{(Abs_0 - Abs_1)}{Abs_0} \right] \times 100$$

بازدارندگی

Abs₀: مقدار جذب بلنک

Abs₁: مقدار جذب نمونه

تجزیه و تحلیل آماری: آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل با دو عامل زمان (صفر، ۳، ۶ و ۱۲ روز پس از برداشت) و عامل نوع و غلظت ماده نگهدارنده (پوشش‌های کیتوسان و آلوه‌ورا) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. آزمایش با سه تکرار انجام شد و نتایج با نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه، تحلیل و میانگین با آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد مقایسه شد.

نتایج

بر اساس یافته‌های حاصل از این پژوهش، تأثیر مدت انبارمانی، نوع پوشش مورد استفاده و برهمکنش این عوامل بر پارامترهای کیفی میوه توت‌فرنگی شامل میزان مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، شاخص طعم، محتوای ویتامین ث، pH آب میوه، سفتی بافت، محتوای فنل کل، کیفیت ظاهری، درصد

پوسیدگی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و درصد کاهش وزن در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود. تحلیل آماری داده‌های حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف نشان داد که در تمامی مراحل ارزیابی، بیشترین درصد کاهش وزن میوه در نمونه‌های شاهد مشاهده شد. نمونه‌های شاهد پس از ۱۲ روز انبارمانی به طور کامل از بین رفتند و کاهش وزن آن‌ها ۱۰۰ درصد ثبت گردید. در روز سوم انبارمانی، نمونه‌های شاهد بیشترین میزان کاهش وزن را نشان دادند، در حالی که کاربرد تیمارهای کیتوسان با غلظت ۰/۷۵ درصد و آلوه‌ورا با غلظت‌های ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد منجر به کمترین میزان کاهش وزن در بین تیمارها شد. در روز ششم و دوازدهم انبارمانی، تیمارهای کیتوسان به ویژه در غلظت‌های ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد، کمترین میزان کاهش وزن را نشان دادند (جدول ۱).

جدول ۱: اثر برهمکنش مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف بر کاهش وزن میوه (%)

تیمارهای مختلف	مدت انبارمانی (روز)			درصد کاهش وزن میوه	
	روز سوم	روز ششم	روز دوازدهم	روز ششم	روز دوازدهم
شاهد	۱۴/۵۶ ^g ± ۰/۵	۴۰/۸۵ ^b ± ۰/۹	۱۰۰/۰۰ ^a ± ۰/۰		
آلوه ورا ۲۵ درصد	۱۲/۳۲ ^g ± ۰/۳	۳۸/۲۲ ^b ± ۰/۵	۴۰/۸۵ ^b ± ۰/۷		
آلوه ورا ۵۰ درصد	۲/۶۰ ^h ± ۰/۲	۲۷/۷۰ ^d ± ۰/۳	۳۱/۶۵ ^c ± ۰/۳		
آلوه ورا ۷۵ درصد	۱/۴۲ ^h ± ۰/۱	۲۶/۸۴ ^{de} ± ۰/۵	۳۰/۵۶ ^c ± ۰/۳		
کیتوسان ۰/۵ درصد	۱۲/۸۵ ^g ± ۰/۸	۱۲/۳۵ ^g ± ۰/۲	۳۲/۹۶ ^c ± ۰/۷		
کیتوسان ۰/۷۵ درصد	۳/۷۸ ^h ± ۰/۶	۲۲/۴۵ ^{ef} ± ۰/۵	۲۳/۷۶ ^{ef} ± ۰/۴		
کیتوسان ۱ درصد	۱۱/۸۰ ^g ± ۰/۵	۲۱/۱۳ ^f ± ۰/۶	۲۵/۰۷ ^{de} ± ۰/۵		

میانگین‌های دارای حرف مشابه دظ هر ستون و ردیف تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون دانکن ندارند.

بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف نشان داد که در روز سوم انبارمانی، هیچ گونه علائم پوسیدگی در تیمارها مشاهده نشد. نمونه‌های شاهد در روزهای ششم و دوازدهم بیشترین درصد پوسیدگی را نشان دادند.

میوه‌های تیمار شده با آلوه‌ورا ۰/۷۵ درصد و کیتوسان ۱ درصد در روزهای ششم و دوازدهم انبارمانی، کمترین درصد پوسیدگی را در مقایسه با سایر تیمارها داشتند (جدول ۲).

جدول ۲: اثر برهمکنش مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف بر پوسیدگی میوه توت‌فرنگی (%).

تیمارهای مختلف	مدت انبارمانی (روز)				درصد پوسیدگی میوه	
	زمان برداشت	روز سوم	روز ششم	روز دوازدهم		
شاهد	۰/۰۰ ± ۰/۰	۰/۰۰ ± ۰/۰	۵۰/۰۰ ^b ± ۷/۸	۱۰۰/۰۰ ^a ± ۰/۰		
آلوه‌ورا ۲۵ درصد	-	۰/۰۰ ± ۰/۰	۲۷/۳۳ ^f ± ۶/۳	۳۴/۳۳ ^d ± ۷/۳		
آلوه‌ورا ۵۰ درصد	-	۰/۰۰ ± ۰/۰	۲۱/۰۰ ^{ij} ± ۴/۵	۲۸/۰۰ ^f ± ۴/۶		
آلوه‌ورا ۷۵ درصد	-	۰/۰۰ ± ۰/۰	۱۱/۳۳ ^o ± ۳/۷	۱۸/۳۳ ^k ± ۲/۹		
کیتوسان ۰/۵ درصد	-	۰/۰۰ ± ۰/۰	۳۳/۶۶ ^{de} ± ۴/۶	۴۰/۶۷ ^c ± ۵/۸		
کیتوسان ۰/۷۵ درصد	-	۰/۰۰ ± ۰/۰	۱۸/۰۰ ^k ± ۲/۹	۲۵/۰۰ ^h ± ۵/۵		
کیتوسان ۱ درصد	-	۰/۰۰ ± ۰/۰	۹/۰۰ ^{pq} ± ۱/۳	۱۶/۰۰ ^{lm} ± ۴/۴		

میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون و ردیف تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون دانکن ندارند.

تحلیل اثر متقابل مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف نشان داد که در زمان برداشت و روز سوم انبارمانی، میزان مواد جامد محلول در میوه‌ها در حداقل مقدار خود قرار داشت (جدول ۳). در روزهای سوم و ششم آزمایش، تیمار شاهد و در روز دوازدهم، تیمار آلوه‌ورا ۰/۲۵ درصد بیشترین میزان مواد جامد محلول را نشان دادند که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. سایر تیمارها میزان مواد جامد محلول به طور معنی‌داری کمتری نسبت به تیمارهای مذکور داشتند. در روز دوازدهم آزمایش، میوه‌های توت‌فرنگی مربوط به تیمار شاهد کاملاً از بین رفته بودند و مواد جامد محلول در آن‌ها قابل ارزیابی نبود.

تحلیل اثر متقابل مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف نشان داد که میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی در زمان برداشت بیشترین مقدار (۰,۳۰ درصد) را داشت. در روزهای سوم، ششم و دوازدهم، نمونه‌های شاهد کمترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون را نشان دادند. در روز سوم انبارمانی، میوه‌های تیمار شده با آلوه‌ورا ۰/۵۰ و ۰/۷۵ درصد و کیتوسان ۱ درصد دارای بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون بودند. در روز ششم، تیمارهای آلوه‌ورا ۰/۷۵ درصد و کیتوسان ۱ درصد بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون را نشان دادند. در روز دوازدهم، بیشترین محتوای اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمار کیتوسان ۱ درصد مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۳: اثر برهمکنش مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف بر میزان مواد جامد محلول میوه توت‌فرنگی (°Brix).

تیمارهای مختلف	مدت انبارمانی (روز)				مواد جامد محلول (درجه بریکس)	
	زمان برداشت	روز سوم	روز ششم	روز دوازدهم		
شاهد	۳/۷۷ ^{ef} ± ۰/۰۱	۴/۴۸ ^{bc} ± ۰/۰۱	۶/۱۰ ^a ± ۰/۰۴	۰/۰۰ ⁱ ± ۰/۰		
آلوه‌ورا ۲۵ درصد	-	۴/۳۳ ^{cd} ± ۰/۰۲	۴/۲۴ ^{de} ± ۰/۰۳	۵/۸۰ ^a ± ۰/۰۳		
آلوه‌ورا ۵۰ درصد	-	۳/۹۲ ^{de} ± ۰/۰۲	۴/۵۰ ^{bc} ± ۰/۰۳	۴/۶۷ ^a ± ۰/۰۲		
آلوه‌ورا ۷۵ درصد	-	۳/۱۳ ^h ± ۰/۰۲	۴/۶۶ ^b ± ۰/۰۲	۴/۳۰ ^{cd} ± ۰/۰۲		
کیتوسان ۰/۵ درصد	-	۳/۹۹ ^{de} ± ۰/۰۱	۴/۲۹ ^{cd} ± ۰/۰۲	۴/۳۳ ^{cd} ± ۰/۰۲		
کیتوسان ۰/۷۵ درصد	-	۳/۸۰ ^{ef} ± ۰/۰۳	۳/۵۶ ^{fg} ± ۰/۰۱	۴/۰۰ ^d ± ۰/۰۳		
کیتوسان ۱ درصد	-	۳/۶۱ ^{fg} ± ۰/۰۴	۳/۴۶ ^g ± ۰/۰۱	۴/۰۰ ^d ± ۰/۰۳		

میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون و ردیف تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون دانکن ندارند.

جدول ۴: اثر برهمکنش مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف بر میزان اسید قابل تیتر میوه توت‌فرنگی (%).

تیمارهای مختلف	مدت انبارمانی (روز)			اسیدیته کل (%)	
	زمان برداشت	روز سوم	روز ششم	روز دوازدهم	
شاهد	۰/۳۰ ^a ± ۰/۰۰۴	۰/۲۰ ^{de} ± ۰/۰۰۲	۰/۱۸ ^f ± ۰/۰۰۳	۰/۰۰ ^g ± ۰/۰	
آلوه ورا ۲۵ درصد	-	۰/۲۶ ^{bc} ± ۰/۰۰۵	۰/۲۰ ^{de} ± ۰/۰۰۴	۰/۱۸ ^f ± ۰/۰۰۵	
آلوه ورا ۵۰ درصد	-	۰/۲۹ ^{ab} ± ۰/۰۰۴	۰/۲۳ ^{cd} ± ۰/۰۰۱	۰/۱۹ ^{ef} ± ۰/۰۰۲	
آلوه ورا ۷۵ درصد	-	۰/۳۰ ^a ± ۰/۰۰۲	۰/۲۶ ^{bc} ± ۰/۰۰۴	۰/۲۴ ^{cd} ± ۰/۰۰۲	
کیتوسان ۰/۵ درصد	-	۰/۲۴ ^{cd} ± ۰/۰۰۵	۰/۱۹ ^{ef} ± ۰/۰۰۳	۰/۲۰ ^{de} ± ۰/۰۰۳	
کیتوسان ۰/۷۵ درصد	-	۰/۲۷ ^{bc} ± ۰/۰۰۳	۰/۲۱ ^{de} ± ۰/۰۰۱	۰/۲۳ ^{de} ± ۰/۰	
کیتوسان ۱ درصد	-	۰/۲۹ ^{ab} ± ۰/۰۰۷	۰/۲۵ ^{cd} ± ۰/۰۰۲	۰/۲۵ ^{cd} ± ۰/۰۰۳	

میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون و ردیف تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون دانکن ندارند.

جدول ۵: اثر برهمکنش مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف بر شاخص طعم میوه توت‌فرنگی

تیمارهای مختلف	مدت انبارمانی (روز)			شاخص طعم میوه	
	زمان برداشت	روز سوم	روز ششم	روز دوازدهم	
شاهد	۹/۹۶ ^f ± ۱/۰	۲۲/۰۹ ^{bc} ± ۲/۲	۳۳/۲۷ ^a ± ۱/۷	۰/۰۰ ^g ± ۰/۰	
آلوه ورا ۲۵ درصد	-	۱۶/۳۹ ^{de} ± ۱/۶	۲۱/۶۸ ^{bc} ± ۲/۷	۳۲/۲۷ ^a ± ۱/۹	
آلوه ورا ۵۰ درصد	-	۱۳/۴۰ ^{ef} ± ۲/۲	۱۹/۶۶ ^{cd} ± ۱/۳	۲۴/۵۱ ^b ± ۲/۳	
آلوه ورا ۷۵ درصد	-	۱۰/۴۴ ^f ± ۲/۲	۱۷/۵۶ ^{de} ± ۴/۳	۱۷/۷۲ ^{de} ± ۱/۲	
کیتوسان ۰/۵ درصد	-	۱۶/۶۰ ^d ± ۳/۳	۲۲/۰۴ ^{bc} ± ۳/۳	۲۱/۰۵ ^{bc} ± ۳/۴	
کیتوسان ۰/۷۵ درصد	-	۱۳/۷۴ ^{ef} ± ۵/۱	۱۶/۸۳ ^{de} ± ۳/۲	۱۶/۷۷ ^{de} ± ۲/۶	
کیتوسان ۱ درصد	-	۱۲/۳۰ ^{ef} ± ۴/۳	۱۳/۸۵ ^{ef} ± ۳/۵	۱۵/۵۵ ^{ef} ± ۱/۱	

میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون و ردیف تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون دانکن ندارند.

بررسی اثر متقابل مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف نشان داد که در روز ششم انبارمانی، میوه‌های مربوط به تیمار شاهد (۳۳،۱) و همچنین میوه‌های تیمار شده با کیتوسان ۰/۵۰ درصد و آلوه‌ورا ۰/۲۵ درصد بیشترین شاخص طعم میوه را داشتند (جدول ۵). در روز دوازدهم انبارمانی، تیمار آلوه‌ورا ۰/۲۵ درصد (۳۲،۱) بیشترین میزان شاخص طعم را در بین تیمارها نشان داد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت.

تحلیل اثر متقابل مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف نشان داد که در زمان برداشت، میزان pH آب میوه برابر با ۴،۱۴ بود که کمترین مقدار را داشت. در روزهای سوم و ششم، تیمار شاهد دارای بیشترین میزان pH بود. در روز سوم، تیمار آلوه‌ورا ۰/۷۵ درصد و در روزهای ششم و دوازدهم، تیمار کیتوسان ۱ درصد کمترین میزان pH را نشان دادند (جدول ۶).

جدول ۶: اثر برهمکنش مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف بر pH آب میوه توت‌فرنگی

مدت انبارمانی (روز)				pH آب میوه
تیمارهای مختلف	زمان برداشت	روز سوم	روز ششم	روز دوازدهم
شاهد	۴/۱۴ ± ۰/۰۶	۴/۹۳ ^{cd} ± ۰/۰۴	۵/۱۶ ^{ab} ± ۰/۰۵	۰/۰۰ ^g ± ۰/۰
آلونه ورا ۲۵ درصد	—	۴/۲۹ ^{ef} ± ۰/۰۴	۵/۰۳ ^{bc} ± ۰/۰۷	۵/۲۷ ^a ± ۰/۰۵
آلونه ورا ۵۰ درصد	—	۴/۳۰ ^{ef} ± ۰/۰۳	۴/۹۶ ^{cd} ± ۰/۰۶	۵/۱۶ ^{ab} ± ۰/۰۵
آلونه ورا ۷۵ درصد	—	۴/۲۶ ^f ± ۰/۰۴	۴/۸۳ ^{cd} ± ۰/۰۳	۵/۰۴ ^{bc} ± ۰/۰۵
کیتوسان ۰/۵ درصد	—	۴/۵۳ ^{de} ± ۰/۰۶	۴/۹۷ ^{cd} ± ۰/۰۵	۵/۰۷ ^{bc} ± ۰/۰۵
کیتوسان ۰/۷۵ درصد	—	۴/۴۳ ^{ef} ± ۰/۰۵	۴/۸۵ ^{cd} ± ۰/۰۴	۴/۹۴ ^{cd} ± ۰/۰۳
کیتوسان ۱ درصد	—	۴/۳۰ ^{ef} ± ۰/۰۶	۴/۶۰ ^{de} ± ۰/۰۶	۴/۸۶ ^{cd} ± ۰/۰۴

میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون و ردیف تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون دانکن ندارند.

جدول ۷: اثر برهمکنش مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف بر محتوای ویتامین ث آب میوه توت‌فرنگی (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر)

مدت انبارمانی (روز)				ویتامین ث (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر)
تیمارهای مختلف	زمان برداشت	روز سوم	روز ششم	روز دوازدهم
شاهد	۶/۲۸ ^a ± ۰/۰۳	۶/۲۸ ^a ± ۰/۰۵	۶/۱۳ ^a ± ۰/۰۳	۰/۰۰ ^g ± ۰/۰
آلونه ورا ۲۵ درصد	—	۴/۸۹ ^{ef} ± ۰/۰۳	۵/۰۸ ^{de} ± ۰/۰۶	۴/۶۴ ^f ± ۰/۰۴
آلونه ورا ۵۰ درصد	—	۵/۱۳ ^{de} ± ۰/۰۱	۵/۲۳ ^{cd} ± ۰/۰۵	۴/۷۹ ^{ef} ± ۰/۰۴
آلونه ورا ۷۵ درصد	—	۶/۱۳ ^a ± ۰/۰۲	۶/۰۵ ^{ab} ± ۰/۰۵	۵/۹۶ ^{bc} ± ۰/۰۳
کیتوسان ۰/۵ درصد	—	۵/۱۳ ^{de} ± ۰/۰۵	۵/۲۸ ^{cd} ± ۰/۰۳	۴/۸۴ ^{ef} ± ۰/۰۵
کیتوسان ۰/۷۵ درصد	—	۵/۷۲ ^{bc} ± ۰/۰۳	۵/۸۶ ^{bc} ± ۰/۰۳	۵/۳۷ ^{cd} ± ۰/۰۵
کیتوسان ۱ درصد	—	۶/۳۴ ^a ± ۰/۰۶	۶/۰۵ ^{ab} ± ۰/۰۵	۵/۹۱ ^{bc} ± ۰/۰۳

میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون و ردیف تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون دانکن ندارند.

جدول ۸: اثر برهمکنش مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف بر سفتی بافت میوه توت‌فرنگی (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)

مدت انبارمانی (روز)				سفتی بافت میوه (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)
تیمارهای مختلف	زمان برداشت	روز سوم	روز ششم	روز دوازدهم
شاهد	۲/۵۰ ^a ± ۰/۶	۲/۲۱ ^{de} ± ۰/۳	۱/۶۶ ^g ± ۰/۰۱	۰/۰۰ ^h ± ۰/۰
آلونه ورا ۲۵ درصد	—	۲/۵۰ ^a ± ۰/۲	۱/۸۹ ^f ± ۰/۱	۲/۰۶ ^e ± ۰/۲
آلونه ورا ۵۰ درصد	—	۲/۴۳ ^{ab} ± ۰/۲	۲/۳۶ ^{bc} ± ۰/۲	۲/۲۶ ^{de} ± ۰/۲
آلونه ورا ۷۵ درصد	—	۲/۴۶ ^{ab} ± ۰/۵	۲/۳۳ ^{bc} ± ۰/۳	۲/۳۴ ^{bc} ± ۰/۱
کیتوسان ۰/۵ درصد	—	۲/۱۷ ^{de} ± ۰/۳	۲/۱۰ ^e ± ۰/۴	۲/۰۲ ^e ± ۰/۳
کیتوسان ۰/۷۵ درصد	—	۲/۴۰ ^{ab} ± ۰/۳	۲/۲۶ ^{cd} ± ۰/۲	۲/۳۱ ^{cd} ± ۰/۲
کیتوسان ۱ درصد	—	۲/۵۰ ^a ± ۰/۴	۲/۳۳ ^{bc} ± ۰/۲	۲/۲۰ ^{de} ± ۰/۳

میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون و ردیف تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون دانکن ندارند.

بررسی اثر متقابل مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف نشان داد که میوه‌های توت‌فرنگی در زمان برداشت و میوه‌های تیمار شده با کیتوسان ۱ درصد در روز سوم دارای بیشترین میزان ویتامین ث بودند. در روز سوم، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آلئوئورا ۰/۲۵ و ۰/۵۰ درصد و کیتوسان ۰/۵۰ درصد با شاهد مشاهده نشد. در روزهای ششم و دوازدهم، تیمار شاهد کمترین میزان ویتامین ث را داشت، در حالی که بیشترین میزان ویتامین ث در میوه‌های تیمار شده با کیتوسان ۱ درصد و آلئوئورا ۰/۷۵ درصد مشاهده شد (جدول ۷).

تحلیل اثر برهمکنش زمان انبارمانی و کاربرد پوشش خوراکی نشان داد که بیشترین سفتی بافت میوه مربوط به میوه‌های برداشت شده در روز اول آزمایش بود. در روز سوم آزمایش، کاهش معنی‌داری در سفتی بافت میوه‌های تیمار شده با کیتوسان ۰/۵۰ درصد مشاهده شد، در حالی که سایر تیمارها سفتی بافت مشابه با میوه‌های روز اول آزمایش را حفظ

کردند. در روزهای ششم و دوازدهم، کمترین میزان سفتی بافت میوه در تیمار شاهد و بیشترین آن در تیمارهای آلئوئورا ۰/۵۰ و ۰/۷۵ درصد و کیتوسان ۰/۷۵ و ۱ درصد مشاهده شد (جدول ۸).

بررسی اثر متقابل مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف نشان داد که در روزهای سوم، ششم و دوازدهم، محتوای ترکیبات فنولی در میوه‌های تیمار شده با آلئوئورا ۰/۷۵ درصد و کیتوسان ۱ درصد به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. در سایر تیمارها، تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد مشاهده نشد (جدول ۹).

تحلیل اثر متقابل مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف نشان داد که میوه‌های تیمار شده در روزهای مختلف اندازه‌گیری، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کمتری نسبت به سایر تیمارها داشتند. در روزهای سوم تا دوازدهم، تیمارهای آلئوئورا ۰/۷۵ درصد و کیتوسان ۱ درصد دارای بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بودند (جدول ۱۰).

جدول ۹: اثر برهمکنش مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف بر محتوای فنول کل میوه توت‌فرنگی (mg GA/ ml)

مدت انبارمانی (روز)				فنل کل (mg GA/ ml)
تیمارهای مختلف				
زمان برداشت	روز سوم	روز ششم	روز دوازدهم	
۰/۱۴ de ± ۰/۰۰۲	۰/۱۴ de ± ۰/۰۰۲	۰/۱۴ e ± ۰/۰۰۲	۰/۰۰ f ± ۰/۰	شاهد
—	۰/۱۴ de ± ۰/۰۰۲	۰/۱۴ de ± ۰/۰۰۲	۰/۱۴ de ± ۰/۰۰۲	آلئوئورا ۲۵ درصد
—	۰/۱۴ de ± ۰/۰۰۲	۰/۱۵ cd ± ۰/۰۰۱	۰/۱۴ de ± ۰/۰۰۲	آلئوئورا ۵۰ درصد
—	۰/۱۸ b ± ۰/۰۰۳	۰/۱۹ ab ± ۰/۰۰۱	۰/۱۸ b ± ۰/۰۰۳	آلئوئورا ۷۵ درصد
—	۰/۱۴ de ± ۰/۰۰۲	۰/۱۳ e ± ۰/۰۰۱	۰/۱۳ e ± ۰/۰۰۱	کیتوسان ۰/۵ درصد
—	۰/۱۵ cd ± ۰/۰۰۱	۰/۱۶ c ± ۰/۰۰۱	۰/۱۶ c ± ۰/۰۰۱	کیتوسان ۰/۷۵ درصد
—	۰/۱۹ ab ± ۰/۰۰۱	۰/۲۰ a ± ۰/۰۰۲	۰/۲۰ a ± ۰/۰۰۲	کیتوسان ۱ درصد

میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون و ردیف تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون دانکن ندارند.

جدول ۱۰: اثر برهمکنش مدت انبارمانی و تیمارهای مختلف بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (%DPPHsc)

تیمارهای مختلف	ظرفیت آنتی‌اکسیدان (%DPPHsc)			مدت انبارمانی (روز)
	زمان برداشت	روز سوم	روز ششم	روز دوازدهم
شاهد	۲۱/۰۰ ^f ± ۲/۰	۲۰/۰۰ ^f ± ۴/۰	۲۰/۶۶ ^f ± ۳/۰	۰/۰۰ ^g ± ۰/۰
آلوه‌ورا ۲۵ درصد	-	۲۸/۰۰ ^e ± ۲/۰	۴۷/۰۰ ^c ± ۴/۰	۲۸/۰۰ ^e ± ۳/۰
آلوه‌ورا ۵۰ درصد	-	۳۸/۳۳ ^d ± ۷/۰	۵۷/۳۳ ^b ± ۳/۰	۳۸ ^d ± ۷/۰
آلوه‌ورا ۷۵ درصد	-	۴۹ ^c ± ۴/۰	۸۰/۳۳ ^a ± ۵/۰	۴۹/۳۳ ^c ± ۳/۰
کیتوسان ۰/۵ درصد	-	۲۴/۰۰ ^{ef} ± ۲/۰	۴۳/۰۰ ^c ± ۶/۰	۲۴/۰۰ ^{ef} ± ۳/۰
کیتوسان ۰/۷۵ درصد	-	۳۸ ⁿ ± ۴/۰	۵۷/۶۶ ^b ± ۵/۰	۳۸/۶۶ ^d ± ۴/۰
کیتوسان ۱ درصد	-	۴۵/۶۶ ^c ± ۵/۰	۸۳/۳۳ ^a ± ۶/۰	۴۵/۶۶ ^c ± ۴/۰

میانگین‌های دارای حرف مشابه در هر ستون و ردیف تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون دانکن ندارند.

بحث

در پژوهش حاضر درصد کاهش وزن میوه‌های توت‌فرنگی با گذشت زمان در طول دوره انبارمانی به صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرد. کاهش وزن محصولات باغبانی در دوران پس از برداشت یک پدیده رایج است که سبب از دست رفتن تناژ و کیفیت محصول انبار شده می‌شود. توت‌فرنگی به دلیل ساختار ظریف میوه و پوشش نازک و به دلیل فعالیت متابولیک بالا، به سرعت وزن و کیفیت خود را در شرایط پس از برداشت از دست می‌دهد (Sun et al., 2000; Olías et al., 2020). بنابراین محدود نمودن تعرق و متابولیسم بافت می‌تواند به صورت مؤثری در کاهش از دست رفتن وزن میوه در طول دوره انبارمانی مؤثر باشد. کاربرد پوشش‌های خوراکی شامل آلوه‌ورا و کیتوسان نیز در محدود کردن اتلاف وزن میوه توت‌فرنگی مؤثر بود (Sogvar et al. 2016). Valverde و همکاران (۲۰۰۵) دریافتند که پوشش آلوه‌ورا باعث کاهش از دست دادن آب در انگور و افزایش ماندگاری آن می‌شود. پوشش‌دهی میوه توت‌فرنگی با آلوه‌ورا به طور واضح در ایجاد یک مانع فیزیکی در برابر از دست دادن رطوبت مؤثر بود و در نتیجه باعث به تأخیر انداختن کم‌آبی و چروکیدگی میوه شد (Sogvar et al. 2016). همانند

تیمار آلوه‌ورا، غلظت‌های متفاوت کیتوسان نیز موجب حفظ وزن میوه در طول انبارداری شدند. مشابه این نتایج، Riaza و همکاران (۲۰۱۱) و Velickova و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند که کیتوزان موجب حفظ درصد وزن میوه توت‌فرنگی در طول انبارداری شدند. بدیهی است که کیتوزان به عنوان یک مانع فیزیکی برای از دست دادن رطوبت عمل می‌کند و کم‌آبی و چروکیدگی میوه‌ها را محدود می‌کند (Velickova et al., 2013). این تأثیر مثبت پوشش‌های خوراکی بر اساس خواص جاذب رطوبت آنها است که امکان تشکیل یک مانع آبی بین میوه و محیط را فراهم می‌کند (Morillon et al., 2002). از دست دادن رطوبت منجر به ایجاد ریز ترک‌هایی در پریکارپ میوه می‌شود که به تدریج به سمت داخل و به سمت مزوکارپ پارانشیمی میوه حرکت می‌کند (Barman et al., 2014). این ترک‌های ریز باعث افزایش بیشتر رطوبت، حمله پاتوژن و قهوه‌ای شدن سریع پریکارپ می‌شوند (Underhill and Simmons, 1993). از این رو استفاده از پوشش‌های خوراکی که اطراف میوه را فرا می‌گیرند و سبب جلوگیری از مبادله رطوبت بین میوه و محیط پیرامون می‌شوند، در کاهش از دست رفتن آب و وزن میوه مؤثر هستند. به همین دلیل است که در پژوهش حاضر کاربرد

تداخل می‌کند. در واقع زنجیره‌های آمینه با بار مثبت کیتوسان با فسفولیپیدهای با بار منفی غشای پلاسمایی قارچ تعامل دارند. این برهمکنش نفوذپذیری سلول‌های قارچی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و منجر به از دست دادن اجزای سلولی می‌شود (Kong et al., 2010). این تعامل منجر به نشت الکترولیت‌های داخل سلولی و اجزای پروتئینی می‌شود (Xu et al., 2006). علاوه بر این، جلوگیری از پوسیدگی میوه‌های تیمار شده با پوشش‌های خوراکی می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های دفاعی میوه باشد (Bill et al., 2014). هر چند که باید در نظر داشت که این پوشش‌های خوراکی با توجه به اینکه پیری و نرم شدن بافت را به تأخیر می‌اندازند، می‌توانند به صورت غیرمستقیم نیز در جلوگیری از فعالیت عوامل فساد میوه مؤثر باشند (Shah and Hashmi, 2020).

مواد جامد محلول میوه شاهد با زمان نگهداری افزایش یافت. یک توضیح قابل قبول برای افزایش مشاهده شده در مواد جامد محلول، از دست دادن قابل توجه آب است که توسط توت‌فرنگی در طول دوره نگهداری متحمل می‌شود. در واقع، تغییرات بیشتر در مواد جامد محلول در آن دسته از میوه‌هایی رخ داد که بیشترین تلفات آب را متحمل شدند. به این ترتیب با از دست رفتن آب، شیره سلولی تغلیظ شده و در نتیجه داده‌های محتوای مواد جامد محلول به ازای واحد وزن نیز افزایش نشان می‌دهد. حل شدن پلی‌اورونیدها و همی‌سلولزهای دیواره سلولی در توت‌فرنگی بالغ نیز ممکن است به افزایش مواد جامد محلول کمک کند (Hernandez-Munoz et al., 2008). در تأیید این فرضیه، افزایش محتوای مواد جامد محلول با کاهش سفتی میوه‌های توت‌فرنگی همخوانی داشت. در واقع با تخریب دیواره سلولی و نرم شدن بافت میوه، میزان ترکیبات قندی در میوه

پوشش‌های خوراکی آلئوئورا و کیتوسان در محدود نمودن از دست رفتن وزن میوه توت‌فرنگی در انبار مؤثر بودند. پیش از این نیز اثرات سودمند پوشش آلئوئورا در جلوگیری از اتلاف وزن میوه توت‌فرنگی در انبار نشان داده شده بود (Sogvar et al., 2016; Mohammadi et al., 2021).

میوه توت‌فرنگی به دلیل ساختار ظریف و فقدان پوشش محافظت‌کننده، از جمله فرآورده‌های حساس به بیماری‌های پس از برداشت دسته‌بندی می‌شود (Jamali et al., 2013). در این پژوهش نیز گسترش قارچ‌ها در طول دوره انبار در میوه‌های تیمار شاهد روند افزایشی داشت به گونه‌ای که در انتهای آزمایش، تمامی میوه‌های این تیمار دچار پوسیدگی شدند. کاربرد پوشش‌های خوراکی شامل آلئوئورا و کیتوسان به صورت معنی‌داری فعالیت قارچی روی میوه و پوسیدگی بافت را کاهش دادند. پیش از این نیز کاهش پوسیدگی میوه توت‌فرنگی با کاربرد پوشش آلئوئورا نشان داده شده بود (Sogvar et al., 2016). پوشش‌های خوراکی مانند آلئوئورا، اتمسفر داخلی میوه را تغییر می‌دهند، از دست رفتن رطوبت را کاهش می‌دهند، نرم شدن و سرعت تنفس را کاهش می‌دهند و در نهایت تکثیر میکروارگانیسم‌ها را در میوه‌ها کاهش می‌دهند. دو ماده تشکیل‌دهنده، یعنی آلوتین و آلئوئامودین، جدا شده از ژل آلئوئورا در کاهش فعالیت عوامل قارچی مؤثر هستند (Raksha et al., 2014). پوشش کیتوسان پوسیدگی قارچی را محدود می‌کند (Ribeiro et al., 2007) و در این مطالعه، با افزایش غلظت کیتوسان، کارایی آن در مهار بیماری‌های قارچی افزایش پیدا کرد. این نتایج با یافته‌های Hernandez-Munoz و همکاران (۲۰۰۸) در یک راستا قرار دارد. کیتوسان که از نظر ماهیت یک ماده چند کاتیونی است، با بقایای ماکرومولکول با بار منفی که بر روی سطح سلول قارچی قرار می‌گیرند

کاهش اسید قابل تیترا در طول نگهداری ممکن است به دلیل تغییرات متابولیکی در میوه ناشی از مصرف و تغییر اسیدهای آلی در فرایند تنفسی باشد (Echeverria and Valich, 1989). تشدید تنفس توت‌فرنگی‌های تیمار نشده (به دلیل رشد سریع عفونت قارچی، تولید اتیلن و پیری میوه) باعث تحریک مصرف اسیدهای آلی و کاهش اسیدهای قابل تیتراسیون میوه‌ها می‌شود (Khosroshahi et al., 2007).

تغییر طعم میوه در طول نگهداری، کمی شیرین شدن و کاهش اسیدیته است که می‌تواند باعث بی‌مزه شدن میوه‌ها شود (Mirdehghan and Rahimi, 2016). در پژوهش حاضر، در طول نگهداری میوه‌ها، افزایش مواد جامد محلول و کاهش اسید قابل تیترا آب میوه‌ها مشاهده شد. Sangsuwan و همکاران (۲۰۱۶) نیز نتایج مشابهی را در میوه‌های توت‌فرنگی نگهداری شده در انبار گزارش نمودند. همان‌گونه که عنوان شد، افزایش مواد جامد محلول در یک میوه توت‌فرنگی الزاماً به معنی شیرین شدن میوه نیست. لذا جلوگیری از افزایش مواد جامد محلول و حفظ سطح اسیدهای قابل تیترا در میوه می‌تواند نشانگر جلوگیری و به تأخیر انداختن پیری بافت میوه باشد. در تیمارهای مختلفی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند نیز افزایش نسبت مواد جامد محلول به اسید قابل تیترا مشاهده شد ولی این افزایش به صورت چشمگیری کمتر از تیمار شاهد بود. همان‌گونه که پیش از این نیز توضیح داده شد، این اثرات ناشی از جلوگیری از تجمع مواد جامد محلول و افزایش ماندگاری اسیدهای آلی میوه بود.

بر اساس نتایج این تحقیق به موازات تخریب اسیدهای قابل تیترا، pH آب میوه نیز در طول دوره انبارمانی افزایش پیدا کرد. افزایش pH آب میوه در تیمار شاهد که بیشترین میزان تخریب اسید را نشان

افزایش یافته و این مهم ضمن بالا بردن میزان مواد جامد محلول، در میوه نیز می‌شود. در مطالعه حاضر، محتوای مواد جامد محلول در میوه‌های پوشش داده‌شده با کیتوسان و آلئوئورا به صورت معنی‌داری کمتر از میوه‌ها در تیمار شاهد بود. توت‌فرنگی‌های پوشش داده‌شده با آلئوئورا و کیتوسان تنها افزایش بسیار جزئی محتوای مواد جامد محلول را در طول دوره انبارمانی نشان دادند. در تأیید نتایج پژوهش حاضر، گزارش شده است که کاربرد کیتوسان افزایش محتوای مواد جامد محلول میوه را به دلیل فعالیت کمتر ساکارز فسفات سنتاز و آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی به تأخیر انداخت (Sun et al., 2010). حفظ محتوای مواد جامد محلول در توت‌فرنگی پوشش داده‌شده، همان‌طور که توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Hernandez-Munoz et al., 2008; Perdones et al., 2012; Hassanpour, 2015) ممکن است منعکس‌کننده تغییرات در محیط داخلی میوه‌ها با استفاده از پوشش باشد که در نهایت منجر به کاهش O_2 داخلی میوه و/یا افزایش CO_2 و سرکوب تولید اتیلن می‌شود (Saleem et al., 2020). علاوه بر این، با توجه به اینکه کیتوسان و آلئوئورا یک سد محافظ در برابر از دست دادن آب تشکیل می‌دهند و از این رو، به حفظ محتوای مواد جامد محلول در میوه‌ها کمک می‌کند (Hernandez-Munoz et al., 2008; Mohammadi et al., 2021).

اسید قابل تیترا میوه توت‌فرنگی مستقیماً با محتوای اسیدهای سیتریک و مالیک ارتباط دارد (Saleem et al., 2020). در پژوهش حاضر میزان اسید قابل تیترا در طول دوره انبارمانی میوه توت‌فرنگی کاهش پیدا کرد. میوه‌های تیمار شاهد بیشترین کاهش را در میزان اسیدهای قابل تیترا میوه نشان دادند. این نتایج با یافته‌های Sogvar و همکاران (۲۰۱۶) و Khosroshahi و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد.

داد، بیشتر از سایر تیمارها بود؛ بنابراین کاهش میزان طعم میوه‌های این تیمار نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. افزایش pH در تمام میوه‌های تیمار شده نیز مشاهده شد، اگرچه این افزایش در میوه‌های پوشش‌دار به طور قابل توجهی کمتر از میوه شاهد بود. Davarynejad و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی را در میوه‌های تیمار شده و بدون تیمار محافظت‌کننده در شرایط انبار سرد مشاهده نمودند. با توجه به محتوای اسید قابل تیتراسیون و مقادیر pH، محتوای اسیدیته قابل تیتراسیون به طور معنی‌داری کاهش یافت در حالی که مقدار pH در طول مدت نگهداری به طور معنی‌داری افزایش یافت. بنابراین، می‌توان گفت که یک رابطه معکوس بین اسیدیته قابل تیتراسیون و pH وجود دارد. کاربرد پوشش‌های خوراکی آلئوئورا و کیتوسان به صورت معنی‌داری از کاهش اسیدهای آلی میوه جلوگیری نمود. مشخص شده است که میزان از دست دادن اسیدهای آلی با پوشش‌های خوراکی کاهش می‌یابد، احتمالاً همان‌طور که در گیلان (Petriccione et al., 2015a) و توت‌فرنگی (Petriccione et al., 2015b; Saleem et al., 2021) نشان داده شده است، این قضیه با کاهش فعالیت‌های متابولیک میوه‌های پوشش داده شده مرتبط باشد (Saleem et al., 2021). پوشش‌های خوراکی به عنوان یک مانع گاز عمل می‌کند و جذب اکسیژن توسط میوه را کاهش می‌دهد که به نوبه خود نرخ تنفس را کند می‌کند (Arowora et al., 2013). به همین دلیل می‌توان انتظار داشت که تغییرات اسیدهای آلی در طول دوره انبارمانی پس از کاربرد پوشش‌های خوراکی محدود می‌شود و از طرف دیگر با کاهش نرخ تنفس میزان مصرف قندهای میوه نیز کاهش پیدا می‌کند.

هم راستا با یافته‌های Ishaq و همکاران (۲۰۰۹) و Davarynejad و همکاران (۲۰۱۳)، در تحقیق حاضر محتوای ویتامین ث در طول نگهداری به طور قابل توجهی در تیمار شاهد کاهش یافت. دلایل احتمالی از دست دادن ویتامین ث در طول دوره نگهداری، اتوکسیداسیون است که به طور خود به خود زمانی که ویتامین ث با اکسیژن موجود در هوا ترکیب می‌شود اتفاق می‌افتد (Sogvar et al., 2016). از طرف دیگر این ماده به عنوان عامل آنتی‌اکسیدانی در فرایند مهار گونه‌های فعال اکسیژن در طول دوره نگهداری در انبار مصرف می‌شود (Nazoori et al., 2020). کاربرد پوشش‌های خوراکی به صورت مؤثری از کاهش ویتامین ث در دوره انبارمانی جلوگیری نمودند. Panahirad و همکاران (۲۰۲۰) و Saleem و همکاران (۲۰۲۱) نیز نتایج مشابهی در میوه‌های آلو و توت‌فرنگی پوشش داده شده با کیتوسان نگهداری شده در انبار سرد نشان دادند. پوشش‌ها به عنوان یک لایه محافظ عمل می‌کنند و نفوذپذیری اکسیژن و دی اکسید کربن را به درون میوه محدود می‌کنند، بنابراین اکسیداسیون اسید آسکوربیک را کاهش می‌دهند (Saleem et al., 2021; Sogvar et al., 2016). افزون بر این Panahirad و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که کاهش فعالیت پلی فنول اکسیداز در نمونه‌های پوشش داده شده نیز می‌تواند با حفظ ویتامین ث در میوه مرتبط باشد.

کاهش سفتی بافت در میوه‌های برداشت شده با افزایش مدت انبارمانی مشاهده شد. توت‌فرنگی در طول نگهداری در انبار به طور قابل توجهی نرم می‌شود که این قضیه سبب محدود کردن عمر کوتاه پس از برداشت و تشدید حساسیت آن به آلودگی قارچی می‌شود (Sogvar et al., 2016). کاهش سفتی بافت میوه توت‌فرنگی نشان دهنده پیر شدن و از بین رفتن محصول در شرایط انبار است. کاهش سفتی در

طول دوره نگهداری با تبدیل نسبت پکتین نامحلول به اشکال محلول در نتیجه رسیدن و پیری همراه است (Yoon et al., 2020). همچنین این قضیه می‌تواند با از دست رفتن تورژسانس و محتوای آب بافت نیز در ارتباط باشد (Shafiee et al., 2010). کاربرد پوشش آلوهورا و کیتوسان سبب افزایش سفتی بافت میوه توت‌فرنگی شد. پیش از این نیز Nasrin و همکاران (۲۰۱۷) اثرات سودمند کاربرد پوشش آلوهورا بر افزایش سفتی بافت میوه توت‌فرنگی در انبار را نشان داده بودند (Mohammadi et al., 2021). این اثرات با افزایش غلظت آلوهورا افزایش پیدا کرد که نشان دهنده عملکرد فیزیکی این پوشش در حفظ سفتی بافت با محدود کردن تنفس و تعرق میوه است. Velickova و همکاران نشان دادند که تیمار کیتوسان موجب شد که سفتی توت‌فرنگی در طول دوره نگهداری ثابت نگه داشته شود. بهبود سفتی گوشت میوه‌های پوشش داده شده با کاهش متابولیسم میوه مرتبط است (Velickova et al., 2013). این اثرات احتمالاً بیشتر به خواص فیزیکی آلوهورا و کیتوسان در جلوگیری از دست رفتن آب فراورده بازمی‌گردد. داده‌های کاهش وزن میوه‌های توت‌فرنگی، این فرضیه را تأیید می‌کند. افزون بر این، این ترکیبات قادرند با تغییر فعالیت آنزیم‌های تخریب کننده دیواره سلولی نیز از نرم شدن میوه جلوگیری نمایند (Lin et al., 2018; Zhao et al., 2019). کاهش فعالیت‌های این آنزیم‌ها در پاسخ به تیمارهای پس از برداشت، نرم شدن میوه را سرکوب می‌کند که به نوبه خود منجر به طولانی شدن عمر مفید محصول می‌شود (Saleem et al., 2020).

در پژوهش حاضر، کاربرد تیمارهای مختلف سبب افزایش معنی‌دار در میزان فنل کل نسبت به شاهد شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توسط چندین ترکیب زیست فعال مانند فنولیک‌ها، فلاونوئیدها، اسید

آسکوربیک، آنتوسیانین‌ها و غیره کمک می‌کند. امروزه مردم نسبت به سلامتی هوشیارتر شده‌اند، بنابراین ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه‌ها و سبزی‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند زیرا اطلاعات ارزشمندی در مورد کیفیت و ارزش غذایی میوه‌ها ارائه می‌دهد (Kumari et al., 2015). آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی موجود در توت‌فرنگی آن را به منبع مهمی از ترکیبات زیست فعال مانند فنول‌ها تبدیل می‌کند. Mostafavi و همکاران (۲۰۱۲) یک رابطه واضح بین محتوای ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گزارش کرد. در واقع ظرفیت آنتی‌اکسیدانی فنل‌ها یکی از مهم‌ترین خواص بیولوژیک آن‌ها است (Sogvar et al., 2016). با توجه به افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در برخی تیمارها نسبت به شاهد، میتوان این افزایش را به میزان بالاتر فنل کل در این تیمارها مرتبط دانست. گزارش شده است که تیمار میوه با آلوهورا ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به تیمار نشده در انگور (Serrano et al., 2006) و تمشک (Hassanpour, 2015) دارد. همچنین، Hu و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که آلوهورا ممکن است مقاومت بافت‌ها را در برابر پوسیدگی از طریق تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و قابلیت مهار رادیکال‌های آزاد افزایش دهد. کاربرد کیتوسان نیز به صورت قابل توجهی سبب افزایش محتوای ترکیبات فنولی شد. این اثر با افزایش غلظت کیتوسان بیشتر شد. به همین ترتیب، Serrano و همکاران (۲۰۰۶) و Han و همکاران (۲۰۱۴) فنول‌های بالاتری را در میوه‌های پوشش داده‌شده با ژل آلوهورا گزارش کردند. پوشش‌ها تنش ملایمی بر میوه ایجاد می‌کنند و پوشش متراکم ممکن است شدت تنش را افزایش دهد (Han et al., 2014)؛ بنابراین، افزودن ژل آلوهورا یا پوشش کیتوسان ممکن است محتوای فنلی کل میوه را افزایش دهد. Kumari

توت‌فرنگی برای کاهش تنش اکسیداتیو در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند عمر انباری فراورده را افزایش دهد (Ali et al., 2011).

نتیجه گیری نهایی

در مجموع یافته‌های این پژوهش نشان داد که کاربرد آلوه‌ورا و کیتوسان می‌تواند سبب افزایش عمر انباری میوه توت‌فرنگی شده و از افت کیفیت محصول در دوره نگهداری جلوگیری نماید. این دو ماده به عنوان ترکیبات سالم فاقد اثرات مخرب زیست‌محیطی هستند و برای مصرف کننده نیز مضر نیستند. در این راستا کاربرد ژل آلوه‌ورا با غلظت ۰/۷۵ درصد و کیتوسان با غلظت ۱ درصد بهترین اثرات را به دنبال داشتند. بین این دو ماده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و از این رو با توجه به میزان دسترسی و قیمت تمام شده، می‌توان کاربرد آلوه‌ورا را نسبت به کیتوسان توصیه نمود.

تشکر و قدردانی

از همکاری صمیمانه و حمایت ارزشمند معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم تشکر و قدردانی می‌گردد.

و همکاران (۲۰۱۵) چنین نتیجه گرفتند که به دلیل تشکیل لایه محافظ کیتوسان بر روی سطح میوه، افت رطوبت کمتری از پوست وجود دارد که این قضیه از بین رفتن محفظه بین آنزیم‌های پلی فنول اکسیداز و پراکسیداز و ترکیبات فنلی موجود در واکوئل را کاهش داده و در نتیجه تجزیه آن را در طول دوره نگهداری کمتر می‌کند (Awad and De Jager, 2000). در مجموع به نظر می‌رسد که در این پژوهش کاربرد پوشش‌های خوراکی با حفظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مثل ویتامین ث و سایر ترکیبات فنولی سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه شد. Hu و همکاران (۲۰۰۵) توضیح داد که پوشش ژل آلوه‌ورا می‌تواند سیستم آنتی‌اکسیدانی را بهبود بخشد که ممکن است ایمنی بافت را در برابر زوال افزایش دهد. Sogvar و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که میوه‌های پوشش داده شده با ژل آلوه‌ورا و اسید آسکوربیک، کاهش کمتری در فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان دادند. همچنین مشخص شده است که کاربرد پوشش ژل آلوه‌ورا برای حفظ فعالیت آنتی‌اکسیدانی در انگور (Serrano et al., 2006) و تمشک (Hassanpour, 2015) مفید است. افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بافت میوه توت‌فرنگی به دنبال کاربرد پوشش‌های خوراکی نشان دهنده افزایش توانایی میوه

References

- Ahmed, M.J., Singh, Z. and Khan, A.S. (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(5): 1024-1033.
- Ali, A., Abrar, M., Sultan, M.T., Din, A. and Niaz, B. (2011). Post-harvest physicochemical changes in full ripe strawberries during cold storage. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 21(1): 38-41.
- Arowora, K.A., Williams, J.O., Adetunji, C.O., Fawole, O.B., Afolayan, S.S., Olaleye, O.O., Adetunji, J.B. and Ogundele, B.A. (2013). Effects of Aloe vera coatings on quality characteristics of oranges stored under cold storage. *Greener Journal of Agricultural Sciences*. 3(1): 39-47.
- Asghari, M.R., Ahadi, L. and Riaie, S. (2013). Effect of postharvest application salicylic acid and Aloe vera gel on quality characteristics and antioxidant activity of grape fruit "Ghezel Osum". *Journal of Horticulture Science*. 7(3): 349-342.

- Awad, M.A. and de Jager, A. (2000). Flavonoid and chlorogenic acid concentrations in skin of 'Jonagold' and 'Elstar' apples during and after regular and ultra low oxygen storage. *Postharvest Biology and Technology*. 20(1): 15-24.
- Ayala-Zavala, J.F., Wang, S.Y., Wang, C.Y. and González-Aguilar, G.A. (2005). Methyl jasmonate in conjunction with ethanol treatment increases antioxidant capacity, volatile compounds and postharvest life of strawberry fruit. *European Food Research and Technology*. 221(6): 731-738.
- Babaei, A., Manafi, M. and Tavafi, H. (2013). Study on effect of Aloe vera leaf extracts on growth of *Aspergillus flavus*. *Annual Research and Review in Biology*. 1091-1097.
- Barman, K., Asrey, R., Pal, R.K., Jha, S.K. and Bhatia, K. (2014). Post-harvest nitric oxide treatment reduces chilling injury and enhances the shelf-life of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low-temperature storage. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 89 (3): 253-260.
- Bill, M., Sivakumar, D., Korsten, L. and Thompson, A.K. (2014). The efficacy of combined application of edible coatings and thyme oil in inducing resistance components in avocado (*Persea americana* Mill.) against anthracnose during post-harvest storage. *Crop Protection*. 64: 159-167.
- Davarynejad, G., Zarei, M., Ardakani, E. and Nasrabadi, M.E. (2013). Influence of putrescine application on storability, postharvest quality and antioxidant activity of two Iranian apricots (*Prunus armeniaca* L.) cultivars. *Notulae Scientia Biologicae*. 5(2): 212-219.
- Dhall, R.K. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53 (5): 435-450.
- Echeverria, E. and Valich, J. (1989). Enzymes of sugar and acid metabolism in stored 'Valencia' oranges. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*.
- Emamifar, A. (2014). Evaluation of the effect of aloe vera gel as an edible coating on the microbial, physicochemical and sensory characteristics of fresh strawberries during storage. *New Food Technologies*. 2 (6): 15-29
- García-Sosa, K., Villarreal-Alvarez, N., Lübben, P. and Peña-Rodríguez, L.M. (2006). Chrysophanol, an antimicrobial anthraquinone from the root extract of *Colubrina greggii*. *Journal of the Mexican Chemical Society*. 50(2): 76-78.
- Garcia-Viguera C., Zafrilla, P., Romero, F., Abella, P., Artes, F. and Tomas-Barberan, F. A. (1999). Color stability of strawberry jam as affected by cultivar and storage temperature. *Journal of Food Science*. 64: 243-247.
- Ghasemi Tvalayi, M., Ramin, A. A. and Amini, F. (2014). The effect of edible chitosan coating on the quality and life extension of cucumber, Zomorrod cultivar. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Plants*. 15: 197-189.
- Han, C., Zuo, J., Wang, Q., Xu, L., Zhai, B., Wang, Z., Dong, H. and Gao, L. (2014). Effects of chitosan coating on postharvest quality and shelf life of sponge gourd (*Luffa cylindrica*) during storage. *Scientia Horticulturae*. 166: 1-8.
- Hassanpour, H. (2015). Effect of Aloe vera gel coating on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activities and decay in raspberry fruit. *LWT-Food Science and Technology*. 60(1): 495-501.
- Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D. and 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.
- Hong, K., Xie, J., Zhang, L., Sun, D. and Gong, D. (2012). Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. *Scientia horticulturae*. 144: 172-178.
- Hosseinfarahi, M., Jamshidi, E., Amiri, S., Kamyab, F. and Radi, M. (2020). Quality, phenolic content, antioxidant activity, and the degradation kinetic of some quality parameters in strawberry. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14647>. Pp. 1-14.

- Hu, Q., Hu, Y. and Xu, J. (2005). Free radical-scavenging activity of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) extracts by supercritical carbon dioxide extraction. Food Chemistry. 91(1): 85-90.
- Ishaq, S., Rathore, H.A., Majeed, S., Awan, S. and Zulfiqar-Ali-Shah, S. (2009). The studies on the physico-chemical and organoleptic characteristics of apricot (*Prunus armeniaca* L.) produced in Rawalakot, Azad Jammu and Kashmir during storage. Pakistan Journal of Nutrition. 8(6): 856-860.
- Jamali, B., Eshghi, S. and Taffazoli, E. (2013). Vegetative growth, yield, fruit quality and fruit and leaf composition of strawberry cv. 'Pajaro' as influenced by salicylic acid and nickel sprays. Journal of Plant Nutrition. 36(7): 1043-1055.
- Khosroshahi, M.R.Z., Esna-Ashari, M. and Ershadi, A. (2007). Effect of exogenous putrescine on post-harvest life of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) fruit, cultivar Selva. Scientia Horticulturae. 114(1): 27-32.
- Kong, M., Chen, X.G., Xing, K. and Park, H.J. (2010). Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: a state of the art review. International Journal of Food Microbiology. 144 (1): 51-63.
- Kumari, P., Barman, K., Patel, V.B., Siddiqui, M.W. and Kole, B. (2015). Reducing postharvest pericarp browning and preserving health promoting compounds of litchi fruit by combination treatment of salicylic acid and chitosan. Scientia Horticulturae. 197: 555-563.
- Lin, Y., Lin, Y., Lin, H., Lin, M., Li, H., Yuan, F., Chen, Y. and Xiao, J. (2018). Effects of paper containing 1-MCP postharvest treatment on the disassembly of cell wall polysaccharides and softening in Younai plum fruit during storage. Food Chemistry. 264: 1-8.
- Malik, A.U. and Singh, Z. (2006). Improved fruit retention, yield and fruit quality in mango with exogenous application of polyamines. Scientia Horticulturae. 110 (2): 167-174.
- Mirdehghan, S.H. and Rahimi, S. (2016). Pre-harvest application of polyamines enhances antioxidants and table grape (*Vitis vinifera* L.) quality during postharvest period. Food Chemistry. 196: 1040-1047.
- Mohammadi, L., Ramezani, A., Tanaka, F. and Tanaka, F. (2021). Impact of Aloe vera gel coating enriched with basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil on postharvest quality of strawberry fruit. Journal of Food Measurement and Characterization. 15(1): 353-362.
- Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M. and Voilley, A. (2002). Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. Critical reviews in food science and nutrition. 42(1): 67-89.
- Mostafavi, H.A., Mirmajlessi, S.M., Mirjalili, S.M., Fathollahi, H. and Askari, H. (2012). Gamma radiation effects on physico-chemical parameters of apple fruit during commercial post-harvest preservation. Radiation Physics and Chemistry. 81(6): 666-671.
- Nasrin, T.A.A., Rahman, M.A., Hossain, M.A., Islam, M.N. and Arfin, M.S. (2017). Postharvest quality response of strawberries with aloe vera coating during refrigerated storage. The journal of horticultural science and biotechnology. 92(6): 598-605.
- Navarro, D., Díaz-Mula, H.M., Guillén, F., Zapata, P.J., Castillo, S., Serrano, M., Valero, D. and Martínez-Romero, D. (2011). Reduction of nectarine decay caused by *Rhizopus stolonifer*, *Botrytis cinerea* and *Penicillium digitatum* with Aloe vera gel alone or with the addition of thymol. International Journal of Food Microbiology. 151(2): 241-246.
- Nazoori, F., Poraziz, S., Mirdehghan, S.H., Esmailizadeh, M. and ZamaniBahramabadi, E. (2020). Improving shelf life of strawberry through application of sodium alginate and ascorbic acid coatings. International Journal of Horticultural Science and Technology. 7(3): 279-293.
- Olías, J.M., Sanz, C. and Perez, A.G. (2001). Postharvest handling of strawberries for fresh market. R. Dris, R. Nishakanen, and SM Jain (Eds). Crop Management and Postharvest Handling of Horticultural Product. Science Publisher, Inc. USA, pp. 209-227.
- Pal, S., Sahrawat, A. and Prakash, D. (2013). Aloe vera: composition, processing and medicinal properties. Current Discovery. 2 (2): 106-122.

- Panahirad, S., Naghshiband-Hassani, R., Bergin, S., Katam, R. and Mahna, N. (2020). Improvement of postharvest quality of plum (*Prunus domestica* L.) using polysaccharide-based edible coatings. *Plants* 9 (9): 1148.
- Perdones, Á., Escriche, I., Chiralt, A. and Vargas, M. (2016). Effect of chitosan-lemon essential oil coatings on volatile profile of strawberries during storage. *Food Chemistry*. 197: 979-986.
- Perdones, A., Sánchez-González, L., Chiralt, A. and Vargas, M. (2012). Effect of chitosan-lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*. 70: 32-41.
- Petriccione, M., De Sanctis, F., Pasquariello, M.S., Mastrobuoni, F., Rega, P., Scortichini, M. and Mencarelli, F. (2015a). The effect of chitosan coating on the quality and nutraceutical traits of sweet cherry during postharvest life. *Food and Bioprocess Technology*. 8(2): 394-408.
- Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M.S., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G. and Scortichini, M. (2015a). Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. *Foods*. 4 (4): 501-523.
- Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M.S., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G. and Scortichini, M. (2015b). Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. *Foods*. 4 (4): 501-523.
- Rahimi, B.A., Shankarappa, T.H., Krishna, H.C., Mushrif, S.K., Vasudeva, K.R., Sadananda, G.K. and Masoumi, A. (2018). Chitosan and CaCl₂ coatings on physicochemical and shelf life of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* Duch.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7 (7): 3293-3300.
- Raksha, B., Pooja, S. and Babu, S. (2014). Bioactive compounds and medicinal properties of *Aloe vera* L.: an update. *Journal of Plant Sciences*. 2(3): 102-107.
- Rasouli, M., Saba, M.K. and Ramezani, A. (2019). Inhibitory effect of salicylic acid and *Aloe vera* gel edible coating on microbial load and chilling injury of orange fruit. *Scientia Horticulturae*. 247: 27-34.
- Raybaudi-Massilia, R., Mosqueda-Melgar, J., Soliva-Fortuny, R. and Martín-Belloso, O. (2016). Combinational edible antimicrobial films and coatings. *Antimicrobial Food Packaging*. 633-646.
- Riaz, A., Aadil, R.M., Amoussa, A.M. O., Bashari, M., Abid, M. and Hashim, M.M. (2021). Application of chitosan-based apple peel polyphenols edible coating on the preservation of strawberry (*Fragaria ananassa* cv Hongyan) fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*. 45(1): e15018.
- Ribeiro, C., Vicente, A.A., Teixeira, J.A., and Miranda, C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology*. 44 (1): 63-70.
- Sabaghi, M., Maghsoudlou, Y., Khomeiri, M. and Ziaifar, A.M. (2015). Active edible coating from chitosan incorporating green tea extract as an antioxidant and antifungal on fresh walnut kernel. *Postharvest Biology and Technology*. 110: 224-228.
- Saleem, M.S., Anjum, M.A., Naz, S., Ali, S., Hussain, S., Azam, M., Sardar, H., Khaliq, G., Canan, İ. and 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.
- Saleem, M.S., Ejaz, S., Anjum, M.A., Nawaz, A., Naz, S., Hussain, S., Ali, S. and Canan, İ. (2020). Postharvest application of gum arabic edible coating delays ripening and maintains quality of persimmon fruits during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*. 44(8):14583.
- Sangsuwan, J., Pongsapakworawat, T., Bangmo, P. and Sutthasupa, S. (2016). Effect of chitosan beads incorporated with lavender or red thyme essential oils in inhibiting *Botrytis cinerea* and their application in strawberry packaging system. *LWT*. 74: 14-20.

- Serrano, M., Valverde, J.M., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D. and Valero, D. (2006). Use of Aloe vera gel coating preserves the functional properties of table grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(11): 3882-3886.
- Shafiee, M., Taghavi, T.S. and Babalar, M. (2010). Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*. 124 (1): 40-45.
- Shah, S. and Hashmi, M.S. (2020). Chitosan-aloe vera gel coating delays postharvest decay of mango fruit. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 61(2): 279-289.
- Sogvar, O.B., Saba, M.K. and 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.
- Sun, D., Liang, G., Xie, J., Lei, X. and Mo, Y. (2010). Improved preservation effects of litchi fruit by combining chitosan coating with ascorbic acid treatment during postharvest storage. *African Journal of Biotechnology*. 9 (22): 3272-3279.
- Underhill, S.J. and Simons, D.H. (1993). Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp desiccation and the importance of postharvest micro-cracking. *Scientia Horticulturae*. 54 (4): 287-294.
- Valero, D. and Serrano, M. (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC press.
- Valverde, J.M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S. and Serrano, M. (2005). Novel edible coating based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53 (20): 7807-7813.
- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V. D. and Moldão-Martins, M. (2013). Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT-Food Science and Technology*. 52(2): 80-92.
- Xu, J., Tao, N., Liu, Q. and Deng, X. (2006). Presence of diverse ratios of lycopene/ β -carotene in five pink or red-fleshed citrus cultivars. *Scientia Horticulturae*. 108 (2): 181-184.
- Yoon, Y.S., Kim, J.K., Lee, K.C., Eun, J.B. and Park, J.H. (2020). Effects of electron-beam irradiation on postharvest strawberry quality. *Journal of Food Processing and Preservation*. 44 (9): 14665.
- Zhao, Y., Zhu, X., Hou, Y., Wang, X. and Li, X. (2019). Effects of nitric oxide fumigation treatment on retarding cell wall degradation and delaying softening of winter jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology*. 156: 110954.