



## Effect of Postharvest Application of Chitosan, Vanillin and Acetic Acid on Quality and Storage Life of Tomato

Fatemeh Nazoori<sup>1</sup>, Mahla Khoshhali<sup>2</sup>, Hadis Eghbali<sup>3</sup>,  
AliReza Talebizadeh<sup>4</sup>

1. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: [f.nazoori@vru.ac.ir](mailto:f.nazoori@vru.ac.ir)
2. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: [sjust23@yahoo.com](mailto:sjust23@yahoo.com)
3. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: [h.eghbali@vru.ac.ir](mailto:h.eghbali@vru.ac.ir)
4. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: [a.talebizadeh@vru.ac.ir](mailto:a.talebizadeh@vru.ac.ir)

Article Info	ABSTRACT
<p><b>Article type:</b> Research Article</p> <p><b>Article history:</b> Received: 3 September 2022 Received: 24 October 2022 Accepted: 31 October 2022 Published online: 21 March 2023</p> <p><b>Keywords:</b> <i>Enzyme Activity,</i> <i>Ion leakage,</i> <i>Malondialdehyde,</i> <i>Microbial Contamination,</i> <i>Phenolic Compounds.</i></p>	<p>Tomato is the second most important vegetable in the world after potato, which is rich in minerals and vitamins and has a special place among vegetables, agricultural and commercial economy, although one of the postharvest problems of this product is its high wastes.</p> <p>In 2021, an experiment was conducted to study the quality and storage life of 'Sena' cultivar of tomato by application of chitosan, vanillin and acetic acid treatments in the postharvest laboratory of department of horticultural sciences and engineering in Vali-e-Asr University of Rafsanjan. The statistical design of the experiment was a factorial in the form of a completely randomized design. The first factor included the control (distilled water), chitosan 1% (Chit), acetic acid 1% (AA), vanillin 1% (Van), and a combined treatment (AA1%+Van1%+Chit1%), while the second factor comprised the storage time during 3 storage periods (7, 14 and 21 days) at a temperature of 4±1°C and relative humidity of 85±5%.</p> <p>The results of the experiment showed that acetic acid prevented ionic leakage, microbial contamination, weight loss and maintained firmness. Vanillin treatment kept the fruit firmness during storage up to two times and prevented weight loss (3%) and ion leakage (14%), compared to the control. The lowest content of malondialdehyde, pectin methyl esterase activity, and microbial activity were observed in vanillin. In general, among the investigated treatments, vanillin, due to its antioxidant properties, performed more impressively in the preservation of tomato products than other treatments, and in the last period of storage samples treated with vanillin had the highest score. The vanillin treatment best preserved the evaluated characteristics of tomato fruit and is recommended for the tomato storage process. The treatment of acetic acid as a chitosan solvent was evaluated separately and this application led to the prevention of ionic leakage, microbial contamination, weight loss and maintaining firmness. With regard to results obtained from this research, chitosan and combined treatment had destructive effects on tomatoes, therefore the use of chitosan with low molecular weight is not recommended for the storage of tomato products.</p>

**Cite this article:** NAzoori, F., Khoshhali, M., Eghbali, H., & Talebizadeh, A. R. (2023). Effect of Postharvest Application of Chitosan, Vanillin and Acetic Acid on Quality and Storage Life of Tomato. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 54 (1), 117-136.  
DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2022.347309.2053>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2022.347309.2053>

Publisher: University of Tehran Press.

### Extended Abstract

#### Introduction

Tomato is the second most important vegetable in the world after potato, which is rich in minerals and vitamins and has a special place among vegetables, agricultural and commercial economy, although one of the postharvest problems of this product is its high wastes. The use of coatings for fresh fruits and vegetables is

one of the oldest methods in order to maintain the quality and increase the storage life. Using this method leads to the reduction of some activities, such as the rate of water vapor loss from the product, respiration, the rate of degradation and spoilage of qualitative characteristics, and the rate of microbial growth in the product.

### Materials and Methods

In 2021, an experiment was conducted to study the quality and storage life of 'Sena' cultivar of tomato by application of chitosan, vanillin and acetic acid treatments in the postharvest laboratory of department of horticultural sciences and engineering in Vali-e-Asr University of Rafsanjan. The statistical design of the experiment was a factorial in the form of a completely randomized design. The first factor included the control (distilled water), chitosan 1% (Chit), acetic acid 1% (AA), vanillin 1% (Van), and a combined treatment (AA1%+Van1%+ Chit1%), while the second factor comprised the storage time during 3 storage periods (7, 14 and 21 days) at a temperature of  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$  and relative humidity of  $85\pm 5\%$ .

### Results and Discussion

The results of the experiment showed that acetic acid prevented ionic leakage, microbial contamination, weight loss and maintained firmness. Vanillin treatment kept the fruit firmness during storage up to two times and prevented weight loss (3%) and ion leakage (14%), compared to the control. The lowest content of malondialdehyde, pectin methyl esterase activity, and microbial activity were observed in vanillin. In general, among the investigated treatments, vanillin, due to its antioxidant properties, performed more impressively in the preservation of tomato products than other treatments, and in the last period of storage samples treated with vanillin had the highest score. The vanillin treatment best preserved the evaluated characteristics of tomato fruit and is recommended for the tomato storage process. The treatment of acetic acid as a chitosan solvent was evaluated separately and this application led to the prevention of ionic leakage, microbial contamination, weight loss and maintaining firmness. With regard to results obtained from this research, chitosan and combined treatment had destructive effects on tomatoes, therefore the use of chitosan with low molecular weight is not recommended for the storage of tomato products.

### Conclusion

In this study, vanillin and acetic acid were able to preserve the investigated traits. According to the obtained results, the use of 1% vanillin and 1% acetic acid is suggested as the best treatment for tomato storage during the storage period. The noteworthy point in this study was the unacceptable effects of chitosan and combined treatment, which showed the negative role of edible coating of low molecular weight chitosan on tomato product. Taking this into consideration, it seems that the use of chitosan with medium or high molecular weight should be considered in the next experiments. Also, the study of different concentrations of high molecular weight chitosan in tomatoes, during the storage process in the warehouse, and the study of different concentrations of vanillin alone, and combination with other food coatings on tomato storage are other subjects that can be considered in further research.

## اثر کاربرد بعد از برداشت کیتوزان، وانیلین و استیک اسید بر کیفیت و انبارمانی گوجه‌فرنگی

فاطمه ناظوری<sup>۱</sup> | مهلا خوشحالی<sup>۲</sup> | حدیث اقبالی<sup>۳</sup> | علیرضا طالبی زاده<sup>۴</sup>

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: [f.nazoori@vru.ac.ir](mailto:f.nazoori@vru.ac.ir)
۲. گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: [sjust23@yahoo.com](mailto:sjust23@yahoo.com)
۳. گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: [h.eghbali@vru.ac.ir](mailto:h.eghbali@vru.ac.ir)
۴. گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: [a.talebizadeh@vru.ac.ir](mailto:a.talebizadeh@vru.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله پژوهشی	گوجه‌فرنگی، پس از سیب‌زمینی دومین سبزی مهم دنیا محسوب می‌شود که سرشار از املاح و ویتامین‌ها است و جایگاه ویژه‌ای در بین سبزی‌ها، اقتصاد کشاورزی و تجارت دارد، هرچند که یکی از مشکلات این محصول ضایعات بالای آن در مرحله پس از برداشت است. در سال ۱۴۰۰ آزمایشی به منظور بررسی کیفیت و انبارمانی گوجه‌فرنگی رقم سنا با استفاده از تیمارهای کیتوزان، وانیلین و استیک اسید انجام شد. طرح آماری آزمایش بر پایه فاکتوریل در قالب یک طرح کاملاً تصادفی بود. فاکتور اول آزمایش شامل شاهد (آب مقطر)، کیتوزان ۱ درصد (Chit)، استیک اسید ۱ درصد (AA)، وانیلین ۱ درصد (Van)، و تیمار تلفیقی (Chit1%+AA1%+Van1%) و فاکتور دوم شامل زمان انبارمانی طی ۳ دوره‌ی انبارمانی (۷، ۱۴ و ۲۱ روز) در دمای ۱±۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵±۵ درصد بود. نتایج آزمایش نشان داد استیک اسید منجر به جلوگیری از نشت یونی، آلودگی میکروبی، کاهش وزن و حفظ سفتی گردید. تیمار وانیلین منجر به حفظ سفتی (۲ برابر)، جلوگیری از کاهش وزن (۳ درصد) و کاهش نشت یونی (۱۴ درصد) نسبت به شاهد گردید. کم‌ترین مقدار مالون دی‌آلدئید، فعالیت پکتین متیل استراز، و آلودگی میکروبی در تیمار وانیلین مشاهده شد. در بین تیمارهای مورد بررسی، تیمار وانیلین به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی خود نسبت به سایر تیمارها در حفظ و نگهداری محصول گوجه‌فرنگی چشمگیرتر عمل نمود و در آخرین دوره‌ی انبارمانی نمونه‌های تیمار شده با آن از بیش‌ترین امتیاز برخوردار بودند. تیمار وانیلین ۱ درصد به بهترین نحو صفات مورد ارزیابی میوه گوجه‌فرنگی را حفظ نمود، لذا جهت فرایند انبارمانی گوجه‌فرنگی پیشنهاد می‌شود. تیمار استیک اسید به عنوان حلال کیتوزان به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت و این تیمار منجر به جلوگیری از نشت یونی، آلودگی میکروبی، کاهش وزن و حفظ سفتی شد. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش کیتوزان و تیمار تلفیقی اثرات مخربی بر روی گوجه‌فرنگی داشتند، بنابراین کاربرد کیتوزان با وزن مولکولی کم برای انبارمانی محصول گوجه‌فرنگی توصیه نمی‌شود.
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۱/۰۶/۱۲	
<b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۱/۰۸/۰۲	
<b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۱/۰۸/۰۹	
<b>تاریخ انتشار:</b> ۱۴۰۲/۰۱/۰۱	
<b>کلیدواژه‌ها:</b> آلودگی میکروبی، ترکیبات فنلی، فعالیت آنزیمی، مالون دی‌آلدئید، نشت یونی.	

**استناد:** ناظوری، فاطمه؛ مهلا، خوشحالی؛ اقبالی، حدیث؛ و طالبی‌زاده، علیرضا (۱۴۰۲). اثر کاربرد بعد از برداشت کیتوزان، وانیلین و استیک اسید بر کیفیت و انبارمانی گوجه‌فرنگی.DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2022.347309.2053> . ۱۱۷-۱۳۶ (۱)، ۵۴ (۱)

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/IJHS.2022.347309.2053>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## مقدمه

میوه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) میوه‌ای فرازگرا و دارای طول عمر پس از برداشت نسبتاً کوتاهی است زیرا بسیاری از فرایندهای مؤثر بر کاهش کیفیت پس از برداشت از جمله تعرق، بیماری‌ها، رسیدن و پیری باعث کاهش عمر نگهداری آن می‌شود (Akhtar, 2010). سالانه به‌طور متوسط ۳۰ درصد میوه‌ی گوجه‌فرنگی به دلیل شرایط نامناسب برداشت، حمل‌ونقل و نگهداری به‌صورت ضایعات از بین می‌روند (Zapata et al., 2008). پوشش‌دهی میوه‌ها و سبزی‌ها، به جهت حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارداری، مدت‌هاست که مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از این روش منجر به کاهش برخی فعالیتها، از جمله سرعت خروج بخار آب محصول، تنفس، سرعت تخریب و فساد ویژگی‌های کیفی، و سرعت رشد میکروبی در محصول می‌گردد (Meighani et al., 2018)

## پیشینه پژوهش

کیتوزان یک ترکیب طبیعی زیست تخریب و زیست سازگار است که از پوسته‌ی سخت‌پوستان مانند خرچنگ و میگو به‌دست آمده و با توجه به نوع محصول در وزن مولکولی کم، متوسط و بالا به عنوان پوشش خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کیتوزان به‌عنوان یک پوشش خوراکی نیمه نفوذپذیر به‌صورت اسپری، غوطه‌وری و برس زدن به‌صورت لایه‌ای نازک بر روی محصول ایجاد شده و با تغییر اتمسفر درونی محصول باعث کاهش میزان سوخت‌وساز، میزان تنفس و نفوذپذیری موادی مانند چربی و روغن و درجه حرارت شده، بدین وسیله زوال میوه را به حداقل رسانده و منجر به حفظ کیفیت میوه‌های برداشت‌شده می‌گردد (Zivanovic et al., 2005). کاربرد تلفیقی کیتوزان ۱/۵ درصد (با وزن مولکولی کم) با اکسید کلسیم ۱ درصد قادر به حفظ ویژگی‌های کمی و کیفی توت فرنگی تا ۱۲ روز در انبار سرد شد (Meighani et al., 2018). کاربرد کیتوزان ۱ درصد با وزن مولکولی بالا ضمن افزایش عمر انبارداری خیار، کیفیت محصول را به مدت طولانی تری حفظ کرد (Ghasemi Tavallaui, et al., 2015). پسته تر بادامی پوشش دهی شده با ۱ درصد کیتوزان با وزن مولکولی بالا، تحت شرایط بسته بندی مپ فعال، دارای بالاترین زمان ماندگاری (۸۶ روز) بود (Rezaiyan Attar et al., 2021). در پژوهشی تأثیر پوشش خوراکی کیتوزان بر حفظ کیفیت و انبارداری لیموشیرین مورد بررسی قرار گرفت. میوه‌های تیمار شده با کیتوزان دارای کم‌ترین درصد کاهش وزن و بیشترین مواد جامد محلول، اسید آلی و ویتامین ث بوده‌اند و تیمار کیتوزان ۲ درصد جهت افزایش عمر انبارداری لیموشیرین توصیه شد (Gheysarbigi et al., 2016)

وانیلین خواص بسیاری، از جمله مبارزه با استرس، جلوگیری از آسیب رسیدن به کبد، مبارزه با سلول‌های سرطانی، خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضد باکتریایی و ضد میکروبی و جلوگیری از پیر شدن سلول‌ها را دارد. وانیلین در صنایع غذایی و به‌عنوان نگه‌دارنده‌ی مواد غذایی استفاده می‌شود. استیک اسید نیز یک ماده ضد میکروبی طبیعی و افزودنی مطمئن به مواد غذایی و یک گزینه معتبر و مؤثر در جلوگیری از پوسیدگی پس از برداشت میوه‌ها به قارچ‌های *Penicillium expansum* است (Roberts et al., 2010). خواص ضد میکروبی وانیلین (Chung, et al., 2009) و مهار واکنش‌های اکسیداتیو (Ashengroph & Nahvi, 2014) در نتایج کار محققین ثابت شده است. استفاده از وانیلین سبب کنترل رشد مخمر و کپک در طول فرایند انبارداری قطعات برش خورده سیب شد (Chung et al., 2009). تیمار تلفیقی وانیلین و کیتوزان به‌عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی با حذف گونه‌های فعال اکسیژن منجر به حفظ ویژگی‌های کمی و کیفی گوجه فرنگی در انبار شد (Safari et al., 2020). با توجه به اینکه استیک اسید به عنوان حلال کیتوزان مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا کاربرد نتایج جداگانه این ترکیب بر انبارداری محصولات مورد بررسی عمیق قرار نگرفته است. استیک اسید یا بخار سرکه در جلوگیری از تندش‌کنیدی قارچ‌های عامل پوسیدگی قهوه‌ای، کپک خاکستری و کپک آبی و کاهش پوسیدگی مؤثر است (Sholberge et al., 2000). کاربرد بخور استیک اسید بر انبارداری محصولات کشاورزی نتایج قابل توجهی داشته است (Sholberg et al., 1998). استیک اسید با تأثیر بر غشای

سلولی از طریق کاهش متابولیت‌ها و حفظ پتانسیل غشا مانع از اتلاف آب فراورده و در نتیجه سبب جلوگیری از کاهش وزن می‌گردد (Vazife dost *et al.*, 2013). با توجه به خواص کیتوزان، وانیلین و اسید استیک، در بررسی‌های انجام گرفته، و نیز ضایعات بالای محصول گوجه فرنگی، در این آزمایش، به بررسی کیفیت و عمر انبارمانی گوجه‌فرنگی با استفاده از تیمار جداگانه و تلفیقی کیتوزان، وانیلین و استیک اسید پرداخته شد.

## روش‌شناسی پژوهش

### نحوه اجرای آزمایش

رقم گوجه‌فرنگی سنا در فصل بهار از یکی از گلخانه‌های اطراف استان کرمان انتخاب و زمانی که ۱۰ درصد هر میوه از صورتی به قرمز تغییر رنگ داده بودند برداشت شدند. بعد از انتقال به آزمایشگاه، برای هر تکرار ۶ عدد از میوه‌های سالم و یکنواخت جدا شده و توسط تیمارهای موردنظر اسپری شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام گردید. فاکتور اول آزمایش شامل شاهد (آب مقطر)، کیتوزان ۱ درصد (Chit) ساخت شرکت سیگما، استیک اسید ۱ درصد (AA)، وانیلین ۱ درصد (Van) برند مرک، و تیمار تلفیقی (AA1%+Van1%+Chit1%) و فاکتور دوم شامل زمان انبارمانی (۷، ۱۴ و ۲۱ روز) بود. بعد از خشک شدن، میوه‌ها درون ظروف یک‌بار مصرف پلی‌اتیلنی منفذ دار (۷ سوراخ معادل ۰/۵ درصد سطح ظرف) در دمای  $1 \pm 4$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $85 \pm 5$  درصد نگهداری شدند. در پایان هر دوره انبارمانی برخی صفات کمی و کیفی به شرح ذیل اندازه‌گیری شدند.

**کاهش وزن:** تمامی بسته‌بندی‌های هر دوره انباری در روز اول وزن شدند که وزن اولیه (M1) نمونه‌ها در نظر گرفته شد. سپس در ادامه، هر ۷ روز یک‌بار میوه‌های مربوط به هر دوره خارج و وزن ثانویه (M2) محاسبه گردید. میزان کاهش وزن با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Valero *et al.*, 2006).

$$\text{رابطه ۱)} \quad \text{درصد کاهش وزن} = (M1 - M2 / M1) \times 100$$

درصد کاهش وزن

**سفتی میوه:** میزان سفتی بافت گوجه‌فرنگی با استفاده از دستگاه تست کشش - فشار ساخت شرکت سنتام ایران، مدل STM20 انجام گردید. این دستگاه بر روی قابلیت اعمال نیروی فشاری با سرعت ثابت ۵ میلی‌متر بر دقیقه و تا عمق نفوذ ۰/۵ میلی‌متر از بافت تنظیم شد. در این سامانه، نیروی فشاری توسط یک نفوذکننده به شکل میله‌ای با نوک استوانه‌ای به قطر ۸ میلی‌متر و ارتفاع ۵ میلی‌متر، که به انتهای نیروسنج متصل بود، اعمال گردید. میزان نفوذ در هر میوه در چهار نقطه در راستای دو قطر عمود برهم و در دو طرف میوه بر اساس ظهور اولین عدد ثبت شده توسط دستگاه صورت گرفت. متوسط حداکثر مقادیر ثبت شده توسط ثبات دیجیتالی بر حسب نیوتن گزارش شد (Heydari & Nassiri, 2016).

**ویتامین ث:** به منظور تهیه عصاره گوجه‌فرنگی، آب گوجه‌فرنگی توسط دستگاه آب‌میوه‌گیر دستی تهیه و بعد از عبور از صافی آماده شد. جهت اندازه‌گیری میزان اسید آسکوربیک موجود در عصاره گوجه‌فرنگی، در یک ظرف ۱۰ میلی‌لیتر عصاره میوه گوجه‌فرنگی، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲ میلی‌لیتر محلول نشاسته ۱ درصد تهیه و توسط محلول حاوی ۱/۶ گرم ید و ۱۶ گرم یدور پتاسیم، که به حجم یک لیتر رسید، تیترو گردید. عمل تیتراسیون تا ظهور اولین تغییر رنگ، ادامه و سپس عدد یادداشت شد. از ضرب عدد حاصل در عدد ثابت ۰/۸۸ میزان ویتامین C در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌میوه تعیین شد (رابطه ۲) (Chung *et al.*, 2009).

$$\text{رابطه ۲)} \quad \text{لیتر آب میوه} = 100 \times (\text{مقدار ید مصرفی} \times 0/88) = \text{میلی گرم ویتامین ث در } 100 \text{ میلی}$$

**سرمازدگی:** میزان شاخص سرمازدگی میوه بر اساس لکه‌های سطحی فرورفته میوه، که مهم‌ترین شاخص سرمازدگی در میوه گوجه‌فرنگی می‌باشد، ارزیابی و محاسبه شد (Ding et al., 2004). شاخص سرمازدگی بر اساس میزان فرورفتگی با استفاده از نمره‌دهی و با فرمول زیر مورد ارزیابی قرار گرفت. به میوه‌ی فاقد فرورفتگی (سالم) نمره‌ی صفر، فرورفتگی سطحی کم‌تر از ۲۵ درصد نمره‌ی ۱، فرورفتگی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد نمره‌ی ۲، فرورفتگی بین ۵۰ تا ۷۵ درصد نمره‌ی ۳، فرورفتگی سطحی بیش از ۷۵ درصد نمره‌ی ۴ داده شد. درصد سرمازدگی با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۳)} \quad 6 \times \text{تعداد کل میوه} / (\text{تعداد میوه‌ی دارای علائم سرمازدگی} \times \text{نمره‌ی مربوطه} \sum) = \text{درصد سرمازدگی}$$

**نشت یونی:** برای اندازه‌گیری میزان ثبات غشا سلولی از پوست و گوشت گوجه‌فرنگی‌های موجود در هر واحد آزمایشی ۶ عدد دیسک به قطر ۱۰ میلی‌متر گرفته شد. به دیسک‌های گوجه‌فرنگی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید و بر روی دستگاه شیکر به مدت ۲ ساعت قرار گرفتند. سپس هدایت الکتریکی اولیه توسط دستگاه هدایت سنج (مدل و شرکت سازنده) اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، ظروف فالكون حاوی دیسک‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس اتوکلاو شدند. بعد از آن، مجدداً هدایت الکتریکی (ثانویه) اندازه‌گیری و درصد نشت یونی با استفاده از رابطه ۴ تعیین گردید.

$$\text{رابطه ۴)} \quad (\text{Saltveit, 2002}). \quad 100 \times (\text{هدایت الکتریکی اولیه}) / (\text{هدایت الکتریکی ثانویه}) =$$

نشت یونی (درصد)

**فعالیت آبی:** برای تعیین فعالیت آبی، مقدار ۱ گرم از بافت میوه گوجه‌فرنگی در ظرف مخصوص دستگاه واتر اکتیویته (Novasina, Switzerland) قرار داده شد. پس از گذشت حدود ۱۰ دقیقه میزان فعالیت بافت اندازه‌گیری شد. (Guadarrama-Lezama et al., 2014).

**آلودگی میکروبی:** در پایان دوره انبارمانی (روز ۲۱) ۵ گرم از بافت میوه گوجه‌فرنگی بر روی فویل آلومینیومی استریل با استفاده از چاقو به قطعات ریز تبدیل و درون شیشه درب آبی حاوی پپتون واتر اتوکلاو شده ریخته شد، سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه روی شیکر بخوبی مخلوط شدند. برای تهیه رقت‌های مختلف، ابتدا ۱ میلی‌لیتر از سوسپانسیون اولیه (رقت صفر) با ۹ میلی‌لیتر محلول پپتون واتر مخلوط و به‌خوبی ورتکس شد و رقت ۱- بدست آمد. سپس بلافاصله ۱ میلی‌لیتر از رقت ۱- با ۹ میلی‌لیتر محلول پپتون واتر مخلوط و به‌خوبی ورتکس شد و رقت ۲- بدست آمد. و این کار تا رقت ۵- انجام شد. پس از آن ۲۰۰ میکرولیتر از هر رقت در پتری دیش‌های جداگانه کشت گردید و تعداد کلونی‌های باکتری پس از گذشت ۲۴ ساعت شمارش و ثبت گردید. (Brummell & Harpster, 2001).

**مالون دی آلدئید:** مقدار ۰/۲۵ گرم از گوشت میوه گوجه‌فرنگی در ۴ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ درصد (w/v) تری کلرو استیک اسید (TCA) همگن شد، سپس محلول به‌دست‌آمده به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. بعد از آن، ۱ میلی‌لیتر از محلول روشناور همراه با ۴ میلی‌لیتر تری کلرو استیک اسید ۲۰ درصد حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیوتریک اسید به‌خوبی همگن و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفت. به دنبال آن به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. درنهایت مقدار جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۲ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (lambdaElmer Perkin, American) خوانده و مقدار مالون دی آلدئید برحسب نانومول در گرم وزن تازه بافت (nmol g-1 FW) از رابطه ۵ محاسبه شد (Wang et al., 2015).

$$\text{رابطه ۵)} \quad \text{مالون دی آلدئید} = (0.088 \times A532)$$

که در آن A برابر است با عدد جذب نمونه در طول موج ۵۳۲ نانومتر

**ترکیبات فنلی:** ۰/۱ گرم بافت میوه گوجه‌فرنگی در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون دستی همگن و به مدت ۴۸ ساعت در تاریکی نگهداری شد. سپس، ۱ میلی‌لیتر از محلول روشناور با ۱ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد مخلوط و با آب مقطر به

حجم نهایی ۵ میلی لیتر رسانده شد. به محلول فوق ۰/۵ میلی لیتر معرف فولین و ۱ میلی لیتر کربنات سدیم ۵ درصد اضافه گردید که منجر به ایجاد رنگ کدر در نمونه‌ها گردید. لوله‌ها به مدت ۱ ساعت در تاریکی نگهداری و سپس جذب نوری توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت و مقدار فنل کل برحسب میلی گرم معادل گالیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت تازه میوه (mg GAE. 100g<sup>-1</sup> FW) با استفاده از رابطه ۶ محاسبه گردید. (Sanchez-Gonzalez et al., 2011).

$$\text{رابطه ۶)} \quad \text{فنل کل} = (0.1887 \times A760) - 0.07$$

که در آن A برابر است با عدد جذب نمونه در طول موج ۷۶۰ نانومتر

**لیکوپن:** برای اندازه‌گیری میزان لیکوپن گوجه‌فرنگی مقدار ۰/۶ گرم بافت میوه گوجه‌فرنگی با ۴ میلی لیتر آب مقطر در مخلوط‌کن له و عصاره‌ی آن تهیه گردید سپس، ۲ میلی لیتر بوتیلات هیدرو کسی تولوئن، ۲ میلی لیتر استون و ۶ میلی لیتر هگزان به عصاره‌ی گوجه‌فرنگی افزوده شد و به مدت ۲۰ دقیقه بر روی شیکر قرار گرفت. پس از قرارگیری نمونه‌ها در فضای آزمایشگاه و تشکیل دوفاز، محلول زرد رنگ فاز بالایی جدا و میزان جذب نور در طول موج ۵۰۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. غلظت لیکوپن برحسب میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد که در آن A میزان جذب نمونه و g وزن نمونه گوجه‌فرنگی است (Fish et al., 2002).

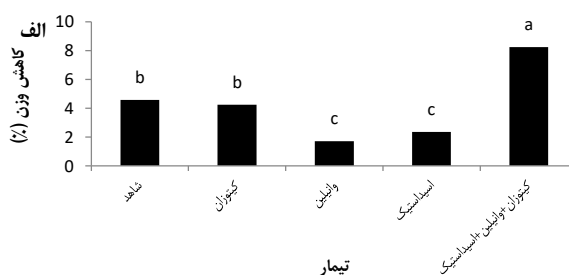
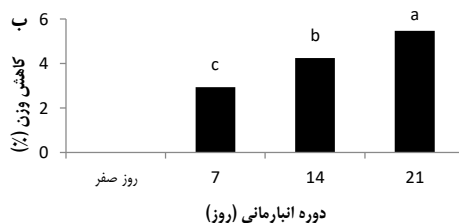
$$\text{رابطه ۷)} \quad \text{لیکوپن} = (A503) \times (0.0312) / g$$

**آنزیم پکتین متیل استراز و پلی گالاکتروناز:** ابتدا مقدار ۰/۴ گرم از بافت گوجه‌فرنگی با ۱/۶ میلی لیتر بافر استات سدیم ۵۰ میلی مولار ترکیب و پس از مخلوط شدن کامل در هاون دستی سانتیفریوژ گردید و از روشناور برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی استفاده شد (Gavin et al., 1994). برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز ۵۰ میکرو لیتر نمونه استخراج شده با یک میلی لیتر پلی گالاکترونیک اسید ۰/۳ درصد، ۹۵۰ میکرو لیتر بافر استات سدیم ۵۰ میلی مولار مخلوط شد و به مدت ۴۵ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد تا واکنش آنزیم انجام گردد. برای متوقف کردن واکنش آنزیم پلی گالاکتروناز از ۰/۸ میلی لیتر بافر بورات ۱۰۰ میلی مولار استفاده گردید و پس از ۵ دقیقه ۲۰۰ میکرو لیتر محلول سیانو استامید ۱ درصد اضافه و پس از قرار دادن در آب جوش به مدت ۱۰ دقیقه میزان جذب در طول موج ۲۷۶ نانومتر قرائت گردید. برای اندازه‌گیری فعالیت پکتین متیل استراز مخلوط واکنش شامل ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی، ۲ میلی لیتر پکتین ۰/۵ درصد، ۱۵۰ میکرو لیتر بروموتیمول بلو ۰/۱ درصد و ۷۵۰ میکرو لیتر آب مقطر بود. روند کاهش جذب در طول موج ۶۲۰ نانومتر به مدت ۲ دقیقه ثبت گردید. غلظت‌های به‌دست‌آمده فعالیت آنزیم را بر اساس میکرو مول در دقیقه در حجم محلول واکنش نشان داد (Fischer & Bennett, 1991).

**ارزیابی حسی:** برای ارزیابی حسی از روش نمره دادن صفر تا پنج و چشیدن و نظرخواهی از افراد مختلف استفاده شد. ده نفر ارزیاب از بین دانشجویان و اساتید انتخاب شدند. از هر تیمار تعدادی گوجه‌فرنگی درون ظروف پلاستیکی، که از طریق کدهایی مشخص شده بودند، قرار داده شد. سپس، ارزیاب‌ها فاکتور عطر و بو (بر اساس حس بویایی)، درصد پوسیدگی و پذیرش کلی را مورد ارزیابی قرار دادند. در این آزمایش بر اساس امتیازدهی ارزیاب‌ها، میوه‌های ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد سالم، دارای عطر و بوی مناسب و پذیرش کلی بودند که به آنها به ترتیب امتیازات ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ داده شد. در نهایت، با محاسبه میانگین امتیازدهی ارزیاب‌ها اثر تیمار بر ویژگی‌ها مورد بررسی قرار گرفت (Valero et al., 2006).

**آنالیز آماری:** آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام گردید. نتایج و داده‌های به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار کامپیوتری SAS تجزیه تحلیل آماری شدند و مقایسه میانگین داده‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفتند. نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم‌افزار EXCEL رسم و نتایج تفسیر شدند. یافته‌های پژوهش

**کاهش وزن:** بر طبق نتایج آزمایش، باگذشت زمان میزان کاهش وزن تمام نمونه‌ها افزایش یافت (شکل ۱. ب)، اما بیشترین درصد کاهش وزن در تیمار تلفیقی و کم‌ترین میزان کاهش وزن در تیمار وانیلین و استیک اسید مشاهده شد (شکل ۱. الف).

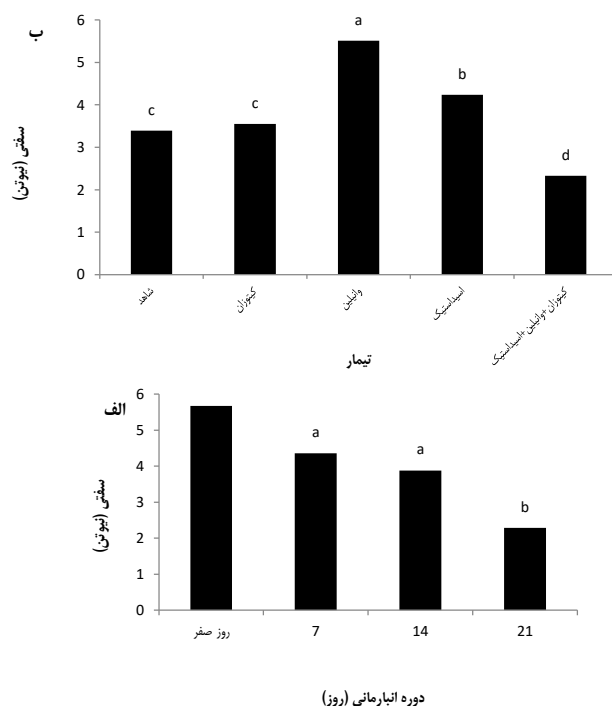


**شکل ۱-** مقایسه میانگین اثرات کیتوزان، وانیلین و استیک اسید (الف) و دوره انبارمانی (ب) بر کاهش وزن گوجه‌فرنگی رقم سنا طی دوره انبارمانی در دمای  $1 \pm 4$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $85 \pm 5$  درصد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

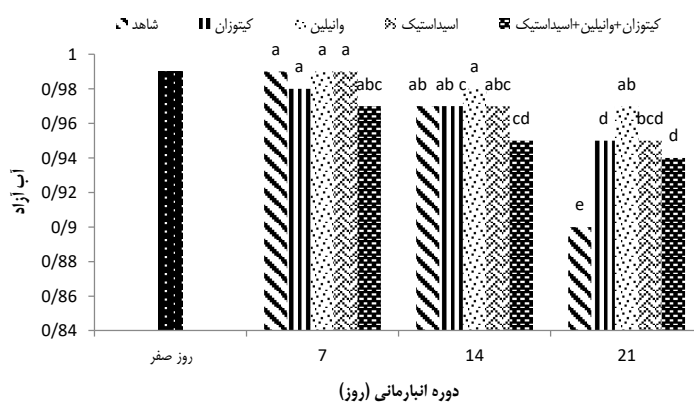
**سفتی:** باگذشت زمان میزان سفتی در تمامی نمونه‌ها کاهش یافت (شکل ۲. الف)، اما کم‌ترین میزان سفتی در تیمار تلفیقی و بیشترین میزان سفتی در نمونه وانیلین ثبت شد (شکل ۲. ب).

**فعالیت آبی:** فعالیت آبی تمامی نمونه‌ها در روز ۷ انبارمانی همانند روز صفر حفظ‌شد، اما در روز ۲۱ انباری میزان فعالیت آبی کاهش یافت. کم‌ترین میزان فعالیت مربوط به تیمار شاهد و بیشترین میزان فعالیت در تیمار وانیلین ثبت شد، بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری ملاحظه نشد. بر طبق نتایج مقایسه میانگین میزان فعالیت آبی در هر سه دوره انبارمانی نسبت به زمان برداشت روند کاهشی داشت، اما میزان کاهش فعالیت آبی در تمامی نمونه‌ها نسبت به تیمار شاهد کنترل گردید (شکل ۳).





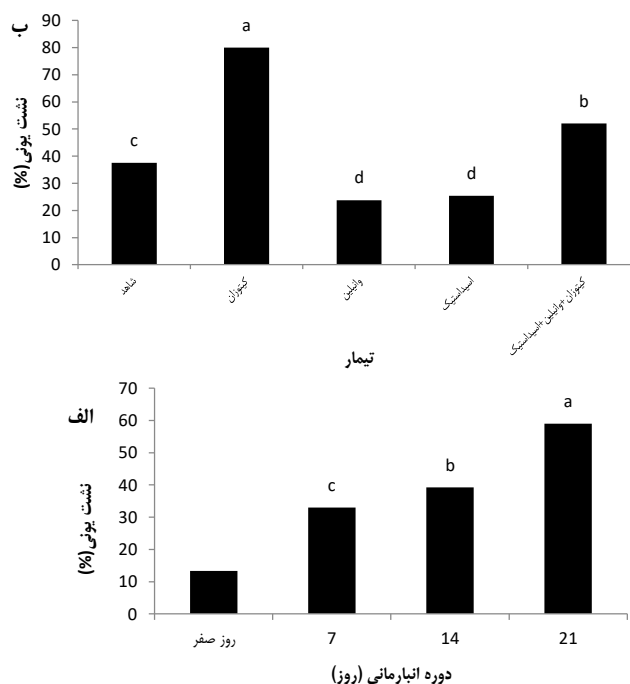
شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات دوره انبارمانی (الف) کیتوزان، وانیلین و استیک اسید (ب) بر سفتی گوجه‌فرنگی رقم سنا طی دوره انبارمانی در دمای ۱±۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵±۵ درصد. (منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوره انبارمانی و کیتوزان، وانیلین و استیک اسید بر فعالیت آبی گوجه‌فرنگی رقم سنا طی دوره انبارمانی در دمای ۱±۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵±۵ درصد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

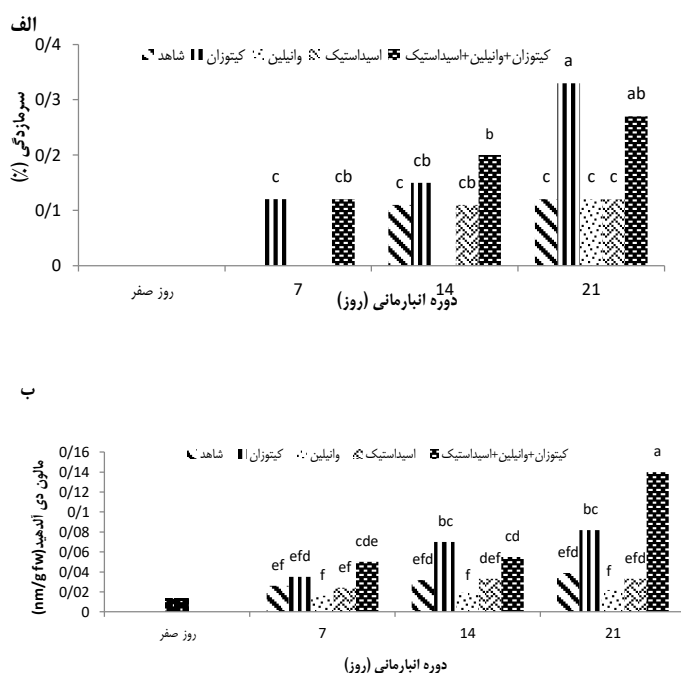
### نشت یونی، سرمازدگی و مالون دی آلدئید: باگذشت زمان میزان نشت یونی افزایش پیدا کرد (شکل ۴. الف).

بیشترین (۸۰ درصد) و کمترین (۲۵ درصد) نشت یونی به ترتیب متعلق به تیمار کیتوزان، وانیلین و استیک اسید بود (شکل ۴. ب).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات دوره انبارمانی (الف) کیتوزان، وانیلین و استیک اسید (ب) بر نشت یونی گوجه‌فرنگی رقم سنا طی دوره انبارمانی در دمای  $1 \pm 4$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $85 \pm 5$  درصد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

علائم سرمازدگی در روز ۷ انبارمانی فقط در کیتوزان و تیمار تلفیقی مشاهده شد و تیمار وانیلین تا روز ۱۴ انبارمانی فاقد علائم سرمازدگی بود. بیشترین میزان سرمازدگی در روز ۲۱ مربوط به میوه‌های تیمار شده با کیتوزان و تیمار تلفیقی بود و سایر تیمارها کمترین میزان سرمازدگی را داشتند که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان ندادند (شکل ۵. الف). باگذشت زمان میزان مالون دی‌آلدئید در گوجه‌فرنگی‌ها افزایش یافت. در روز ۷ انبارمانی کمترین میزان مالون دی‌آلدئید مربوط به تیمار وانیلین به میزان ۱/۵ درصد و بیشترین میزان مالون دی‌آلدئید مربوط به تیمار تلفیقی به میزان ۳ درصد بود که در روز ۲۱ انبارمانی به بالاترین حد رسید. به‌طور کلی کمترین میزان مالون دی‌آلدئید در تمامی دوره‌های انبارمانی در تیمار وانیلین مشاهده شد (شکل ۵. ب).

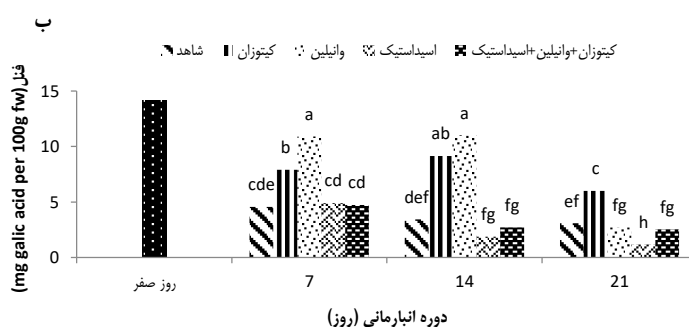
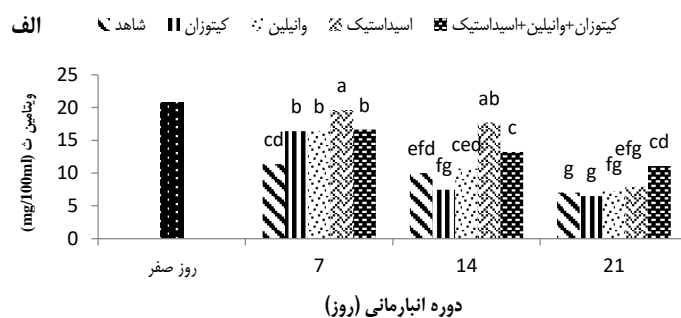


شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوره انبارمانی و کیتوزان، وانیلین و استیک اسید بر درصد سرمازدگی (الف) و غلظت مالون دی آلدئید (ب) گوجه‌فرنگی رقم سنا طی دوره انبارمانی در دمای  $4 \pm 1$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $85 \pm 5$  درصد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

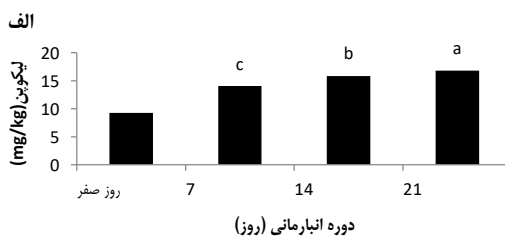
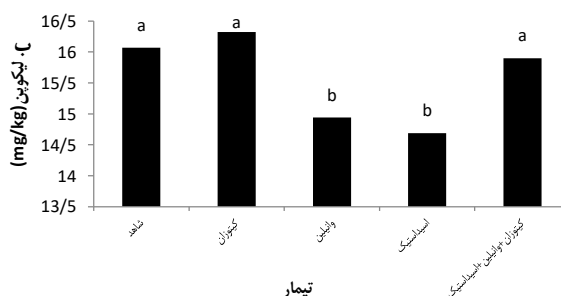
**ویتامین ث:** باگذشت زمان انبارمانی از میزان ویتامین ث گوجه‌فرنگی کاسته شد. بر طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان ویتامین ث در روز صفر ( $20/69 \text{ mg}/100\text{g fw}$ ) و هفته اول انبارمانی مشاهده شد. بیشترین میزان ویتامین ث در دوره‌ی ۷ روز انبارمانی متعلق به تیمار استیک اسید بود. بیشترین میزان ویتامین ث پس از ۲۱ روز انبارمانی در تیمار کیتوزان بود و بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶. الف).

**ترکیبات فنلی:** باگذشت زمان از میزان فنل موجود در گوجه‌فرنگی کاسته شد، به‌گونه‌ای که بیشترین میزان فنل در روز صفر و کم‌ترین میزان آن در نمونه‌های روز ۲۱ مشاهده گردید. تیمار وانیلین به‌خوبی در هر سه دوره انبارمانی میزان فنل میوه را حفظ کرد. در روز ۲۱ انبارمانی بیشترین میزان فنل ( $5/19 \text{ mg GAE per } 100\text{g fw}$ ) مربوط به تیمار وانیلین و کم‌ترین میزان آن ( $1/19 \text{ mg GAE per } 100\text{g fw}$ ) مربوط به کیتوزان بود (شکل ۶. ب).

**لیکوپن:** طی دوره انبارمانی میزان لیکوپن در نمونه‌های گوجه‌فرنگی افزایش یافت (شکل ۷. الف). کم‌ترین میزان لیکوپن در تیمار استیک اسید و وانیلین، و بیشترین میزان آن در تیمارهای کیتوزان، تلفیقی و شاهد ثبت گردید (شکل ۷. ب).



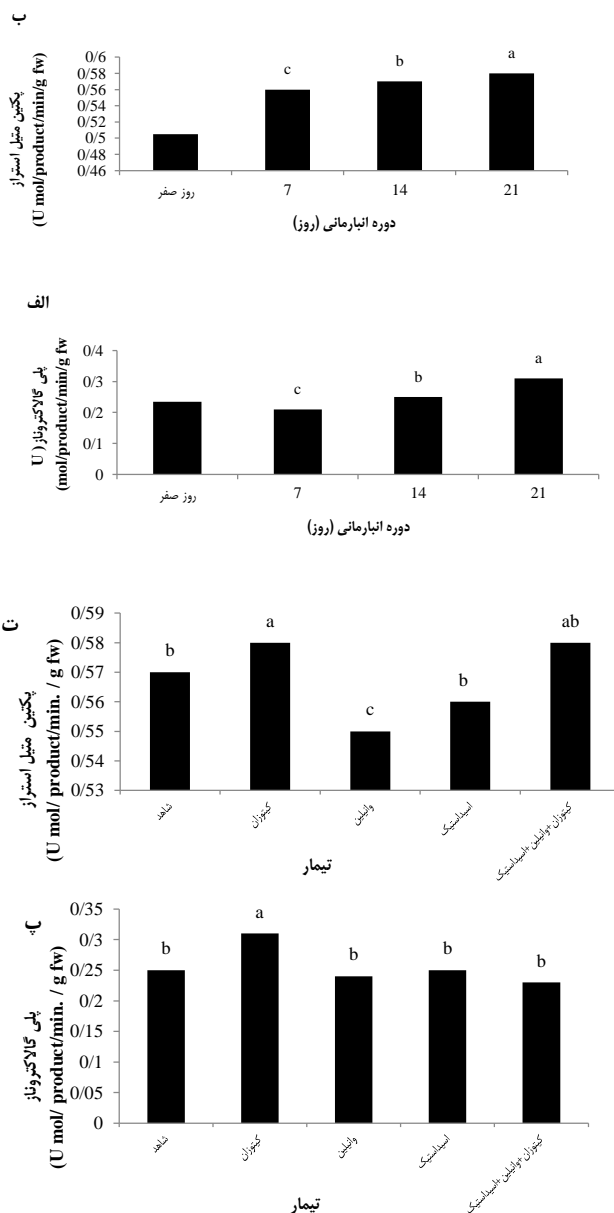
شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوره انبارمانی و کیتوزان، وانیلین و استیک اسید بر ویتامین ث (الف) و ترکیبات فنلی (ب) گوجه‌فرنگی رقم سنا طی دوره انبارمانی در دمای ۱±۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۸۵ درصد. (منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات دوره انبارمانی (الف) و کیتوزان، وانیلین و استیک اسید (ب) بر لیکوپین گوجه‌فرنگی رقم سنا طی دوره انبارمانی در دمای ۴±۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۸۵ درصد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

### آنزیم پلی گالاکتروناز و پکتین متیل استراز: با افزایش دوره‌ی انبارمانی میزان فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز (شکل ۸.

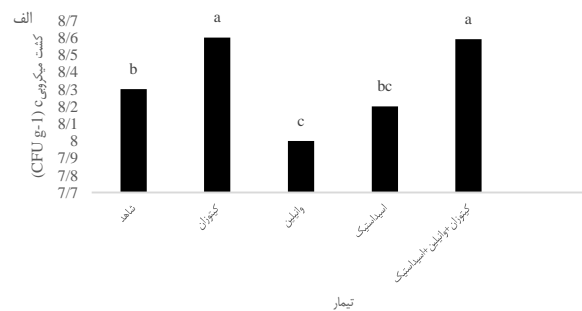
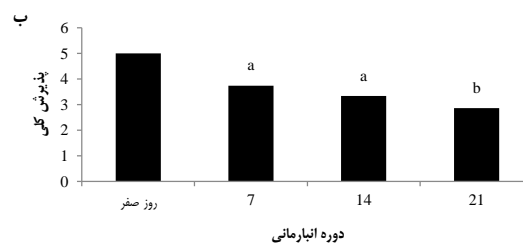
الف) و پکتین متیل استراز (شکل ۸. ب) افزایش یافت. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز مربوط به تیمار کیتوزان بود و بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۸. پ). بیشترین فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز مربوط به تیمارهای کیتوزان و تلفیقی بود و کمترین فعالیت آن در تیمار وانیلین مشاهده شد (شکل ۸. ت).

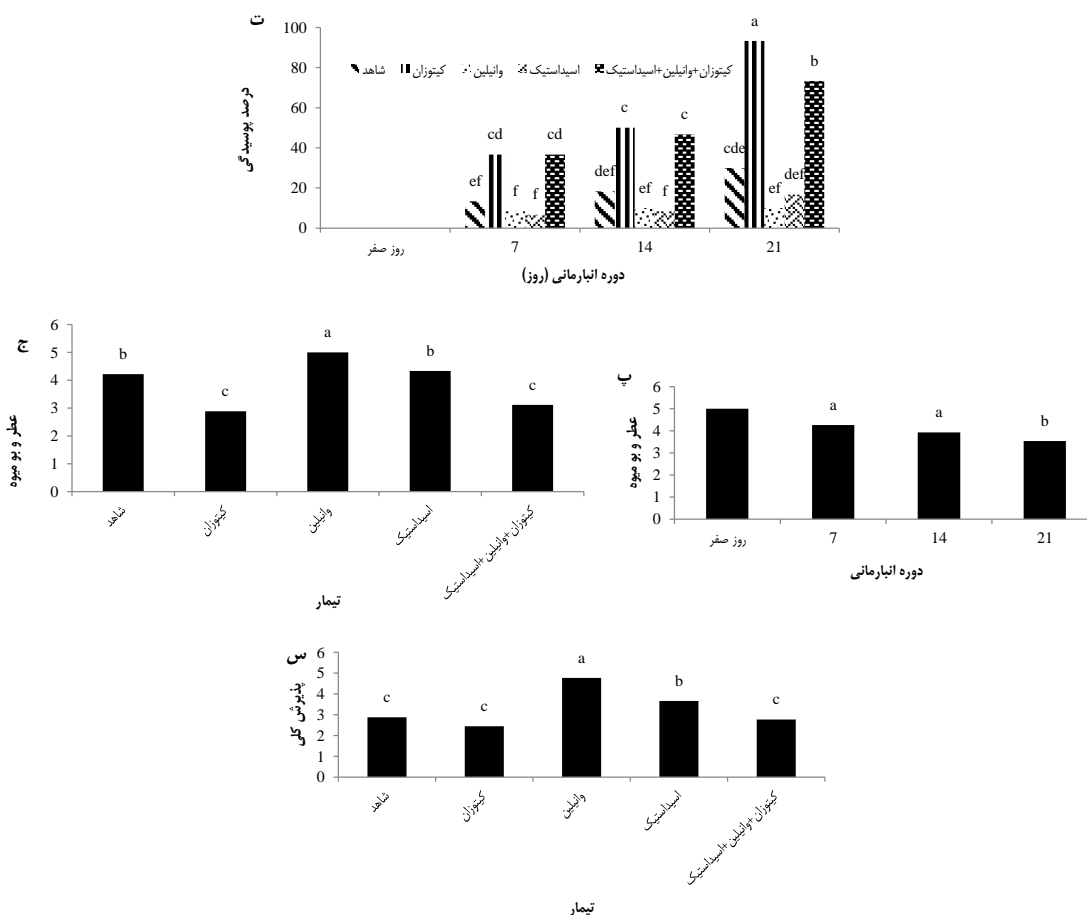


**شکل ۸-** مقایسه میانگین اثر دوره انبارمانی بر فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز (الف) و پکتین متیل استراز (ب)؛ واثر کیتوزان، وانیلین و استیک اسید بر فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز (ت) و پلی گالاکتروناز (پ) در میوه گوجه‌فرنگی رقم سنا طی دوره انبارمانی در دمای  $4 \pm 1$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $85 \pm 5$  درصد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

**آلودگی میکروبی:** میزان آلودگی میکروبی در آخرین روز انباری مورد ارزیابی قرار گرفت. در بین تیمارهای مورد آزمایش بیشترین آلودگی میکروبی در روز ۲۱ انبارمانی مربوط به تیمار کیتوزان و تیمار تلفیقی، و کمترین آلودگی میکروبی مربوط به تیمار وانیلین بود (شکل ۹. الف).

**آزمون حسی:** بر طبق نتایج مقایسه میانگین، باگذشت زمان در طی انبارمانی از میزان تازگی، کیفیت و شکل ظاهری گوجه‌فرنگی کاسته شد. بطوری‌که باگذشت زمان درصد پذیرش کلی (شکل ۹. ب)، عطر و بو (شکل ۹. پ) در گوجه‌فرنگی کاهش و درصد پوسیدگی (شکل ۹. ت) افزایش یافت. تیمار وانیلین بهترین امتیاز از نظر پذیرش کلی و عطر و بو (شکل ۹. س و ج) را دریافت نمود.





شکل ۹- مقایسه میانگین اثرات دوره انبارمانی، کیتوزان، وانیلین و استیک اسید بر آلودگی میکروبی (الف) پذیرش کلی (ب و س)، عطر و بو (ب و ج)، درصد پوسیدگی (ت) گوجه‌فرنگی رقم سنا طی دوره انبارمانی در دمای ۱۴±۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵±۵ درصد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

## بحث

**کاهش وزن:** هنگام برداشت، اکثر محصولات دارای حداکثر آب می‌باشند اما بعد از برداشت، در اثر تعرق، تنفس و فعالیت‌های متابولیکی مقدار آب محصول به تدریج کاهش می‌یابد. استفاده از تیمار کیتوزان سبب کاهش در هدرروی آب در فلفل دلمه‌ای و توت‌فرنگی می‌شود (Al-Juhaimi *et al.*, 2012) که با نتایج بدست آمده از این تحقیق مغایرت دارد. در پژوهش حاضر به دلیل استفاده از کیتوزان با وزن مولکولی کم، با توجه به بافت نرم و آبی گوجه‌فرنگی، منجر به صدمه به بافت و افزایش تنفس گشت و میزان درصد کاهش وزن در تیمار کیتوزان و تیمار تلفیقی افزایش یافت. استفاده از وانیلین به میزان قابل توجهی سبب جلوگیری از کاهش وزن در گوجه‌فرنگی شد (Safari *et al.*, 2020). استیک اسید با تأثیر بر غشای سلولی از طریق کاهش متابولیت‌ها و حفظ پتانسیل غشا مانع از اتلاف آب فراورده و در نتیجه سبب جلوگیری از کاهش وزن می‌گردد (Vazife dost *et al.*, 2014).

**سفتی:** پس از برداشت، فراورده به تنفس خود ادامه داده که خود منجر به تبخیر و تعرق می‌گردد. سفتی میوه، یکی از شاخص‌های عمر پس از برداشت میوه، رضایتمندی و بازارپسندی گوجه‌فرنگی است و از ویژگی مهم کیفی است که به طور مستقیم در افزایش پتانسیل انبارمانی و ایجاد مقاومت بیشتر به آسیب‌های مکانیکی و پوسیدگی میوه نقش دارد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که تأثیر تیمار ۰/۵ درصد کیتوزان بهتر از کیتوزان ۱ درصد بوده و دلیل آن را صدمه‌ی بافت‌های میوه و

افزایش تنفس در نظر گرفته اند (Lee & Kader, 2000). در توت‌فرنگی‌های انبارشده نیز پوشش کیتوزان با کاهش در تبخیر و تعرق سبب حفظ سفتی محصول شده است (Vagaras *et al.*, 2006)، که با نتایج آزمایش ما مغایرت دارد. علت آن می‌تواند استفاده نمودن از وزن ملکولی کم کیتوزان باشد که در این حالت تیمار کیتوزان همانند شاهد عمل کرده و منجر به حفظ سفتی نشده است. وانیلین تمامیت غشا را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با کاهش فعالیت آنزیم‌های تنفسی سبب حفظ سفتی می‌گردد (Ramachandra & Ravishankar, 2000).

**فعالیت آبی:** آب آزاد بر سرعت واکنش‌های شیمیایی مخرب تأثیرگذار است، زیرا آب که به‌عنوان یک حلال عمل می‌کند می‌تواند خود واکنش نشان داده یا تحرک واکنش‌دهنده‌ها را از طریق ویسکوزیته تغییر دهد (Guadarrama-Lezama *et al.*, 2014). در فعالیت آبی کمتر از ۰/۶، عملاً تمام فعالیت‌های میکروبی، مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها یا مخمرها متوقف می‌شود. برعکس، فعالیت آبی بیش از ۰/۶ منجر به شروع واکنش‌های شیمیایی و آنزیمی می‌شود. در این مطالعه، فعالیت آبی به دلیل از دست دادن رطوبت در هنگام ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد، که ناشی از کاهش فعالیت آب به دلیل افزایش ارتباط آب و کاهش آب آزاد است (Wang *et al.*, 2014). فعالیت آبی شاخصی جهت پیش‌بینی و کنترل عمر نگهداری محصولات غذایی بوده و می‌توان آن را برای بیشتر مواد غذایی با مقادیر بین صفر تا ۰/۹ اعمال نمود. کنترل فعالیت آبی از آلودگی میکروبی جلوگیری نموده، عمر ذخیره‌سازی را توسعه می‌دهد و بنابراین، به کمک آن می‌توان برخی از محصولات را بدون ایجاد شرایط سرد نگهداری کرد (Guadarrama-Lezama *et al.*, 2014).

**نشت یونی، سرمازدگی و مالون‌دی‌آلدئید:** نشت یونی بیان‌کننده شدت آسیب‌دیدگی غشاء سلولی است که در اثر دمای پایین و تنش سرمایی صورت می‌گیرد. نشت یونی باعث تغییر فاز در غشاء سیتوپلاسمی سلول‌های گیاهی شده، در نتیجه فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیولوژیکی گیاه دچار اختلال گشته و علائم سرمازدگی نمایان می‌شود (Saltveit, 2002). عدم توانایی غشاء در حفظ ساختار سلولی سبب افزایش نشت محلول‌های سلولی می‌شود. در پژوهش ما، به دلیل استفاده از کیتوزان با وزن مولکولی کم، احتمالاً فرایند تولید اتیلن و تخریب دیواره‌های سلولی به‌شدت در حال افزایش بوده است. نهایتاً منجر به ایجاد آب گز شدگی در گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده گشته و نسبت به شاهد بسیار ضعیف‌تر عمل کرده است. احتمالاً استیک اسید و وانیلین با حفظ غشای سلولی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی مانع از افزایش گونه‌های فعال اکسیژن شده که نتیجه آن جلوگیری از افزایش نشت یونی و سرمازدگی بوده است. پوست مردگی سطحی، آب گز شدن، کاهش وزن بیشتر و افزایش نشت یون‌ها از علائم مربوط به خسارت‌های سرمازدگی است. مهم‌ترین نشانه خسارت سرمازدگی در گوجه‌فرنگی وجود لکه‌های فرورفته در آن است. محققین بر این باورند که آسیب غشای سلولی منجر به افزایش گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه تخریب سیستم دفاعی و ایجاد خسارت در بافت‌های گیاهی می‌شود (Saltveit, 2002). مالون دی‌آلدئید یکی از محصولات حد واسط در پراکسیداسیون لیپیدها می‌باشد و موجب آسیب به غشاء پلاسمایی و اندامک‌های سلول‌های میوه می‌شود. پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء، که مرتبط با پیری است، به‌وسیله‌ی آنزیم‌های اکسیدکننده لیپیدها، هیدروپراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع را کاتالیز کرده و آنها را به گونه‌های فعال اکسیژن تبدیل و تجزیه می‌نماید (Wang *et al.*, 2015). ترکیبات حاوی کلسیم به دلیل افزایش شمار پیوندهای کلسیم در پلیمرهای پکتیکی باعث کاهش حلالیت آن‌ها و کاهش آسیب غشای سلولی و در نتیجه کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و چربی‌های غشاء گشته و منجر به کاهش تولید مالون دی‌آلدئید می‌گردند. (Gavin *et al.*, 1994)

**ویتامین ث:** ویتامین ث جزء یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کیفی و یکی از آنتی‌اکسیدان‌های مهم در گیاهان است. ویتامین ث نقش مهمی در مهار رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارد و به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان نقش مهمی در محافظت از سلول‌ها دارد. میزان ویتامین ث موجود در فرآورده‌ها بسته به ژنوتیپ، شرایط آب و هوایی، نوع کشت و زمان بلوغ متفاوت است. در بین ویتامین‌های مختلف، ویتامین ث به دلیل اکسیداسیون سریع به‌محض قرار گرفتن در حضور اکسیژن تجزیه می‌شود. میزان



ویتامین ث به تدریج در زمان نگهداری طولانی مدت، به دلیل خاصیت دهندگی الکترون به اکسیدان ها برای خنثی کردن رادیکال های آزاد، کاهش می یابد عوامل دیگری همچون دمای بالا، سرمازدگی، اکسیژن و pH قلیایی منجر به افزایش متابولیسم اکسیداتیو می شود (Akhtar, 2010). با توجه به این که کاهش میزان اکسیژن سبب کاهش تجزیه ی آسکوربیک اسید می شود، تیمار کیتوزان بر روی میوه های گوجه فرنگی باعث کاهش تبادلات گازی در میوه شده و سبب کاهش فعالیت آنزیم های پلی فنل اکسیداز و آسکوربیک اسید اکسیداز می گردد (Safari et al., 2020). تیمار کیتوزان با کاهش تبادلات گازی و کاهش حضور اکسیژن منجر به کاهش تجزیه ی ویتامین ث می گردد. مطالعات انجام شده بر روی فلفل دلمه ای نشان داده که کیتوزان سبب حفظ ویتامین ث و کاهش فرایند پیری می گردد (Al-Juhamimi et al., 2012). وانیلین نیز به عنوان یک ترکیب آنتی اکسیدانی با برداشتن گونه های فعال اکسیژن باعث پایان دادن به این زنجیره واکنش شده و از سوی دیگر با اکسید نمودن خود سایر واکنش های اکسیداتیو را مهار می نماید (Ashengroph & Nahvi, 2014).

**لیکوپن:** در میوه های فرازگرا طی فرایند رسیدن، کلروفیل تجزیه و لیکوپن سنتز می گردد. نتایج بررسی محققین نشان می دهد که با افزایش میزان اتیلن میزان تنفس افزایش یافته و منجر به افزایش لیکوپن در نمونه ها می گردد. با پیشرفت مراحل تکاملی و رسیدن گوجه فرنگی، پلاستیدها دستخوش تغییر می شوند، بدین ترتیب که در کلروپلاست میوه سبز نابالغ مقدار نشاسته کاهش یافته و تیلاکوئیدها نمایان می شوند. در طی شکل گیری کروموپلاست، تیلاکوئیدها ناپدید شده و غشاهای حاوی کریستال های لیکوپن ظاهر می شوند (Ebrahimzadeh et al., 2019).

**ترکیبات فنلی:** ترکیبات فنلی از طریق به دام انداختن رادیکال های آزاد به عنوان یک آنتی اکسیدان شناخته شده و تأثیر مهمی بر کیفیت میوه از طریق تغییر در رنگ، عطر و طعم محصولات میوه ای دارند (Al-Juhamimi et al., 2012). در انگورهای پوشش داده شده با کیتوزان و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز ترکیبات فنلی نسبت به شاهد افزایش می یابد (Sanchez-Gonzalez et al., 2011) که این مورد با نتایج تحقیق حاضر مغایرت دارد. وانیلین به عنوان یک ترکیب آنتی اکسیدانی با حذف گونه های فعال اکسیژن از اکسیداسیون ترکیبات فنلی جلوگیری می کند (Safari et al., 2020).

**آنزیم پلی گالاکتروناز و پکتین متیل استراز:** نرم شدن میوه هنگام رسیدن به دلیل محلول شدن پکتین و تولید پلیمرهای ناهمگون دی- گالاکترونیک اسید و متیل استر می باشد. عملکرد کلسیم باعث جفت شدن پکتین های دمتوکسی و در نهایت باعث افزایش سفتی بافت می شود (Fischer & Bennett, 1991). میزان فعالیت این آنزیم ها پس از برداشت با توجه به شرایط انبارداری، میزان تنفس محصولات و مرحله ی تکاملی میوه افزایش می یابد. در میوه ی سیب، طی انبارداری کاهش سفتی بافت همراه با افزایش فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز و پلی گالاکتروناز مشاهده گردیده است (Gavin et al., 1994). احتمالاً وانیلین و استیک اسید با تأثیر بر غشای سلولی و کاهش فعالیت های تنفسی و آنزیمی منجر به کاهش فعالیت های آنزیم های دیواره سلولی می گردند.

**آلودگی میکروبی:** پوسیدگی و عوامل تنش زا در شرایط انباری سبب کاهش کیفیت محصولات و نیز ایجاد ضایعات می گردد. تغییر در ساختار دیواره سلولی و نرم شدن میوه از طریق تولید آنزیم های تخریب کننده غشاء سلولی به فعالیت پاتوژن ها و میکروارگانیسم ها در طی شرایط انباری کمک می کند (Brummell & Harpster, 2001). کیتوزان می تواند باعث تشکیل یک لایه بر روی سطح میوه شود که این پوشش به عنوان یک مانع مکانیکی عمل نموده و باعث محافظت میوه در برابر عفونت پاتوژن ها و کمک به کاهش پوسیدگی میوه ها در طول دوره ذخیره سازی می شود (Zivanovic et al., 2005). مورد اخیر نیز با نتایج بدست آمده در این پژوهش مغایرت دارد. وانیلین یکی از مهم ترین ترکیبات طعم دهنده در صنایع غذایی می باشد که بر اساس نوع غذا می تواند در غلظت های مختلف به عنوان یک ترکیب با خواص آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی و نگهدارنده استفاده شود (Safari et al., 2020). مطالعات انجام شده نشان از فعالیت قوی ضد میکروبی وانیلین علیه تعداد زیادی از باکتری ها و قارچ ها در محیط آزمایشگاهی دارند (Sholberg et al., 1998, Chung et al., 2009).

استفاده از وانیلین در سیب باعث مهار رشد مخمر و کپک در طول فرایند ذخیره‌سازی می‌شود (Chung et al., 2009). مکانیسم اثر استیک اسید بر مهار رشد میکروارگانیسم‌ها نیز ظاهراً به دلیل تأثیر آن بر غشا سلولی از طریق تداخل در انتقال متابولیت‌ها و حفظ پتانسیل غشا می‌باشد (Sholberg et al., 1998).

**پذیرش کلی:** در بین تیمارهای مورد بررسی تیمار وانیلین و استیک اسید از پذیرش بهتری برخوردار بودند. از آنجاکه کسب امتیاز کمتر از ۲/۵ به منزله رد محصول از نظر مصرف‌کننده می‌باشد، تیمار کیتوزان و تیمار تلفیقی نمره مناسبی کسب نکردند. درصد پوسیدگی میوه‌ها با گذشت زمان انبارمانی افزایش یافت، به طوری که بیشترین مقدار پوسیدگی به ترتیب متعلق به نمونه کیتوزان (۹۰ درصد)، تیمار تلفیقی (۸۰ درصد) و شاهد (۴۰ درصد) بود. کمترین درصد پوسیدگی در تیمار وانیلین (۱۰ درصد) و استیک اسید (۱۵ درصد) مشاهده گردید. با توجه به خواص ضد میکروبی وانیلین (Ramachandra & Ravishanka, 2000, Chung et al., 2009) و اسید استیک (Sholberg et al., 1998) می‌توان آن را اصلی‌ترین دلیل بالا بودن نمره ارزیابی‌ها به این دو تیمار دانست.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، وانیلین و استیک اسید به خوبی باعث حفظ صفات مورد بررسی شدند. با توجه به نتایج به دست آمده استفاده از وانیلین ۱ درصد و استیک اسید ۱ درصد به عنوان بهترین تیمار برای انبارمانی گوجه‌فرنگی در طول دوره انبارمانی پیشنهاد می‌گردد. نکته قابل توجه در این بررسی اثرات غیرقابل‌پذیرش کیتوزان و تیمار تلفیقی بود که نشان از نقش منفی پوشش خوراکی کیتوزان با وزن مولکولی کم بر محصول گوجه‌فرنگی داشت. با در نظر گرفتن این مورد، به نظر می‌رسد که در آزمایشات بعدی کاربرد کیتوزان با وزن مولکولی متوسط یا بالا مورد توجه قرار گیرد. همچنین مطالعه غلظت‌های مختلف کیتوزان با وزن مولکولی بالا در گوجه‌فرنگی در طول فرایند ذخیره‌سازی در انبار و بررسی غلظت‌های مختلف وانیلین به تنهایی و نیز تلفیق با سایر پوشش‌های خوراکی بر روی انبارمانی گوجه‌فرنگی از دیگر مواردی است که می‌تواند موضوع پژوهش‌های بعدی باشد.

### منابع

- اشنگروف، مراحم، و نحوی، ایرج. (۱۳۹۳). تولید بیولوژیکی وانیلین طبیعی بر اساس تبدیل میکروبی فنیل پروپانوئیدها. *پژوهش‌های سلولی و مولکولی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳(۳)، ۳۳۴-۳۱۶.
- رضائیان عطاری، فرناز، صداقت، ناصر، یگانه زاد، سمیرا، پاسبان، آتنا، و حصارى نژاد، محمدعلی. (۱۳۹۰). مدل سازی ماندگاری پسته تازه بادامی با پوشش کیتوزان در شرایط بسته بندی اتمسفر اصلاح شده. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*، ۱۸ (۱۱۴)، ۱۹۴-۱۸۱.
- حیدری، محمد مهدی و نصیری، سید مهدی. (۱۳۹۵). بررسی ویژگی‌های بافتی میوه گلابی در هنگام خشک کردن در خشک کن قفسه‌ای. *مجله تحقیقات علوم و صنایع غذایی ایران*، ۱۲(۲)، ۲۲۵-۲۱۴.
- قاسمی تولائی مهدی، رامین علی اکبر، و امینی، فریبا. (۱۳۹۴). تأثیر پوشش کیتوزان خوراکی بر کیفیت و افزایش طول عمر نگهداری خیار رقم "زمرد". *مجله تولید و فرآوری گیاهان زراعی*، ۵ (۱۵)، ۱۸۹-۱۹۸.
- قیصریگی، شهین، رامین، علی اکبر، و امینی، فریبا. (۱۳۹۴). تأثیر پوشش خوراکی کیتوزان بر حفظ کیفیت و عمر انبارمانی میوه لیمو شیرین. *تولید فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۵ (۱۸)، ۱۶۲-۱۵۳.
- وظیفه دوست، محسن، حسینی، سید ابراهیم، بختیاری، سعید، و جعفرنژاد، احمد. (۱۳۹۲). تأثیر تیمارهای پس از برداشت بر کیفیت گوجه فرنگی رقم ارلی اوربانا وای. *مجله صنایع غذایی و تغذیه*، ۱(۴۵)، ۸۰-۷۱.

### REFERENCES

- Al-Juhaimi, F., Ghaffoor, K., & Babiker, E. E. (2012). Effect of gum arabic edible coating on weight loss, firmness and sensory characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany*, 44, 1439-1444.

- Akhtar, M.E., Khan, M.Z., Rashid, M.T., Ahsan, Z., & Ahmad, S. (2010). Effect of potash application on yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Pakistan Journal of Botany*, 42(3), 695-1702.
- Ashengroph, M., & Nahvi, I. (2014). Biological Production of Natural Vanillin Based on the Microbial Conversion of Phenylpropanoids. *Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(3), 316-334. (In Persian)
- Brummell, D. A., & Harpster, M. H. (2001). Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology*, 47(1-2), 311-339.
- Bifani, V., Ramírez, C., Ihl, M., Rubilar, M., García, A. & Zaritzky, N. (2007). Effects of murta (*Ugni molinae* Turcz) extract on gas and water vapor permeability of carboxy methyl cellulose-based edible films. *LWT- Food Science and Technology*, 40: 1473-1481.
- Chung, H. S., Toivonen, P. M. A., & Moon, K. D. (2009). Effect of high vanillin treatment on storage quality of fresh-cut apples. *Food Science and Biotechnology*, 18(3), 636-640.
- Ding, C.Y., Wang, K., & Gross, L. (2001). Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. *Plant Science*, 161, 1153-1159.
- Fish, w.w. perkins-veazie., P & Collins, j.k. (2002). Tomato lycopene measuring by butylate hydroxyl toluene. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(3), 309-317.
- Fischer, R. L., & Bennett, A. B. (1991). Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. *Annual Review of Plant Biology*, 42(1), 675-703.
- Gavin, R., Terasa, W., Elspeth, A., & Robert, J. (1994). Apple and galactosidase activity against cell wall polysaccharides and characterization of a related cDNA Clone. *Plant Physiology*, 106: 521-528.
- Ghasemi Tavallaiy, M., Ramin, A.A., & Amini, F. (2015). Effects of Edible Chitosan Coating on Quality and Increasing Storage Life of Cucumber cv. Zomorod. *Journal of Crop Production and Processing*, 5 (15), 189-198. (In Persian)
- Gheysarbigi, S., Ramin, A. A., Amini, F. (2016). Effect of Chitosan Coating on Fruit Quality and Storage Life of Sweet Lime (*Citrus limetta*). *Journal of Crop Production and Processing*; 5 (18), 153-163. (In Persian)
- Guadarrama-Lezama, A. Y., Jaramillo-Flores, E., Gutiérrez-López, GF., Perez-Alonso, C., Dorantes-Álvarez, L., & Alamilla-Beltrán, L. (2014). Effects of storage temperature and water activity on the degradation of carotenoids contained in microencapsulated chili extract. *Drying Technology*, 32 (12), 1435-1447.
- Heydari, M. M., & Nassiri, S. M. (2016). Study on Textural Properties of Pear Fruit during Drying in a Cabinet Dryer. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 12(2), 214-225. (In Persian)
- Lee, S.K. & Kader, A.A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20, 207 – 220.
- Rezaian Attar, F., Sedaghat, N., Yeganehzad, S., Pasban, A. & Hesarinejad, M. A. (2021). Shelf life modeling of Badami's fresh pistachios coated with chitosan under modified atmosphere packaging conditions. *Journal of food science and technology*, 18 (114), 181-194. (In Persian)
- Roberts, P. K., Sargent, S.A., & Fox, A.J. (2002). Effect of storage temperature on ripening and postharvest quality of grape and mini-pear tomatoes. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 115, 80-84.
- Ramachandra Rao, S., & Ravishankar, G. A. (2000). Vanilla flavour: production by conventional and biotechnological routes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(3), 289-304.
- Saltveit, M. E. (2002). The rate of ion leakage from chilling-sensitive tissue does not immediately increase upon exposure to chilling temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 26(3), 295-304.
- Safari, Z., Ding, Ph., Juju Nakasha, J., & Yusof, S.F. (2020). Combining chitosan and vanillin to retain postharvest quality of tomato fruit during ambient temperature storage. *Coatings*, 10(12), 1222.

- Sanchez-Gonzalez, L., Pastor, C., Vargas, M., Chiralt, A., Gonzalez-Martinez, C. & Chafer, M. (2011). Effect of hydroxypropylmethylcellulose and chitosan coatings with and without bergamot essential oil on quality and safety of cold stored grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 60(1), 57–63.
- Sholberg, P. L., Delaquis, P. J., & Molgs, A.L. (1998). Use of acetic acid fumigation to reduce the potential for decay in harvest crops. *Recent Research Developments in Plant Pathology*, 2, 31-41.
- Sholberg, P., Haag, P., Hocking, R., & Bedford, K. (2000). The use of vinegar vapor to reduce postharvest decay of harvested fruit. *HortScience*, 35 (5), 898-903.
- Vazife dost, M., Hosseini, A., Bakhtiari, S. & Jafarnejad, A. (2014). The effect of post-harvest treatments on the quality of early Urbana Y variety tomato. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 12(1), 71-80. (In Persian)
- Valero, D., & Serrano, M. (2010). *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*. CRC Press.
- Vargas M., Albors A., Chiralt A., and Gonzalez-Martinez C. (2006). Quality of cold stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 41(164), 17158.
- Wang, Y., Luo, Z. & Huang, H. (2014). Effect of exogenous  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Scientia Horticulturae*, 168, 132-137.
- Wang, Z., Ma, L., Zhang, X., Xu, L., Cao, J., & Jiang, W. (2015). The effect of exogenous salicylic acid on antioxidant activity, bioactive compounds and antioxidant system in apricot fruit. *Scientia Horticulturae*, 181(2): 113–120.
- Zapata, J. P., Guillen, F., Romero, D. M., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2008). Use of alginate or zein as edible coatings to delay postharvest ripening process and to maintain tomato (*Solanum lycopersicon* Mill) quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 88(7): 1287-1293.
- Zivanovic, S., Chi, S., & Draughon, A.F. (2005). Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. *Journal of Food Science*, 70(1): 18-21.