Plant Prod., 2025, 48(1), 87- 103
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2024.47136.2177
Received: 12 June 2024
Accepted: 28 September 2024

Plant Productions

Research Article

Investigating the effect of natural compounds before and post-harvest on the physicochemical characteristics of apple (*Malus domestica* cv. Golden Delicious) fruit

Fatemeh Eini Tari[1], Abdollah Ehtesham Nia[2*], Hasan Mumivand [2], Mohamad Reza Raji[3]

1. PhD student of Horticultural Sciences, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Citation: Eini Tari, F., Ehtesham Nia, A., Mumivand, H., Raji, M.R. (2025). Investigating the effect of natural compounds before and post-harvest on the physicochemical characteristics of apple (*Malus domestica* cv. Golden Delicious) fruit. *Plant Productions,* 48(1), 87 - 103.

Abstract

Introduction

The global demand for a healthy lifestyle has increased significantly in recent years. This growing awareness has highlighted the need for better preservation and storage of fresh produce, particularly fruits, due to their rich vitamin and mineral content. Additionally, the increase in post-harvest waste has underscored the importance of using natural, eco-friendly compounds to extend shelf life, minimize waste, and maintain high nutritional value without introducing harmful substances.

Materials and Methods

This study was conducted as a factorial experiment using a completely randomized design with four replications. The first factor included pre- and post-harvest foliar treatments, with control treatments (spraying with distilled water), chitosan (50 mg l^{-1}), Nano-chitosan (50 and 100 mg l^{-1}) and the post-harvest immersion (Calcium chloride solution (0 and 2 %)). The second factor was storage duration (0, 60, 90 and 120 days). The study was carried out on Golden Delicious apples grafted onto MM 111 (Malling Merton 111) rootstock. Pre-harvest foliar spraying was carried out in an 18-year-old apple orchard in Abestan region of Khorramabad, while post-harvest immersion treatments were carried out at Lorestan University. After harvesting, the apples were initially washed with distilled water, dried, and immersed in a calcium chloride solution at room temperature for 8 minutes. To remove excess surface moisture, the treated fruits were placed in plastic fruit boxes and stored in a refrigerator at 4 °C with 80-90% relative humidity until the evaluation period. The study examined physiological and

* **Corresponding Author:** Abdollah Ehtesham Nia
E-mail: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

biochemical characteristics such as weight loss, acidity, titratable acids, soluble solids, ripening index, vitamin C content, and malondialdehyde levels.

Results and Discussion

The results of this study indicated that the applied treatments significantly affected the physicochemical characteristics of Golden Delicious apples. Treated fruits exhibited lower weight loss compared to the control group. Biochemical analyses further confirmed the beneficial effects of all treatments on the evaluated parameters. The highest level of titratable acids, vitamin C, along with the lowest acidity and malondialdehyde content, were observed in apples subjected to the combined treatment of nano chitosan and calcium chloride. Additionally, the treatments led to a reduction in soluble solids content and the fruit ripening index. Coatings such as chitosan function as barriers with selective permeability to oxygen and carbon dioxide, modifying the surrounding atmosphere by increasing carbon dioxide levels and reducing oxygen concentration. This altered gaseous composition helps slow the respiration rate and ethylene production, thereby delaying the aging process and extending the fruit's shelf life. Calcium also helps strengthen and maintain the integrity of the cell wall, ultimately preventing membrane deterioration and the increase in malondialdehyde in the fruit. Also, using calcium chloride plays a key role in strengthening cell walls, preserving the structure and function of membranes, and increasing the ability of cells to retain water.

Conclusion

Overall, the findings suggest that pre-harvest application of 100 mg/L chitosan nanoparticle, combined with post-harvest immersion in a 2% calcium chloride solution, yielded the most favorable results across most measured parameters. This combined treatment effectively preserved fruit quality and extended storage life, making it a promising approach for reducing post-harvest losses in Golden Delicious apples.

Keywords: Acidity, Malondialdehyde, Nanoparticles, Weight loss

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۴، ۴۸(۱)، ۸۷ – ۱۰۳
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2024.47136.2177
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

بررسی اثر کاربرد ترکیبات طبیعی در دورهٔ قبل و پس از برداشت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه سیب رقم گلدن دلیشز (*Malus domestica* cv. Golden Delicious)

فاطمه عینی تاری[۱]، عبداله احتشام‌نیا[۲*]، حسن مومیوند[۲]، محمدرضا راجی[۳]

۱- دانشجوی دکتری علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
۳- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

چکیده

سبک زندگی سالم، امروزه در سطح جهانی با تقاضای بالایی مواجه شده و این تقاضا نیاز به حفظ یا ذخیره بهتر مواد خوراکی تازه مثل میوه‌ها را بخاطر داشتن مقادیر فراوان ویتامین و مواد معدنی افزایش داده است. از طرفی، افزایش ضایعات پس از برداشت موجب شده توسعهٔ کاربرد ترکیبات طبیعی و سازگار با طبیعت و انسان، در جهت تولید محصولات عاری از مواد مضر و دارای ارزش غذایی بالا، همراه با کاهش ضایعات، امری ضروری به نظر برسد. به همین منظور، آزمایش حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول تیمارهای محلول‌پاشی قبل و پس از برداشت شامل شاهد، محلول‌پاشی کیتوزان (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و نانوکیتوزان (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و غوطه‌وری میوه‌های برداشت شده با محلول کلریدکلسیم در مرحلهٔ پس از برداشت (صفر و ۲ درصد) و فاکتور دوم شامل مدت زمان انبارمانی (روزهای صفر، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰) بر میوه‌های سیب رقم گلدن پیوند شده روی پایه MM 111 بود. محلول‌پاشی قبل از برداشت در یک باغ سیب ۱۸ ساله در سال ۱۴۰۰، واقع در منطقه آبستان شهرستان خرم آباد و مرحلهٔ غوطه‌وری در آزمایشگاه پس از برداشت صورت گرفت. میوه‌ها پس از شستشوی اولیه، ابتدا با آب مقطر شستشو، خشک و سپس در محلول کلرید کلسیم در دمای اتاق به مدت ۸ دقیقه غوطه‌ور شدند. سپس در مجاورت جریان هوای خنک به منظور حصول اطمینان از حذف رطوبت سطحی اضافی، در جعبه‌های پلاستیکی میوه و یخچال دمای ۴ درجه و رطوبت نسبی ۸۰ تا ۹۰ درصد تا زمان اندازه‌گیری پارامترها نگهداری شد. در این بررسی، ویژگی‌های بیوشیمیایی ازجمله کاهش وزن، اسیدیته، اسیدهای قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول کل، شاخص رسیدگی، ویتامین ث و محتوای مالون دی آلدئید بررسی گردید. نتایج تحقیق نشان داد که تیمارهای مورد استفاده، ویژگی‌های بررسی شده در میوه سیب را تحت تأثیر قرار دادند و کاهش وزن کم‌تری نسبت به تیمار شاهد داشتند. بررسی ویژگی‌های بیوشیمیایی نیز بیانگر تأثیر مثبت تمام تیمارها بر پارامترهای مورد نظر بود، به طوری که بیش‌ترین اسیدهای قابل تیتراسیون (۰/۳۱ درصد)، ویتامین ث (۴۵ میلی‌گرم آسکوربیک اسید بر ۱۰۰ میلی‌لیتر عصارهٔ میوه) و کم‌ترین میزان اسیدیته (۳/۵۴) و محتوای مالون دی آلدئید (۰/۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) در تیمارهای ترکیبی نانوکیتوزان و کلرید کلسیم به دست آمد. همچنین تیمارهای مورد استفاده موجب کاهش مواد جامد محلول کل و شاخص رسیدگی میوه‌ها

نویسنده مسئول: عبداله احتشام‌نیا
رایانامه: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir

شدند. براساس نتایج کلی، می‌توان بیان نمود که کاربرد تیمارهای نانوذرات کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در مرحلهٔ قبل از برداشت به همراه غوطه‌وری میوه‌ها در مرحلهٔ پس از برداشت در محلول کلرید کلسیم ۲ درصد، در اکثر ویژگی‌ها نتایج مطلوب‌تری نسبت به سایر سطوح تیماری نشان داد.

کلید واژه‌ها: اسیدیته، کاهش وزن، مالون دی آلدئید، نانوذرات

مقدمه

میوهٔ سیب (*Malus domestica*) از خانوادهٔ گل-سرخیان (Rosaceae)، زیر خانوادهٔ سیبیان (Pomoideae) و از مهم‌ترین محصولات باغی است که نگهداری و مسائل پس از برداشت آن به طور روز افزون مورد توجه دست اندرکاران صنعت باغبانی قرار دارد. براساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، بیش‌ترین سهم تولید محصولات باغبانی کشور مربوط به سیب (۱۸ درصد) می‌باشد، سطح زیرکشت این محصول در ایران ۲۲۹۱۴۵ هکتار (رتبه سوم جهان) و با تولید سالانه حدود ۴ میلیون تن در رتبه پنجم پس از کشورهای چین، آمریکا، ایتالیا و لهستان قرار دارد (Agricultural statistics, 2021). میوه‌ها به دلیل داشتن ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات آنتی‌اکسیدان بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل داده و سلامتی انسان با نوع رژیم غذایی ارتباط دارد (Li *et al*., 2020). سیب منبع قابل توجهی از مواد معدنی، ویتامین‌ها، پلی فنل‌ها، آنتوسیانین‌ها و اسیدهای آلی می‌باشد. با این اوصاف، این میوه در طول مدت انبارمانی، مستعد آسیب‌های مکانیکی برداشت و جابجایی است (Ackah *et al.,* 2022). میزان خسارت وارده بر میوه-ها از باغ، انبار و تا زمان مصرف به دلیل فقدان امکانات انبارداری مناسب در کشورهای توسعه یافته تا ۲۵ درصد و در کشورهای در حال توسعه تا بیش از ۴۶ درصد تخمین زده می‌شود (Wang *et al*., 2022). همچنین ممکن است آسیب‌های مکانیکی منجر به ایجاد زخم روی بافت میوه شده که باعث از بین رفتن یکپارچگی غشای سلولی و فساد بافت می‌شود (Adiletta *et al*., 2021; Gong *et al*., 2019). رادیکال هیدروکسیل (OH)، آنیون سوپراکسید (O^{2-}) پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و اکسیژن منفرد (O_2) نمونه‌هایی از رادیکال‌های آزاد تولید شده در اندامک‌های سلولی به دلیل فعالیت‌های بیولوژیکی مانند فتوسنتز و تنفس هستند (Adiletta *et al*., 2021) و عمدتاً به دلیل تنش اکسیداتیو تشکیل می‌شوند (Fooladi vanda *et al*., 2019). از طرفی، طی فرآیند رسیدن میوه، ویژگی‌های ظاهری و بیوشیمیایی با سرعت زیادی تغییر می‌کند و این تغییرات شامل مقدار قند و اسیدهای آلی و میزان نشاسته است که بر ویژگی‌های ظاهری و طعم میوه اثرگذار خواهند بود (Ferydouni *et al*., 2024). از این رو کاهش تلفات پس از برداشت محصول، یک مبارزه دائمی برای کشاورزی مدرن است که توسعه روش‌های جدید برای کاهش ضایعات را ضروری می‌کند، بنابراین تیمار کارآمد و ایمن برای حفظ کیفیت میوه بسیار مهم است (De Corato, 2020). برای افزایش عمر نگهداری میوه‌ها، چندین جایگزین و تیمار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پیشنهاد شده است (Agriopoulou *et al.,* 2020). روش‌هایی نظیر ازن، بسته‌بندی جوی کنترل شده، ترکیبات طبیعی، پوشش‌های خوراکی ضدقارچ و عوامل کنترل زیستی به عنوان جایگزین‌های ایمن و روش‌های نگهداری کارآمد در صنعت محصولات تازه مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Abd-Elkader *et al.*, 2021)، که از بین روش‌های ذکر شده، پوشش‌های خوراکی به وفور مورد استفاده قرار گرفته‌اند و می‌توانند با کاهش تعرق و تنفس به حفظ کیفیت میوه‌ها در مرحلهٔ پس از برداشت کمک کنند (Hosseini *et al*., 2019).

پوشش‌های خوراکی از پلیمرهای طبیعی مانند کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، موم‌ها و کامپوزیت‌های آن‌ها تشکیل شده‌اند (Ghoora and Srividya, 2020). امروزه برای افزایش اثربخشی پوشش خوراکی از ایجاد پوشش در مقیاس نانو استفاده می‌شود. استفاده از فناوری نانو می‌تواند خواص مکانیکی، حرارتی و فیزیکوشیمیایی مواد را بهبود بخشد (Luo and Wang, 2013). کیتوزان به عنوان یک پوشش طبیعی با حلالیت بالا، غیر سمی و زیست سازگار

(Ehtesham Nia *et al*., 2021) و با داشتن قابلیت دوگانه کنترل میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و فعال‌سازی پاسخ‌های دفاعی القایی، به عنوان یک ماده قابل اطمینان در پس از برداشت شناخته شده است (Shirzad, 2013). کیتوزان دارای گروه هیدروکسیل و آمینه در ساختار خود بوده، به طوری که می‌تواند به راحتی به شکل‌های مختلف مانند فیلم، میکرو/ نانوذرات و غیره با روش‌های مختلف تبدیل شود (Luo and Wang, 2013). کیتوزان یک مشتق پلی ساکارید هیدروکسیله کیتین است که ترکیبی قلیایی و تجزیه‌پذیر بوده و از استیل‌زدایی کیتین پوسته بیرونی سخت پوستان نشات می‌گیرد (Duan *et al*., 2019; Zhao *et al*., 2019). این ترکیب یکی از پلیمرهای زیستی است که به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است و باعث کاهش تعرق و از دست دادن سفتی می‌شود و علاوه بر این، ظرفیت آنتی اکسیدانی را افزایش داده و کیفیت کلی میوه برداشت شده را بهبود می‌بخشد (Wang *et al*., 2021). پیش از این، پوشش‌های مبتنی بر کیتوزان، به تنهایی یا ترکیب شده با عوامل فعال، با موفقیت در میوه‌های مختلف مانند گواوا، گوجه سبز، آلو، توت فرنگی، انبه، کیوی و انگور برای افزایش عمر انبارداری آن‌ها استفاده شد است (Silva *et al*., 2017; Parvin *et al*., 2018; Shah *et al*., 2020: Ehtesham Nia *et al*., 2021). در پژوهشی که تأثیر کیتوزان و نانوذرات کیتوزان بر کیفیت پس از برداشت از میوه‌های موز (*Musa acuminata*) بررسی شد، مشخص گردید که میوه‌های تیمار شده کم‌ترین کاهش وزن، مواد جامد محلول کل را نشان دادند و نانوذرات کیتوزان و کیتوزان توانستند موجب افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت میوه‌های موز شوند (Lustriane *et al*., 2018). کاربرد نانوذرات کیتوزان بر ماندگاری، کیفیت، ایمنی میوه‌های بلوبری مشخص کرد که در مقایسه با شاهد، تیمارهای کینوزان و نانوکیتوزان توانستند اسیدهای قابل تیتراسیون، اسیدیته و ویتامین ث را بیش‌تر افزایش داده و مانع قوی برای کاهش وزن و سرعت پوسیدگی بافت میوه بودند (Li *et al*., 2021). نتایج بررسی تیمار کیتوزان در مرحلهٔ پس از برداشت سیب نشان داد که تیمار کیتوزان باعث تحریک سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی شده و مانع از بین رفتن یکپارچگی غشای میوه می‌شود (Ackah *et al*., 2022). در پژوهشی دیگر، پوشش کیتوزان ماندگاری انبه (*Mangifera indica* L.) در مرحلهٔ پس از برداشت را بهبود بخشید، به طوری که کاهش وزن را تا ۶۵ درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد و علاوه بر این، ویژگی‌های مختلف کیفیت میوه مانند محتوای ویتامین ث، اسیدیته، اسیدهای قابل تیتراسیون و محتوای قند نیز به میزان قابل توجهی توسط پوشش‌های کیتوزان حفظ شد (Parvin *et al*., 2023).

کلرید کلسیم نیز نقش بالقوه‌ای در حفظ کیفیت پس از برداشت میوه‌ها از جمله سیب دارد. کلسیم نقش حیاتی در تثبیت سلولی غشاها و تأخیر در پیری در محصولات باغی دارد. استفاده از ترکیبات کلسیمی به حفظ تورژسانس سلولی، یکپارچگی غشا، سفتی بافت و تأخیر تجزیه چربی غشا کمک کرده و در نتیجه عمر انبارمانی میوه‌های تازه را افزایش می‌دهند (Beiparysa *et al*., 2023). در گیاهان، کلسیم می‌تواند یا به عنوان پیام‌رسان دوم درون سلولی عمل کند یا نقش‌های ساختاری ایفا کند (Thor, 2019). لکه تلخ که یک اختلال معمول در سیب است، با کمبود این ماده معدنی ظاهر می‌شود (Hocking *et al*., 2016; Bonomelli *et al*., 2020). از بین ترکیبات مختلف کلسیمی، کلریدکلسیم قابلیت نفوذ به کوتیکول میوه را داشته و موجب افزایش استحکام بافت می‌شود (Ghesmati *et al*., 2018). مطالعات نشان داده که نسبت کل مواد جامد محلول و اسیدیته کل در میوه‌های توت فرنگی تیمار شده با تیمار ۴ درصد کلرید کلسیم بالاتر از تیمار شاهد بود و کیفیت و ماندگاری توت فرنگی افزایش یافت (Nuri Ocalan *et al*., 2022). در تحقیقی به ارزیابی اثر کلسیم در میوه گلابی پس از کاربرد کلرید کلسیم در مراحل قبل و پس از برداشت پرداخته شد. به طور کلی، نتایج تحقیق نشان داد که در میوه‌های ذخیره شده با تیمار پس از برداشت کلرید کلسیم کم‌ترین مقدار مواد جامد محلول و بیش‌ترین سفتی بافت میوه حاصل شد (Pessoa *et al*., 2022). در آزمایشی، اثر کلرید کلسیم و دی اکسید کربن بر کیفیت پس

از برداشت میوهٔ سیب (*Malus domestica* cv. Gala) بررسی گردید که براساس نتایج، کاهش وزن در تیمارهای حاوی کلسیم و دی اکسید کربن در مقایسه با گروه شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت و همچنین تیمار کلرید کلسیم از نرم شدن میوه جلوگیری کرده و با حفظ سفتی و به حداقل رساندن پوسیدگی میوه، کاهش وزن را به حداقل رساند و ماندگاری را در مقایسه با گروه شاهد افزایش داد (Beiparysa *et al.*, 2023). بنابراین با توجه به مواد طبیعی بررسی شده و نکات و چالش‌های ذکر شده و نبود تحقیقی کامل در رابطه با اثر کاربرد ترکیبات مورد نظر، بر میوهٔ سیب رقم گلدن دلیشز، هدف از انجام پژوهش حاضر استفاده از کیتوزان و نانوکیتوزان و کلریدکلسیم در مراحل قبل و پس از برداشت به منظور حفظ کیفیت سیب گلدن دلیشز بر پایه رویشی MM 111 بود و اثر آن‌ها بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه‌های سیب در زمان نگهداری در انبار بررسی شد.

مواد و روش‌ها

شرایط و محل اجرای آزمایش

این مطالعه به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت کیتوسان و نانوکیتوزان و غوطه‌وری پس از برداشت کلرید کلسیم بر میوه‌های سیب رقم زرد (*Golden delicious*) پیوند شده روی پایه MM 111 (Malling Merton 111) در یک باغ سیب ۱۸ ساله، به مساحت ۲ هکتار واقع در منطقه آبستان شهرستان خرم آباد در سال ۱۴۰۰، به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و با چهار تکرار (هر تکرار شامل حداقل ۳۰ عدد میوه) انجام شد. فاکتور اول تیمارهای محلول‌پاشی قبل و پس از برداشت شامل تیمارهای شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر)، محلول‌پاشی کیتوزان (۵۰ میلی گرم بر لیتر) و نانوکیتوزان (۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) و غوطه‌وری میوه‌های برداشت شده با محلول کلریدکلسیم در مرحلهٔ پس از برداشت و در دو سطح (صفر و ۲ درصد) و فاکتور دوم مدت زمان انبارمانی (در روزهای صفر، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز پس از انبارداری (که با توجه به عمر انبارمانی بالای میوه سیب و انجام پیش‌آزمایش و تا زمان پایان عمر انبارمانی میوه (بازارپسندی) حاصل شد)) بود (جدول ۱). محلول‌پاشی در سه مرحلهٔ نیمه خرداد، تیر و شهریور (روی درختان میوه همسن، سالمبا هرس و شکل تاج مناسب برای نوردهی کافی) با استفاده از سمپاش ۱۵ لیتری در ساعات اولیه صبح روزهای تعیین شده انجام شد. برای انجام غوطه‌وری‌های پس از برداشت، میوه‌های سالم و عاری از آفات و بیماری‌ها از درختان علامت‌گذاری شده از قبل، به‌طور تصادفی انتخاب شدند. بدین ترتیب که میوه‌ها پس از شستشوی اولیه با آب شرب ابتدا با آب مقطر شستشو، خشک و سپس در محلول کلرید کلسیم ۲ درصد در دمای اتاق به مدت ۸ دقیقه غوطه‌ور شدند. پس از قرارگیری به مدت لازم در مجاورت جریان هوای خنک به منظور حصول اطمینان از حذف رطوبت سطحی اضافی، در جعبه‌های پلاستیکی میوه و یخچال دمای ۴ درجه و رطوبت نسبی ۸۰ تا ۹۰ درصد تا زمان اندازه‌گیری پارامترها نگهداری شد.

ویژگی‌های مورد بررسی

کاهش وزن

نمونه‌هایی که برای این آزمون انتخاب شدند به‌طور جداگانه و ثابت در یک ظرف برچسب‌گذاری شده نگهداری شدند. در روز اول، وزن اولیه نمونه‌ها با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ مدل GE120 اندازه‌گیری و در روزهای دیگر نیز وزن نمونه‌ها ثبت و اختلاف میان وزن نمونه‌ها در روزهای مختلف با روز پایانی بیانگر میزان کاهش وزن بود و به‌صورت درصد کاهش وزن بیان شد (Gheysarbigi *et al.*, 2020).

$$Weight\ loss = \frac{[W1 - W2]}{W1} * 100$$

W_1= وزن نمونه در ابتدای آزمایش، W_2=وزن نمونه در انتهای آزمایش

اسیدیته (pH)

میزان pH آب میوه با استفاده از دستگاه pH سنج (مدل ۳۲۲۰) اندازه‌گیری شد. به این منظور، ابتدا دستگاه با بافرهای ۴ و ۷ کالیبره و سپس الکترود دستگاه داخل آب میوه قرار داده شد، پس از ثابت شدن عدد نمایش داده شده، میزان pH ثبت گردید (Ehtesham Nia *et al.*, 2022).

Table 1. Treatments were used

Control	Use distilled water
$CaCl_2$ 2%	Calcium Chloride 2 %
CH 50	Chitosan 50 mgl^{-1}
CH 50+$CaCl_2$	CH 50 mgl^{-1} + Calcium Chloride 2%
NCH 50	Nano Chitosan 50 mgl^{-1}
NCH 50+$CaCl_2$	NCH 50 mgl^{-1} + Calcium Chloride 2%
NCH 100	Nano Chitosan 100 mgl^{-1}
NCH 100+$CaCl_2$	NCH 100 mg/l + Calcium Chloride 2%

اسیدهای قابل تیتراسیون

۵ میلی لیتر از آبمیوه در استوانه مدرج ریخته و با اضافه کردن آب مقطر به حجم ۵۰ رسانده شد. برای رساندن pH به ۸/۱ از هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال استفاده گردید و در نهایت اسیدیته قابل تیتر به صورت درصد اسیدمالیک بیان شد (Saki *et al.*, 2019).

مواد جامد محلول کل[1] (TSS) و شاخص رسیدگی (TSS/TA)

مواد جامد کل نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از رفراکتومتر (ATAGO, Japan) قرائت شد، ابتدا، رفرکتومتر با آب مقطر کالیبره گردید و پس از هر بار قرائت به دقت رفراکتومتر تمیز شد تا از خطا جلوگیری گردد. شاخص رسیدگی یا طعم میوه نیز از نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون محاسبه گردید (Ehtesham Nia *et al*., 2021).

ویتامین ث

محتوای ویتامین‌ث به روش تیتراسیون ۲،۶–دی کلروفنول ایندوفنول برآورد شد. ابتدا ۵ میلی‌لیتر عصاره میوه در ۵۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۲ گرم در میلی‌لیتر محلول اسید–اگزالیک همگن و سپس سانتریفیوژ شد (در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۵دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد). سپس مایع‌رویی (۱۰ میلی‌لیتر) با ۰/۱ درصد ۲،۶–دی‌کلروفنول‌ایندوفنول به رنگ صورتی دائمی تیتر شد. غلظت ویتامین ث با توجه به حجم تیتراسیون ۲،۶ دی‌کلروفنول‌ایندوفنول طبق رابطه زیر با کمی تغییر و به صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیترعصاره میوه بیان شد (He *et al.*, 2018):

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

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

محتوای مالون دی آلدئید (MDA)

مقدار ۲ گرم از نمونه میوه با محلول تری کلرواستیک اسید (۵ درصد وزنی/حجمی) ترکیب گردید. نمونه‌ها در دمای ۴ درجه به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس ۲ میلی‌لیتر از محلول روشناور حاصل جدا و ۲ میلی‌لیتر محلول ۶ درصد تیوباربیوتیک اسید به آن افزوده شد. سپس ترکیب حاصل در دمای ۹۰ درجه سانتی–گراد به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شد. سپس مخلوط سرد شده و با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. در نهایت، جذب نمونه در طول موج‌های ۴۵۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر ثبت و محتوای مالون دی آلدئید با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (Zheng and Tian, 2006):

$$MDA = 6.45(OD532 - OD600) - 0.56(OD450)$$

OD: میزان جذب در طول موج مورد نظر

آنالیز آماری

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی طرح‌ریزی شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel، برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده از نرم افزار SAS و برای گروه‌بندی میانگین‌ها در سطح پنج درصد از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

کاهش وزن

نتایج نشان داد که برهم‌کنش زمان انبارمانی و تیمار، به طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان کاهش وزن اثرگذار بود (جدول ۲). مقایسات میانگین نشان داد که

1- Total soluble solid

افزایش مدت زمان انبارمانی، درصد کاهش وزن را افزایش داد، به‌طوری‌که بالاترین درصد کاهش وزن متعلق به تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام (۱۸/۲۲ درصد) بود. نمونه‌های تیمار شده با کلرید کلسیم، کیتوزان و نانوذرات کیتوزان، کاهش وزن کم‌تری نسبت به شاهد داشتند و تیمار NCH 100+$CaCl_2$، کم‌ترین میزان کاهش وزن (۴/۴۷ درصد) را طی زمان انبارمانی نشان داد (جدول ۳). نتایج کاربرد کیتوزان و نانوکیتوزان بر میوه‌های سیب (Pashazadeh *et al.*, 2022)، توت فرنگی (Ghasemi Arshad *et al.*, 2023)، موز (Lustriane *et al.*, 2018) و انگور (Ehtesham Nia *et al.*, 2021) و کاربرد کلرید کلسیم بر میوه‌های سیب (Beiparysa *et al.*, 2023) در خصوص ممانعت از کاهش وزن نمونه‌های تیمار شده مطابق با نتایج پژوهش حاضر بود. تأیید شده که کاهش وزن در میوه‌های تازه عمدتاً به دلیل کاهش ذخایر کربن ناشی از تنفس و تعرق در میوه است (Saki *et al.*, 2019). کیتوزان یک پلیمر کاتیونی از ان-استیل-دی-گلوکوزامین با یک سطح با خاصیت آب دوست است که علاوه بر فعالیت آبدوستی، از طریق فیلم نیمه تراوا، می‌تواند جو بافت را کنترل کند و تعرق یا اتلاف بخار را کاهش دهد (De Matos Fonseca *et al.*, 2021). کیتوزان با تشکیل یک غشای تراوا بر روی سطح میوه‌ها، به عنوان یک مانع مکانیکی و فیزیکی برای کاهش تبادل گاز عمل می‌کند و در نتیجه بلوغ و پیری میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پوشش بیوپلیمر کیتوزان با حفظ هیدراتاسیون (تنظیم تعرق) و کاهش تبادل گاز و انتشار بخار آب، از دست دادن وزن را کاهش می‌دهد (Ehtesham Nia *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد که اثر نانوذرات بر کاهش وزن، ناشی از کم شدن تجمع اتیلن از طریق فرآیند تقلیل فوتوکاتالیستی بوده تا جایی که پاسخ‌های رسیدن ناشی از اتیلن و کاهش وزن به تأخیر می‌افتد؛ بنابراین، ترکیب نانوذرات کیتوزان در کنترل کاهش وزن میوه‌های تازه مؤثر است (Rokayya e*t al.*, 2021). کاربرد کلرید کلسیم در استحکام دیواره سلول‌ها، حفظ ساختار و کارکرد غشا نقش کلیدی داشته و قابلیت نگهداری آب را در سلول‌ها افزایش می‌دهد (Asghari *et al.*, 2019).

اسیدیته (pH) و اسیدهای قابل تیتراسیون (TA)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان‌داد که برهم‌کنش تیمار و مدت زمان انبارمانی بر میزان اسیدیته و اسیدهای قابل تیتراسیون، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج برهم‌کنش نشان داد که اسیدیته میوه سیب در روزهای مختلف اندازه‌گیری، افزایش یافت و از طرفی کاربرد تیمارها موجب کاهش این ویژگی گردید (جدول ۳). کم‌ترین (۳/۵۴) و بیش‌ترین (۵/۵۹) میزان اسیدیته به ترتیب متعلق به تیمارهای NCH 100+$CaCl_2$ در روز صفر و تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بود (جدول ۴). بررسی مقایسات میانگین برای اسیدهای قابل تیتراسیون نیز نشان داد که افزایش مدت زمان پس از برداشت، موجب کاهش و کاربرد پوشش‌های مورد استفاده موجب افزایش اسیدهای قابل تیتراسیون شد. به طوری که در تیمارهای شاهد در روز ۱۲۰ام و NCH 100+$CaCl_2$ در روز صفر، به ترتیب کم‌ترین (۰/۱۸ درصد) و بیش‌ترین (۰/۳۱ درصد) میزان اسیدهای قابل تیتراسیون به دست آمد (جدول ۳). با طولانی شدن زمان انبارمانی، میزان اسیدهای قابل تیتراسیون در میوه‌های پوشش داده شده نسبت به شاهد کاهش یافته، به نظر می‌رسد افزایش اسیدیته میوه در تیمار شاهد در روزهای آخر به علت افزایش فعالیت متابولیکی میوه، در اثر تخریب بافت میوه می‌باشد (Ali *et al.*, 2011). تعداد زیادی از اسیدهای آلی در بافت‌های گیاهی وجود دارند. مقدار این اسیدها به طور معمول بیش از اندازه مورد نیاز در چرخهٔ کربس و سایر چرخه‌های متابولیکی است و تعدادی نیز در واکوئل به شکل آزاد یا نمک‌های پتاسیم ذخیره می‌شود (Dong and Wang, 2018). در شرایط تنش اسیدهای آلی از گوشت به پوست میوه انتقال یافته و به عنوان پیش‌ماده برای ساخته شدن آنزیم‌های مقابله با تنش به کار برده می‌شوند (Hosseini *et al.*, 2018). به طور معمول میزان اسیدهای قابل تیتراسیون نشان دهنده میزان اسیدهای آلی میوه است و در اثر افزایش فعالیت متابولیکی میوه، میزان مصرف اسیدهای آلی افزایش می‌یابد (Gol *et al.*, 2013). اسیدی و قلیایی بودن بافت میوه با اسیدیته بیان می‌شود، علاوه بر اسیدهای آلی درون میوه، مواد دیگری بر میزان اسیدیته اثرگذار خواهند بود. اما به طور کلی در بیشتر محصولات در مدت زمان انبارداری میزان اسیدیته افزایش می‌یابد، که این

افزایش با کاهش اسیدهای آلی در اثر تنفس و تبدیل شدن آن‌ها به قند مرتبط است (Perkins-Veazie *et al.*, 2008). کیتوزان یک مانع با نفوذپذیری انتخابی در برابر گازهای اکسیژن و دی اکسید کربن ایجاد می‌کند و اتمسفر تغییر یافته‌ای را با قرار دادن دی اکسید کربن در سطح بالاتر و کاهش اکسیژن در اطراف میوه ایجاد می‌کند که این فرآیند، میزان تنفس و تولید اتیلن را کاهش داده، موجب کاهش فرآیند پیری شده و از افزایش اسیدیته جلوگیری می‌کند (Cheung *et al.*, 2015). کلرید کلسیم، مانند هر پوشش دیگری، تنفس را کاهش می‌دهد و تولید اتیلن را با محدود کردن تبادل گاز کاهش داده و موجب کاهش مصرف اسیدهای آلی و جلوگیری از افزایش اسیدیته میوه می‌شود (Salvia-Trujillo *et al.*, 2015). تیمار کلسیم با کاهش تنفس و اتیلن، سرعت وقوع پیری را کاهش داده و از کاهش اسیدهای آلی و افزایش اسیدیته جلوگیری می‌کند (Mahfoudhi and Hamdi, 2015; Dong and Wang, 2018). کاربرد نانوذرات کیتوزان بر میوه بلوبری نیز موجب افزایش اسیدهای قابل تیتراسیون و کاهش اسیدیته گردید (Li *et al.*, 2021) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. همچنین کاهش اسیدیته و افزایش اسیدهای آلی در میوه‌های تمشک (Sabir *et al*., 2018) و سیب (Beiparysa *et al*., 2023) با کاربرد کلسیم کلرید گزارش شده است.

Table 2. Analysis of variance of the effect of treatments on some traits of Golden Delicious apple fruit

		Means of Squares						
S.O.V.	Df	Weight loss	pH	TA	TSS	TSS/TA	Vitamin C	MDA
Treatment	7	62.47**	1.241**	0.0021**	13.904**	891.08**	419.321**	1.421**
Day	3	771.84**	2.093**	0.069**	14.356**	7459.99**	461.872**	3.938**
Treatment × Day	21	14.56**	0.108**	0.00025**	1.008**	105.19**	4.561^{ns}	0.074**
Error	96	0.89	0.029	0.00011	0.458	19.34	4.561	0.0032
C.V.%	-	14.57	4.03	4.08	3.98	6.40	6.38	6.03

Ns, *, **: are not significant and significant at 5 and 1% at probability levels, respectively.

Table 3. Mean comparison of weight loss, pH, and TA of Golden Delicious apple fruit

Treatment / Day	Weight loss (%)				pH				TA (%)			
	0	60	90	120	0	60	90	120	0	60	90	120
Control	0	7.16^{gh}	16.37^{b}	18.22^{a}	4.19^{ei}	4.69^{c}	4.97^{b}	5.59^{a}	0.29^{bf}	0.27^{g}	0.20^{mn}	0.18^{o}
$CaCl_2$ 2%	0	6.54^{hj}	6.97^{gh}	12.16^{d}	4.09^{fj}	4.02^{hk}	4.08^{fj}	4.37^{de}	0.29^{cf}	0.28^{ef}	0.22^{jl}	0.20^{mn}
CH 50	0	6.81^{gi}	9.56^{e}	14.64^{c}	3.88^{jl}	4.23^{eh}	4.03^{gk}	4.26^{eg}	0.30^{bf}	0.28^{df}	0.20^{mn}	0.21^{km}
CH 50+$CaCl_2$	0	6.40^{hj}	8.87^{ef}	12.27^{d}	3.88^{jl}	4.23^{eh}	4.36^{de}	4.54^{cd}	0.30^{bf}	0.28^{f}	0.21^{ln}	0.20^{ln}
NCH 50	0	4.53^{k}	6.65^{gi}	8.74^{ef}	3.83^{kl}	4.25^{eh}	4.27^{eg}	4.43^{de}	0.30^{ab}	0.29^{cf}	0.22^{jl}	0.21^{ln}
NCH 50+$CaCl_2$	0	5.51^{ik}	7.95^{fg}	11.01^{d}	3.98^{il}	4.19^{ei}	4.32^{df}	4.36^{de}	0.30^{bf}	0.29^{df}	0.23^{ik}	0.20^{n}
NCH 100	0	5.27^{jk}	6.16^{hj}	8.61^{ef}	3.77^{lm}	4.03^{gk}	4.09^{fj}	4.30^{df}	0.30^{ac}	0.29^{bf}	0.24^{hi}	0.21^{ln}
NCH 100+$CaCl_2$	0	4.47^{k}	5.28^{jk}	6.91^{gh}	3.54^{m}	3.90^{jl}	4.08^{fj}	4.25^{eh}	0.31^{a}	0.30^{bd}	0.25^{h}	0.23^{ij}

*Mean in each column and for each day with the same letter is not significantly different at 1% of probability level.

مواد جامد محلول کل (TSS) و شاخص رسیدگی (TSS/TA)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش تیمار و مدت زمان انبارمانی برای مواد جامد محلول کل و شاخص رسیدگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بررسی مقایسات میانگین نشان دهنده افزایش TSS میوه سیب با افزایش مدت زمان پس از برداشت بود و بیش‌ترین میزان (۲۰ درجه بریکس) در روز ۱۲۰ام در تیمار شاهد به ثبت رسید (جدول ۴). از طرفی، کاربرد تیمارهای مورد استفاده، موجب کاهش TSS نسبت به تیمار شاهد شده، به‌طوری که کم‌ترین میزان (۱۵/۲۵ درجه بریکس) متعلق به تیمار CH 50+$CaCl_2$ در روز صفر بود (جدول ۴). بررسی مقایسات میانگین اثرات متقابل تیمارها برای نسبت TSS/TA، بیانگر افزایش این شاخص در میوه‌های تیمار نشده در طول ۱۲۰ روز انبارمانی بود و کم‌ترین مقدار (۴۸/۰۴) در تیمار NCH 100+$CaCl_2$ در روز صفر به دست آمد (جدول ۴). نتایج پژوهش حاضر در رابطه با کاهش مواد جامد کل با نتایج اثر کاربرد کلسیم کلرید در میوه هلو (Sohail *et al.*, 2015) و سیب (Beiparysa *et al.*, 2023) مطابقت دارد. همچنین مشخص شده که میوه‌های انبه (Parvin *et al.*, 2023)، سیب (Pashazadeh *et al.*, 2023) و انگور (Nai *et al.*, 2021) نیز کاهش مواد جامد محلول را در تیمارهای کیتوزان نشان دادند. در اثر تبدیل نشاسته به قند، افزایش سرعت تنفس، تجزیه پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی و کاهش اسیدهای آلی، افزایش مواد جامد محلول کل در طی انبارمانی رخ می‌دهد (Shiri *et al.*, 2011; Shiri *et al.*, 2016). میوه‌های پوشش‌داده شده با کیتوزان و نانوکیتوزان به علت تغییر در میزان گازهای اکسیژن و دی‌اکسیدکربن، میزان تنفس بافت را کاهش داده، که به دنبال این فرآیند، میزان مواد جامد کل کاهش می‌یابد (Heidar Nejad *et al.*, 2020). شاخص طعم میوه نیز بستگی به میزان مواد جامد محلول کل و اسیدهای آلی دارد و مصرف اسیدهای آلی و تبدیل شدن به قند موجب افزایش مقدار عددی شاخص طعم می‌شود (Razzaq *et al.*, 2014). به‌طور کلی، پوشش‌دهی میوه‌ها، تغییراتی که موجب رسیدن محصول می‌شود را کند کرده و از تبدیل کربوهیدرات‌ها به اکسیژن و دی اکسیدکربن که به دنبال فرآیند تنفس ایجاد می‌شود، جلوگیری می‌کند، در واقع با جلوگیری از ورود اکسیژن، مانع تجزیه کربوهیدرات می‌شود (Gao *et al.*, 2020).

ویتامین ث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تیمار و زمان در سطح احتمال یک درصد بر میزان ویتامین ث معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش زمان انبارمانی و تیمار، بر پارامتر مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی زمان انبارمانی نشان داد که بیش‌ترین مقدار ویتامین ث در روز صفر (۳۰/۶۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر) به دست آمد (شکل ۱). اثر اصلی تیمارها نیز نشان دهندهٔ افزایش میزان ویتامین ث بود و بیش‌ترین میزان (۴۵/۰۰ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر) متعلق به تیمار NCH 100+$CaCl_2$ بود (شکل ۱). کاهش ویتامین ث در طول انبارمانی و افزایش این ویژگی با کاربرد پوشش کیتوزان و نانوکیتوزان در میوه‌های سیب (Pasazadeh *et al.*, 2023; Ackan *et al.*, 2022) و توت فرنگی (Ghasemi Arshad *et al.*, 2023) گزارش شده که با نتایج پژوهش مطابقت داشت. همچنین گزارش‌های مشابهی ارائه شده که کلرید کلسیم موجب افزایش ویتامین ث در میوه سیب شده است (Beiparysa *et al.*, 2023). در طی فرآیند انبارمانی، ویتامین ث می‌تواند به علت کاهش آب میوه و اکسیداسیون ویتامین ث به دی هیدروآسکوربیک اسید و تجزیه شدن آن به ۲ و ۳- دی کتو-گلوکونیک اسید در اثر فعالیت آنزیم آسکوربیک اسید اکسیداز کاهش یابد (Shiri *et al.*, 2016). غلظت ویتامین ث با پیشرفت بلوغ و پیری میوه کاهش می‌یابد و این کاهش به طور معمول بستگی به در دسترس بودن اکسیژن در هنگام ذخیره سازی دارد (Ali *et al.*, 2019). در دماهای پایین، فعالیت متابولیکی بافت متوقف شده و کیفیت محصول حفظ خواهد شد. همچنین در دماهای پایین، فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز افزایش یافته و اکسیداسیون آسکوربیک اسید اتفاق می‌افتد (Tsaniklidis *et al.*, 2014). از طرفی، گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر مانند

پراکسید هیدروژن موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی - اکسیدانی (سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز) و کاهش آنتی‌اکسیدان‌های درون سلول (آسکوربیک اسید و کارتنوئید) می‌شود (Lin *et al.*, 2014). آسکوربیک اسید خنثی کننده اکسیژن واکنش‌گر در واکنش پلی فنول اکسیداز بوده و با تبدیل او-کوئینون به دی فنول‌ها، از اثر آنزیم پلی فنول اکسیداز جلوگیری می‌کند (Ricoa *et al.*, 2007). پوشش نیمه نفوذپذیر کیتوزان می‌تواند یک سد محافظتی برای کاهش تنفس و تعرق بر روی سطح میوه به وجود آورد (Dong *et al.*, 2004) و با ایجاد اتمسفر تغییر یافته در اطراف میوه، از اکسیداسیون آسکوربیک اسید ممانعت به عمل می‌آورند (Xing *et al.*, 2011)، همچنین در دسترس بودن اکسیژن را محدود می‌کند و میزان اکسیداسیون را کاهش می‌دهد (Khaliq *et al.*, 2015, 2019). کلسیم در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی - اکسیدان و افزایش مانـدگاری نقـش دارد. این آنزیم‌ها به نحو مؤثری تجزیه پراکسید هیـدروژن را کاتالیز نموده و در ایجاد و حفظ تعادل بین تولید پراکسیدهیدروژن و حـذف آن ایفای نقش می‌کند (Kou *et al.*, 2015).

محتوای مالون دی آلدئید (MDA)

تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش تیمار و مدت زمان انبارمانی بر میزان مالون دی آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بررسی مقایسات میانگین نشان دهندهٔ افزایش محتوای مالون دی‌آلدئید میوه سیب با افزایش مدت زمان پس از برداشت بود و بیش‌ترین میزان (۱/۹۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) در روز ۱۲۰ام در تیمار شاهد به ثبت رسید (جدول ۴). کاربرد تیمارهای مورد استفاده، موجب کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید نسبت به تیمار شاهد شده، به‌طوری‌که کم‌ترین میزان (۰/۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) متعلق به تیمار NCH 100+$CaCl_2$ در روز صفر بود (جدول ۴). نتایج پژوهش روی میوه‌های توت فرنگی (Nguyen and Nguyen, 2020)، خرما (Kumar *et al.*, 2017) و سیب (Ackan *et al.*, 2022) نشان‌دهنده کاهش میزان مالون دی آلدئید در نمونه‌های دارای پوشش کیتوزان بود. میوه‌های گیلاس (Asghari *et al.*, 2019) و پرتقال (Rahimi *et al.*, 2023) تیمار شده با کلرید کلسیم نیز نتایج مشابهی نشان‌دادند که با نتایج حاضر مطابقت داشت. اتیلن با تحریک تولید رادیکال‌های سوپراکسید موجب پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود. مالون دی‌آلدئید که به عنوان فراورده سیتوتوکسیک، شاخص تولید رادیکال آزاد و میزان آسیب بافت شناخته شده است، به دنبال پراکسیداسیون لیپیدی افزایش می‌یابد. رادیکال‌های هیدروکسیل، از طریق واکنش با گروه‌های متیلن اسیدهای چرب غیر اشباع (ترکیبات اصلی لیپیدهای غشا) باعث پراکسیداسیون لیپیدی غشا شده و در نتیجه میزان مالون دی آلدئید را افزایش می‌دهند (Ashraf *et al.*, 2013). در مقابل، کیتوزان دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بوده و موجب حذف رادیکال‌های آزاد می‌شود و در نهایت از تخریب غشای سلول و افزایش مالون دی آلدئید ممانعت به عمل می‌آورد (Harish Prashanth *et al.*, 2007). کلسیم نیز به استحکام و یکپارچگی دیواره سلولی کمک کرده و در نهایت از زوال غشا و افزایش مالون دی آلدئید میوه جلوگیری می‌کند (Gao *et al.*, 2020; Hocking *et al.*, 2016).

Table 4. Mean comparison for TSS, TSS/TA, and MDA of Golden Delicious apple fruit

Treatment / Day	TSS (°Brix)				TSS/TA				MDA (mg .gr FW^{-1})			
	0	60	90	120	0	60	90	120	0	60	90	120
Control	17.25^{cg}	19.10^{ab}	19.58^{ab}	20.00^{a}	57.96^{km}	70.64^{gh}	96.23^{b}	111.22^{a}	0.84^{km}	1.33^{d}	1.72^{b}	1.97^{a}
$CaCl_2$ 2%	16.41^{gj}	17.66^{ce}	17.25^{cg}	19.00^{b}	56.06^{kn}	61.42^{ik}	78.25^{ef}	92.45^{bc}	0.58^{p}	1.03^{fg}	1.43^{c}	1.66^{b}
CH 50	16.00^{il}	16.66^{fj}	17.75^{cd}	17.66^{ce}	53.13^{mo}	57.79^{km}	86.31^{cd}	81.91^{de}	0.51^{pq}	0.96^{gi}	1.21^{e}	1.47^{c}
CH 50+$CaCl_2$	15.25^{l}	17.00^{dh}	17.41^{cf}	18.00^{c}	50.55^{no}	59.33^{jl}	81.60^{de}	86.09^{d}	0.44^{qr}	0.93^{hj}	1.00^{fh}	1.43^{c}
NCH 50	16.66^{fj}	16.66^{fj}	16.58^{fj}	16.75^{ei}	53.97^{lo}	56.95^{km}	74.46^{fg}	79.01^{ef}	0.39^{rs}	0.85^{jm}	0.98^{gh}	1.24^{e}
NCH 50+$CaCl_2$	16.00^{il}	16.58^{fj}	16.41^{gj}	17.00^{dh}	53.16^{mo}	56.89^{km}	71.01^{gh}	84.10^{de}	0.38^{rs}	0.80^{ln}	0.79^{mn}	1.07^{f}
NCH 100	16.00^{il}	16.500^{fj}	16.16^{hl}	16.83^{di}	52.23^{mo}	55.15^{ln}	65.94^{hi}	79.26^{ef}	0.31st	0.72^{no}	0.50^{q}	0.90^{ik}
NCH 100+$CaCl_2$	15.33^{kl}	15.75^{jl}	16.24^{hk}	16.58^{fj}	48.04^{o}	51.99^{mo}	64.27^{ij}	70.70^{gh}	0.27^{t}	0.68^{o}	0.45^{qr}	0.87^{jl}

*Mean in each column and for each day with the same letter is not significantly different at 1% of probability level.

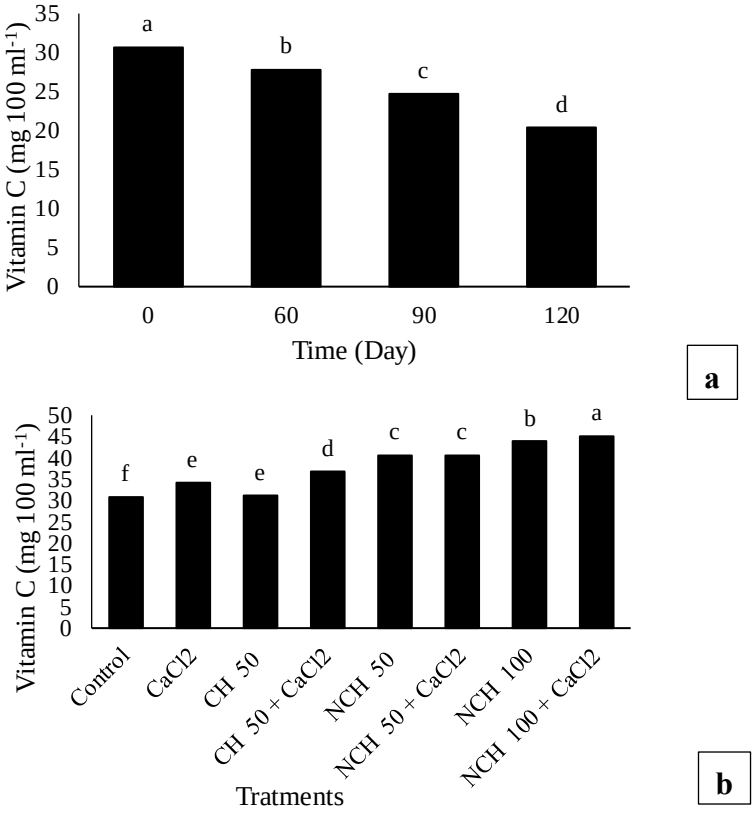

Figure 1. Effect of storage time (a) and treatments (b) on Vitamin C of Golden Delicious apple fruit

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که ویژگی‌های مورد بررسی در میوه‌های سیب رقم زرد (*Golden delicious*) پیوند شده روی پایه MM 111، تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده قرار گرفتند. به‌طوری‌که نمونه‌های تیمار شده در همه تیمارها از جمله کلرید کلسیم، کیتوزان و نانوکیتوزان دارای کاهش وزن کم‌تر، اسیدیته، مالون دی آلدئید، مواد جامد محلول کل و شاخص طعم پایین‌تر و اسیدهای قابل تیتراسیون و ویتامین ث بالاتری نسبت به تیمار شاهد بودند و کم‌ترین درصد کاهش وزن، اسیدیته، مالون دی آلدئید و شاخص رسیدگی و بالاترین مقدار اسیدهای قابل تیتراسیون و ویتامین ث در تیمار NCH 100+$CaCl_2$ به دست آمد.

تیمار $CH\ 50+CaCl_2$ نیز کم‌ترین میزان مواد جامد محلول کل را نشان داد. بنابراین با توجه به نتایج کلی، می‌توان اظهار داشت که اگرچه تمام تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش، موجب بهبود ویژگی‌های مورد بررسی در سیب شدند، اما کاربرد تیمارهای نانوکیتوزان و کلرید کلسیم به ویژه غلظت نانوذرات کیتوزان ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر + کلرید کلسیم ۲ درصد نسبت به کاربرد هرکدام به تنهایی در اکثر ویژگی‌ها، نتایج مطلوب‌تری نشان دادند.

سپاس‌گزاری

از آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان و آزمایشگاه پس از برداشت گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان واحد خرم‌آباد، جهت در اختیار گذاشتن امکانات لازم و نیز از جناب آقای عالیخانی به‌خاطر در اختیار قراردادن باغ سیب در منطقهٔ آبستان شهرستان خرم‌آباد و مساعدت بی دریغشان در زمینهٔ پژوهش حاضر تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abd-Elkader, D.Y., Salem, M.Z.M., Komeil, D.A., Al-Huqail, A.A., Ali, H.M., Salah, A.H., Akrami, M., & Hassan, H.S. (2021). Post-harvest enhancing and *Botrytis cinerea* control of strawberry fruits using low-cost and eco-friendly natural oils. *Agronomy*, 11: 1246.

Ackah, S., Bi, Y., Xue, S., Yakubu, S., Han, Y., Zong, Y., Atuna, R.A., & Prusky, D. (2022). Post-harvest chitosan treatment suppresses oxidative stress by regulating reactive oxygen species metabolism in wounded apples. *Frontiers in Plant Science,* 13: 959762.

Adiletta, G., Di Matteo, M., & Petriccione, M. (2021). Multifunctional role of chitosan edible coatings on antioxidant systems in fruit crops: a review. *International Journal of Molecular Science,* 22: 1–18.

Agricultural statistics. (2021). Report of horticultural and greenhouse products. *Publications of the Deputy Statistics of Information and Communication Technology Center*, November 2021, 3: 328 p. [In Persian]

Agriopoulou, S., Stamatelopoulou, E., Sachadyn-Król, M., & Varzakas, T. (2020). Lactic acid bacteria as antibacterial agents to extend the shelf life of fresh and minimally processed fruits and vegetables: quality and safety aspects. *Microorganisms*, 8: 952.

Ali, A., Tengku, M., Muda, M., Sijam, K., & Siddiqu, Y. (2011). Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. *Food Chemistry*, 124: 620-626.

Ali, S., Khan, A.S., Nawaz, A., Anjum, M.A., Naz, S., Ejaz, S., & Hussain, S. (2019). Aloe vera gel coating delays postharvest browning and maintains the quality of harvested litchi fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 157: 110960.

Asghari, M.R., Azar Sharif, Z., Tajik, H., & Farrokhzad Nansa, A.R. (2019). The effect of coating Barijeh gum, cumin essential oil, and calcium chloride on the quality and biochemical characteristics of Mashhad black cherry. *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries),* 32 (4): 680-650. [In Persian]

Ashraf, M., Shaheen, Sh., Naseer, S., & Akram, N.A. (2013). Salt stress affects water relations, photosynthesis, and oxidative defense mechanisms in (*Solanum melongena* L.). *Journal of Plant Interactions,* 8(1): 85-96.

Beiparysa, A, Topno, S.E., Joseph, A.V., Bahadur, V., Kerketta, A., & Kesharwani, L. (2023). Effect of calcium chloride ($CaCl_2$) and carbon dioxide (CO_2) on post-harvest quality of apple fruit (*Malus domestica*) cv. Gala. *International Journal of Plant & Soil Science,* 35(18): 199-207.

Bonomelli, C., Mogollón, R., Tonetto de Freitas, S., Zoffoli, J.P., & Contreras, C. (2020). Nutritional relationships in bitter pit affected fruit and the feasibility of Vis-NIR models to determine calcium concentration in 'Fuji' Apples. *Agronomy*, 10:1476.

Cheung, R., Ng, T., Wong, J., & Chan, W. (2015). Chitosan an update on potential biomedical and pharmaceutical applications. *Marine Drugs*, 13(8): 51-56.

De Corato, U. (2020). Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for the modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60: 940–975.

De Matos Fonseca, J., dos Santos Alves, M.J., Soares, L.S., Moreira, R.D.F.P.M., Valencia, G.A., & Monteiro, A.R. (2021). A review on TiO2- based photocatalytic systems applied in fruit postharvest: Set-ups and perspectives. *Food Research International,* 144: 110378.

Dong, F., & Wang, X. (2018). Guar gum and ginseng extract coatings maintain the quality of sweet cherry. *LWT - Food Science and Technology*, 89: 117-122.

Dong, H., Cheng, L., Tan, J., Zheng K., & Jiang, Y. (2004). Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit. *Journal of Food Engineering*, 64: 355-358.

Duan, C., Meng, X., Meng, J., Khan, M. I. H., Dai, L., & Khan, A. (2019). Chitosan as a preservative for fruits and vegetables: A review on chemistry and antimicrobial properties. *Journal of Bioresearch Bioproduction*, 4: 11–21.

Ehtesham Nia, A., Taghipour, S., & Siahmansour, S. (2022). Putrescine with *Aloe vera* gel coating improves bioactive compounds and the quality of table grapes under cold storage. *Journal of Food Science and Technology*, 59(10): 4085-4096.

Ehtesham Nia, A., Taghipour, S., & Siahmansour, S. (2021). Pre-harvest application of chitosan and postharvest *Aloe vera* gel coating enhances the quality of table grapes (*Vitis vinifera* L. cv. 'Yaghouti') during the postharvest period. *Food Chemistry,* 347: 129012.

Fooladi vanda, G., Shabani, L., & Razavizadeh, R. (2019). Chitosan enhances rosmarinic acid production in shoot cultures of *Melissa officinalis* L. through the induction of methyl jasmonate. *Botnical Studies,* 60: 26–36.

Ferydouni, L., Ehtesham Nia, A., Moumivand, H., & Raji, M.R. (2024). Investigating the effects of post-harvest application of nanocellulose/carvacrol composite coating on the physical-biochemical characteristics of physalis fruit. *Journal of Plant Productions*, 46(4): 569-582

Gao, Q., Tan, Q., Song, Z., Chen, W., Li, X., & Zhu, X. (2020). Calcium chloride postharvest treatment delays the ripening and softening of papaya fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44: e14604.

Ghasemi Arshad, Z., Ehtesham Nia, A., Hazbavi, A., Mumivand, H., & Soleimani Aghdam, M. (2023). Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on biochemical, quality, and shelf-life characteristics of strawberries. *Journal of Iranian Food Science and Industry Research*, 19 (5): 633-617.

Ghesmati, M., Moradinezhad, F., & Khayat, M. (2018). Efficacy of some calcium salts foliar spray on growth and biochemical parameters of jujube fruit (*Ziziphus Jujuba* Mill.). *Journal of Plant Productions (Scientific Journal of Agriculture),* 41(3): 25-35.

Gheysarbigi, S., Mirdehghan, S.H., Ghasemnezhad, M., & Nazoori, F. (2020). The inhibitory effect of nitric oxide on enzymatic browning reactions of in-package fresh pistachios (*Pistacia vera* L.). *Postharvest Biology and Technology,* 159: 110998.

Ghoora, M.D., & Srividya, N. (2020). Effect of packaging and coating technique on postharvest quality and shelf life of *Raphanus sativus* L. and *Hibiscus sabdariffa* L. *Microgreens Foods*, 9: 653.

Gol, B.N., Patel, R., Rao, P., & Ramana, T.V. (2013). Improvement of quality and shelf life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 85: 185-195.

Gong, D., Bi, Y., Jiang, H., Xue, S., Wang, Z., & Li, Y. (2019). A comparison of post-harvest physiology, quality, and volatile compounds of 'fuji' and 'delicious' apples inoculated with *Penicillium expansum*. *Postharvest Biology and Technology*, 150: 95–104.

Harish Prashanth, K.V., Dharmesh, S.M., Jagannatha Rao, K.S., & Tharanathan, R.N. (2007). Free radical-induced chitosan depolymerized products protect calf thymus DNA from oxidative damage. *Carbohydrate Research*, 342: 190-195.

He, Y., Bose, S.K., Wang, W., Jia, X., Lu, H., & Yin, H. (2018). Pre-harvest treatment of chitosan oligosaccharides improved strawberry fruit quality. *International Journal of Molecular Science*, 19(8): 2194.

Heidar nejad, R., Ghahramani, Z., Barzegar, T., & Rabiee, V. (2020). The effect of harvest stage and storage duration on fruit quality of physalis (*Physalis angulate* L.). *Journal of Agricultural Crops Production*, 5 (1): 186-173. [In Persian]

Hocking, B., Tyerman, S.D., Burton, R.A., & Gilliham, M. (2016). Fruit calcium: Transport and physiology. *Front. Plant Science,* 7: 569.

Hosseini, M.S., Zahedi, S.M., Karimi, M., & Ebrahimzadeh, A. (2018). Postharvest application of spermidine polyamine on the storage quality and vase life of mango (*Mangifera indica* L.) in dipped conditions. *Horticultural Science*, 31(4): 765-777. [In Persian]

Hosseini, S.F., Amraie, M., Salehi, M., Mohseni, M., & Aloui, H. (2019). Effect of chitosan-based coatings enriched with savory and/or tarragon essential oils on postharvest maintenance of kumquat (*Fortunella* sp.) fruit. *Food Science and Technology International,* 7: 155–162.

Khaliq, G., Abbas, H.T., Ali, I., & Waseem, M. (2019). Aloe vera gel enriched with garlic essential oil effectively controls anthracnose disease and maintains the postharvest quality of banana fruit during storage. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 60: 659-669.

Khaliq, G., Mohamed, M.T.M., Ali, A., Ding, P., & Ghazali, H.M. (2015). Effect of gum Arabic coating combined with calcium chloride on physicochemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low-temperature storage. *Scientia Horticulturae*, 190: 187–194.

Kou, X., Wu, M., Li, L., Wang, S., Xue, Z., Liu, B., & Fei, Y. (2015). Effects of CaCl2 dipping and pullulan coating on the development of brown spots on 'Huangguan' pears during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 99: 63-72.

Kumar, P., Sethi, S., Sharma, V.V., Srivastav, M., & Varghese, E. (2017). Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of plum during storage at low temperature. *Scientia Horticulturae*, 226: 104-109.

Li, S., Jiang, H., Wang, Y., Lyu, L., Prusky, D., & Ji, Y. (2020). Effect of benzothiadiazole treatment on improving the mitochondrial energy metabolism involved in induced resistance of apple fruit during postharvest storage. *Food Chemistry,* 302: 125288.

Li, Y., Rokayya, S., Jia, F., Nie, X., Xu, J., & Elhakem, A. Almatrafi, M., Benajiba, N., & Helal, M. 2021. Shelf-life, quality, and safety evaluations of blueberry fruits coated with chitosan nanomaterial films. *Scientific Reports*, 11: 55.

Lin, Y.F., Lin, H.T., Zhang, S., Chen, Y.H., Chen, M.Y., & Lin, Y.X. (2014). The role of active oxygen metabolism in hydrogen peroxide-induced pericarp browning of harvested longan fruit. *Postharvest Biology and Technology,* 96: 42-48.

Luo, Y., & Wang, Q. (2013). Recent advances of chitosan and its derivatives for novel applications in food science. *Journal of Food Processing & Beverages,* 1(1): 13.

Lustriane, C., Dwivany, F.M., Suendo, V., & Reza, M. (2018). Effect of chitosan and chitosan-nanoparticles on post-harvest quality of banana fruits. *Journal of Plant Biotechnology,* 45: 36–44 DOI: https://doi.org/10.5010/JPB.2018.45.1.036.

Mahfoudhi, N., & Hamdi, S. (2015). Use of almond and gum Arabic as novel edible coating to delay postharvest ripening and to maintain sweet cherry (*Prunus avium*) quality during storage. *Food Processing and Preservation*, 39(6): 1499-1508.

Nguyen, D.H., & Nguyen, V.H. (2020). Effect of nano-chitosan coating on the quality, polyphenol oxidase activity, and MDA content of strawberry. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 3 (1): 11-24.

Nuri Ocalan, O., Çezik, F., Al-Salihi, A.A.M., Çigdem, M.R., & Yıldız, K. (2022). The Effect of post-harvest calcium chloride applications on the shelf-life quality of strawberry. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 10(1): 2701-2707

Parvin, N., Kader, M.A., Huque, R., Molla, M.E., & Khan, M.A. (2018). Extension of shelf-life of tomato using irradiated chitosan and its physical and biochemical characteristics. *International Letters of Natural Sciences*, 67: 16-23.

Parvin, N., Rahman, A., Roy, J., Rashid, M.H., Paul, N.C., Mahamud, M.A., Imran, S., Sakil, M.A., Uddin, F.M.J., & Molla, M.E. (2023). Chitosan coating improves postharvest shelf-life of mango (*Mangifera indica* L.). *Horticulturae*, 9(1): 64.

Pashazadeh, B., El-Hami Rad, A.H., Haj Najari, H., & Shrayei, P. (2022). Investigation of the effect of chitosan coating and cinnamon extract on qualitative, physicochemical, and microbial characteristics of apple fruit during cold storage. *Food Processing and Storage*, 13 (4): 42-23. [In Persian]

Perkins-Veazie, P., Collins, J.K., & Howard, L. (2008). Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharvest Biology and Technology,* 47(3): 280-285.

Pessoa, C.C., Marques, A.C., Coelho, A.R.F., Daccak, D., Luís, I.C., Ramalho, J.C., Campos, P.S., Pais, I.P., Semedo, J.N., & Silva, M.M. (2022). Assessment of calcium content in pear fruits under storage after CaCl2 applications during pre- and post-harvest phases. *Biology and Life Sciences Forum*, 16: 9.

Rahimi, M., Nazarian, M.H., Abolghasemi, S., Sadaqat, S., & Zare, M. (2023). The effect of post-harvest application of hot water, calcium chloride, and calcium nanochelate fertilizer on reducing cold damage and increasing the storage life of 'Mahli Darab' orange fruit. *Journal of Horticultural Sciences*, 37 (3): 819-801. [In Persian]

Razzaq, K., Khan, A.S., Malik, A.U., Shahid, M. & Ullah, S. (2014). Role of putrescine in regulating fruit softening and antioxidative enzyme systems in Samar Bahisht Chaunsa" mango. *Postharvest Biology and Technology*, 96: 23-32.

Ricoa, D., Martin-Dianaa, A.B., Baratb, J.M., & Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 18: 373-386.

Rokayya, S., Jia, F., Li, Y., Nie, X., Xu, J., Han, R., Yu, H., Amanullah, S., Almatrafi, M.M., & Helal, M. (2021). Application of nano-titanium dioxide coating on fresh Highbush blueberries shelf life stored under ambient temperature. *LWT*, 137: 110422.

Sabir, F., Sabir, A., Ozcelik, S., & Kucukbasmaci, A. (2019). Maintenance of postharvest quality of blackberry (*Rubus fructicosus* L.) fruits through salicylic acid and $CaCl_2$ immersions. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 18(4): 121–128.

Saki, M., ValizadehKaji, B., Abbasifar, A., & Shahrjerdi, I. (2019). Effect of chitosan coating combined with thymol essential oil on physicochemical and qualitative properties of fresh fig (*Ficus carica* L.) fruit during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization,* 13: 1147-1158. .

Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2015). Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut Fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, 105: 8-16.

Shah, S., & Hashmi, M.S. (2020). Chitosan–Aloe vera gel coating delays postharvest decay of mango fruit. *Horticultural Environment Biotechnology*, 61: 279–289.

Shiri, M.A., Ghasemnezhad, M., Bakhshi, D., & Saadatian, M. (2011). Effect of ascorbic acid on phenolic compounds and antioxidant activity of packaged fresh-cut table grape. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 10: 2506-2515.

Shiri, M.A., Ghasemnezhad, M., Fattahi Moghaddam, J., & Ebrahimi, R. (2016). Effect of $CaCl_2$ sprays at different fruit development stages on postharvest keeping quality of 'Hayward' kiwifruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(4): 624-635.

Shirzad, H. (2013). Effect of chitosan and calcium chloride to reduce postharvest rot and different quality attributes on Siah mashhad sweet cherry. *Journal of Horticultural Science*, 26(4): 378-384.

Silva, G.M.C., Silva, W.B., Medeiros, D.B., Salvador, A.R., Cordeiro, M.H.M., da Silva, N.M., Santana, D.B., & Mizobutsi, G.P. (2017). The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. *Food Chemistry*, 237: 372–378.

Sohail, M., Ayub, M., Khalil, S.A., Zeb, A., Ullah, F., & Afridi, S.R. (2015). Effect of calcium chloride treatment on post-harvest quality of peach fruit during cold storage. *International Food Research Journal*, 22(6): 2225-2229.

Thor, K. (2019). Calcium nutrient and messenger. *Frontiers in Plant Science*, 10: 449564.

Tsaniklidis, G., Delis, C., Nikoloudakis, N., Katinakis, P., & Aivalakis. G. (2014). Low-temperature storage affects the ascorbic acid metabolism of cherry tomato fruits. *Plant Physiology and Biochemistry*, 84: 149-157.

Wang, X., Zhang, X., Sun, M., Wang, L., Zou, Y., Fu, L., Han, C., Li, A., Li, L., & Zhu, C. (2022). Impact of vanillin on postharvest disease control of apple. *Frontiers in Microbiology*, 13: 979737.

Wang, Y., Yan, Z., Tang, W., Zhang, Q., Lu, B., Li, Q., & Zhang, G. (2021). Impact of chitosan, sucrose, glucose, and fructose on the postharvest decay, quality, enzyme activity, and defense-related gene expression of strawberries. *Horticulturae*, 7: 518.

Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Yun, J., & Tang, Y. (2011). Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Chemistry*, 124: 1443-1450

Zhao, J., Pan, L., Zhou, M., Yang, Z., Meng, Y., & Zhang, X. (2019). Comparative physiological and transcriptomic analyses reveal mechanisms of improved osmotic stress tolerance in annual ryegrass by exogenous chitosan. *Genes*, 10: 853.

Zheng, X., & Tian, S. (2006). Effect of oxalic acid on control of postharvest browning of litchi fruit. *Food Chemistry*, 96(4): 519-523.