

## Effect of Foliar Spray with Ferulic Acid and Nano-chitosan on some Quality Attributes, Phytochemical Compounds of Apple Fruit cv Red Delicious

S. Mostafayi<sup>1\*</sup>, M.R. Asghari<sup>2</sup>

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Horticulture Science Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.

(\*- Corresponding Author Email: [sajjad.m8597@gmail.com](mailto:sajjad.m8597@gmail.com))

Received: 22-10-2023  
Revised: 25-02-2024  
Accepted: 02-03-2024  
Available Online: 02-03-2024

### How to cite this article:

Mostafayi, S., & Asghari, M.R. (2024). Effect of foliar spray with ferulic acid and nano-chitosan on some quality attributes, phytochemical compounds of apple fruit cv Red Delicious. *Journal of Horticultural Science*, 38(2), 381-392. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.84985.1300>

### Introduction

Apple (*Malus domestica*) is considered as one of the important members of the Rosaceae family and is among the most consumed fruits in the world. One of the biggest challenges for agricultural researchers is to increase the quantity and quality of food to feed the growing population, without negatively affecting the health of the soil and agricultural ecosystems. Due to the adverse effects of chemicals on human health and environmental safety, the production of organic products has been considered as one of the most important issues in food production systems. It is utilized in various forms, including fresh fruit or processed as industrial products. Based on the respiratory and ethylene production pattern, apples are classified as climacteric fruits. Metabolic activities and ripening continue after harvest, so apples have the potential to transform into highly perishable products after harvest. Post-harvest treatments are certainly not the most suitable method for preserving the shelf life and quality of fruits during the post-harvest period. Therefore, employing new and effective methods to enhance quality, control decay, and consequently extend the post-harvest life of apples appears to be essential. Organic farming, as an agricultural system to protect human health and the environment, can improve product quality and shelf life.

### Materials and Methods

This study was conducted on an apple orchard (*Malus domestica*) in Zarabad area of Khoy city located in the northwest of Iran (with the same management and growth conditions) in 2018-2019. The experiment was conducted as a factorial in the form of a completely randomized block design in 4 replications. The experimental factors included spraying fruit trees with nano-chitosan in 3 concentrations (zero, 5 and 10 ml) and ferulic acid in 3 concentrations (zero, 0.5 and 1 mM). Apple trees in three times, the first stage in the hazelnut time. Fruit drop, the second stage 20 days after the first stage and the third stage 20 days after the second stage spraying, were sprayed in the afternoon using a Cross mark PB20 manual sprayer. The harvested fruits were sprayed according to the treatments were packed and labeled and transferred to the central laboratory of horticultural sciences of Urmia University. After 24 hours of storage at the laboratory temperature, the measurement of the studied traits started on the fruits, the control treatment in this experiment was distilled water with Tween 80 (0.1/v/v).

### Results and Discussion

Compared to the control group, fruits treated with a combination of chitosan and ferulic acid exhibited a significant increase in firmness after harvest. Notably, the most effective treatment involved a combination of 10



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2024.84985.1300>

milliliters of nano-chitosan and 1 millimolar ferulic acid, resulting in the highest level of firmness among all treatments. As a result, the combined treatment of chitosan and ferulic acid can delay the aging process by reducing the activity of enzymes involved in cell wall degradation and maintain firmness in apples, contributing to a positive effect. According to the obtained results, fruits treated with nano-chitosan and ferulic acid showed a higher soluble solid content compared to the control fruits, and this amount increased with the higher concentrations of nano-chitosan and ferulic acid. The minimum level of TA was observed in the control treatment, and the highest level was observed in the treatment with 10 milliliters of chitosan and 1 millimolar ferulic acid. The treatment with 1 millimolar ferulic acid and 10 milliliters of chitosan showed the highest percentage of TA content compared to the control. The combination of nano-chitosan and ferulic acid treatment led to a reduction in fruit juice pH, with the lowest pH observed in the treatment with 1 millimolar ferulic acid and 10 milliliters of chitosan, and the highest pH observed in the control treatment. Vitamin C is the primary water-soluble antioxidant that directly reduces damage caused by free radicals. According to the obtained results, the maximum content of vitamin C was observed in the treatment with 1 millimolar ferulic acid and 10 milliliters of chitosan. According to the obtained results, the maximum PAL enzyme activity was observed in the treatment with 1 millimolar ferulic acid and 10 milliliters of chitosan.

### Conclusion

In general, the findings of the current study showed that pre-harvest treatment with nano-chitosan and ferulic acid had a positive effect on the post-harvest quality of apple fruits. The fruits treated with the highest concentration of nano-chitosan and ferulic acid exhibited the highest fruit firmness, titratable acidity, vitamin C content, PAL enzyme activity, and the lowest pH compared to the control fruits. These results indicate that nano-chitosan and ferulic acid treatment can be proposed as a promising and healthy method for improving the post-harvest quality of apple fruits.

**Keywords:** Acidity, PAL, Pre-Harvest, Total-acidity

## تأثیر محلول پاشی قبل از برداشت اسید فرولیک و نانوکیتوسان بر خصوصیات کیفی و فیتوشیمیایی میوه سیب رقم 'رد دلشز' (*Malus domestica* cv. Red Delicious)

سجاد مصطفایی<sup>۱\*</sup> - محمد رضا اصغری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲

### چکیده

سیب (*Malus domestica*) یکی از میوه‌های تجاری مهم می‌باشد که به دلیل الگوی تنفسی فرازگرا در پس از برداشت فسادپذیری بالایی دارد. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محققان کشاورزی افزایش کمیت و کیفیت مواد غذایی است و به دلیل اثرات نامطلوب مواد شیمیایی بر سلامت انسان و ایمنی محیط زیست، تولید محصولات ارگانیک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل در سیستم‌های تولید مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از تیمارهای نانوکیتوسان و اسید فرولیک به‌عنوان ترکیبات سالم و طبیعی در فرایند تولید محصولات باغی می‌تواند تأثیرات بسیار مطلوبی در فرایند تولید داشته باشد. در این آزمایش که در سال ۱۳۹۸ در باغ سیب 'رد دلشز' در منطقه زراعت شهرستان خوی واقع در شمال غرب استان آذربایجان غربی به‌منظور بهبود کیفیت میوه‌ها در زمان برداشت انجام گرفت، درختان سیب در سه مرحله با محلول نانوکیتوسان در سه غلظت (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌لیتر) و اسید فرولیک در سه غلظت (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت و خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی میوه‌ها در زمان برداشت بررسی شدند. نتایج نشان داد که تیمار با نانوکیتوسان و اسید فرولیک تأثیر معنی‌داری بر صفات اندازه‌گیری شده داشت، بیشترین میزان سفتی بافت میوه در زمان برداشت در تیمار نانوکیتوسان ۱۰ میلی‌لیتر و اسید فرولیک ۱ میلی‌مولار، کمترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در شاهد، بیشترین میزان ویتامین ث و آنزیم PAL در تیمار نانوکیتوسان ۱۰ میلی‌لیتر و اسید فرولیک ۱ میلی‌مولار و بیشترین میزان pH و کمترین میزان مواد جامد محلول در شاهد مشاهده گردید.

**واژه‌های کلیدی:** اسیدیته، اسیدیته کل، فنیل آلانین آمونیاک، قبل از برداشت

### مقدمه

شیمیایی وجود دارد (Saavedra et al., 2016). تیمارهای پس از برداشت قطعاً مناسب‌ترین روش برای حفظ ماندگاری و کیفیت میوه در دوره پس از برداشت نیستند (Ehtesham Nia et al., 2021). بنابراین، به‌کارگیری روش‌های جدید و مؤثر برای افزایش کیفیت، کنترل پوسیدگی و در نتیجه، عمر پس از برداشت میوه‌های سیب ضروری به نظر می‌رسد. تحقیقات زیادی در زمینه بهبود کیفیت میوه سیب در پس از برداشت انجام گرفته است، ولی از آنجا که مسئله کیفیت میوه فرآیندی بسیار پیچیده‌ای است، بنابراین نیازمند تحقیقات بیشتر است. در این راستا، کاربرد تیمارهای قبل از برداشت می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین مهم برای حل مشکلات ذکر شده در نظر گرفته شود.

سیب (*Malus domestica*) یکی از اعضای مهم خانواده Rosaceae از پرمصرف‌ترین میوه‌ها در جهان به‌شمار می‌رود. به‌طوری‌که به اشکال مختلف از جمله میوه تازه یا به‌صورت محصولات فرآوری شده صنعتی مصرف می‌شود (Wang et al., 2007). براساس الگوی تنفسی و تولید اتیلن، سیب به‌عنوان یک میوه فرازگرا طبقه‌بندی شده و فعالیت‌های متابولیک و رسیدن آن پس از برداشت نیز ادامه می‌یابد، بنابراین، میوه‌های سیب بعد از برداشت قابلیت تبدیل شدن به محصولات بسیار فاسدشدنی را دارند (Sahraei et al., 2016). امروزه تقاضای زیادی برای تولید مواد غذایی سالم، سازگار با محیط زیست با کیفیت بالا و ماندگاری طولانی‌تر و بدون هیچ‌گونه مواد نگهدارنده

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری علوم باغبانی و استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران  
(\* نویسنده مسئول: (Email: sajjad.m8597@gmail.com)

ذرت تأیید کرد که اسید فرولیک می‌تواند به‌طور مؤثری رشد پاتوژن را مهار کرده و تولید سم را کاهش دهد. با این حال، اطلاعات در مورد استفاده و تأثیر محلول‌پاشی قبل از برداشت اسید فرولیک بر کیفیت میوه تولیدی هنوز به‌طور قابل توجهی گزارش نشده است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد قبل از برداشت نانوکیتوسان و اسید فرولیک به‌طور جداگانه و به‌صورت ترکیبی در چند مرحله بر خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی میوه سیب در زمان برداشت انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

### مواد گیاهی و تیمارهای آزمایشی

این مطالعه بر روی باغ سیب (*Malus domestica*) در منطقه زرباد شهرستان خوی واقع در شمال غرب ایران (با شرایط مدیریتی و رشدی یکسان) در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام گرفت. فاکتورهای آزمایشی شامل محلول‌پاشی میوه با نانوکیتوسان در سه غلظت (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌لیتر) و اسید فرولیک در سه غلظت (صفر، ۵/۰ و ۱ میلی‌مولار) بود. درختان سیب در سه زمان، مرحله اول در زمان فندقی شدن قطرمیوه، مرحله دوم ۲۰ روز پس از مرحله اول و مرحله سوم ۲۰ روز بعد از محلول‌پاشی مرحله دوم، در ساعات بعد از ظهر با استفاده از سم‌پاش دستی مدل کراس مارک PB20 محلول‌پاشی شدند. میوه‌های برداشت شده با توجه به تیمارهای انجام شده بسته‌بندی و اتیکت‌زنی شده و به آزمایشگاه مرکزی علوم باغبانی دانشگاه ارومیه منتقل شدند و پس از ۲۴ ساعت نگهداری در دمای آزمایشگاه اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه بر روی میوه‌ها شروع شد، شاهد در این آزمایش آب مقطر همراه با (۰/۱۷/۷) توپین ۸۰ بود.

### اندازه‌گیری خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی

به‌منظور تعیین سفتی بافت میوه از دستگاه اندازه‌گیری سفتی (Model Fruit Texture Analyzer, USA) با پروپ با قطر شش میلی‌متر استفاده شد. جهت اندازه‌گیری مواد جامد محلول (TSS)، ۵۰ میکرولیتر از عصاره نمونه با استفاده از دستگاه رفرکتومتر دستی مدل (AZ 8601) در دمای آزمایشگاه اندازه‌گیری شد، برای کالیبره کردن این دستگاه از آب مقطر استفاده گردید (Magne et al., 2006). برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) از روش تیتراسیون با سود

کیتوسان<sup>۱</sup>، به‌عنوان یک پلی‌ساکارید کاتیونی، دارای خواص غیرسمی، زیست‌فعال و ضدقارچی بوده که می‌تواند به‌صورت یک مانع نیمه‌تراوا روی سطح میوه عمل کرده و اتمسفر آن را تغییر دهد و بلوغ و پیری را در طیف وسیعی از محصولات باغبانی به تعویق بیندازد (Baswal et al., 2020). با توجه به فعالیت‌های بیولوژیکی و نحوه عملکرد کیتوسان به‌عنوان یک ترکیب ضد میکروبی نیز در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند علیه ریزجانداران عمل کرده و به‌عنوان القاکننده مکانیسم‌های دفاعی گیاه مورد استفاده قرار گیرد (Xing et al., 2020; Sofy et al., 2020). از این نظر، محلول‌پاشی قبل و بعد از برداشت میوه‌ها با کیتوسان ممکن است باعث حفظ کیفیت میوه‌ها و تأخیر در پیری آن‌ها شده، بدون اینکه تأثیر مضر بر پذیرش مصرف‌کننده داشته باشد (Reddy et al., 2000). در این راستا، ژانگ<sup>۲</sup> و همکاران (Zhang et al., 2019) گزارش کردند محلول‌پاشی کیتوسان بر روی میوه‌های کیوی<sup>۳</sup>، باعث بهبود عملکرد و کیفیت میوه، افزایش محتوای کلسیم و سفتی، رسیدن و نرم شدن میوه شده و پوسیدگی را به تأخیر انداخته و قابلیت نگهداری را افزایش می‌دهد. همچنین گزارش شده محلول‌پاشی کیتوسان باعث بهبود وزن و اندازه میوه در انبه<sup>۴</sup> (Zagzog et al., 2017) و طول عمر نگهداری انگور<sup>۵</sup> (Ehtesham Nia et al., 2021) گردیده است. اسیدفرولیک<sup>۶</sup> در گیاهان از هیدروکسی سینامیک اسید مشتق شده و یک محصول واسطه‌ای در مسیر فنیل‌پروپانویید است و فواید بی‌شمار آن برای سلامت انسان نشان داده شده است (Navarrete et al., 2015; Ma et al., 2010). اسید فرولیک، به‌عنوان یک اسیدفنولیک طبیعی در گیاهان به‌وفور یافت می‌شود، معمولاً در دیواره‌های سلولی متصل به پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌های اسکلت‌سلولی یافت می‌شود (Mathew & Abraham, 2006). به‌دلیل عملکردهای بیولوژیکی خود که شامل فعالیت‌های ضداسحه ماوراء بنفش، ضداسیداتیو و ضدسرطان و از بین بردن رادیکال‌های آزاد است که در محصولات بهداشتی، آرایشی و بهداشتی و پزشکی استفاده می‌شود (Lillioja et al., 2013; Vinayagam et al., 2016). در مطالعه فروز<sup>۷</sup> و همکاران (Ferruz et al., 2016) روی گونه‌های قارچ فوزاریوم در محیط آزمایشگاهی نشان داد تیمار با اسید فرولیک به‌طور قابل توجهی رشد پاتوژن را مهار کرده و بیوسنتز سم را کاهش می‌دهد. اثر مشابهی توسط فروکیو<sup>۸</sup> و همکاران (Ferrochio et al., 2013) مشاهده شد و یافته‌های او در

5- *Vitis vinifera* L. cv. Yaghouti'

6- Ferulic Acid

7- Ferruz

8- Ferrochio

1- Chitosan

2- Zhang

3- *Actinidia deliciosa* cv. 'Guichang

4- *Mangifera indica* L.

همگن شد. سپس به مدت پنج دقیقه با نیروی ۴۰۰۰ دور در دمای چهار درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شد. در نهایت، برای اندازه گیری فعالیت آنزیم PAL از محلول رویی به عنوان عصاره آنزیمی استفاده شد. برای تخمین فعالیت آنزیم، یک میلی لیتر محلول واکنش شامل بافر واکنش (۵۰۰ میکرومولار Tris-HCl با اسیدیته هشت) حاوی شش میکرومول فنیل آلانین و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی یک میلی لیتر تهیه شد. سپس به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. در نهایت، به این محلول مقدار ۵۰ میکرولیتر اسید کلریدریک با غلظت پنج نرمال اضافه شد تا واکنش تولید سینامیک اسید از فنیل آلانین متوقف شود. در پایان، فعالیت آنزیم در طول موج ۲۹۰ نانومتر بر اساس میزان تولید سینامیک اسید برحسب میکرومول بر دقیقه گزارش گردید (Beaudoin-Eagan & Thorpe, 1985).

#### آنالیز آماری

داده‌های به دست آمده از سنجش پارامترهای مختلف با چهار تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی، توسط نرم افزار SAS, version (9.2) و آزمون چنددامنه‌ای دانکن مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه واریانس‌ها نیز با ضریب اطمینان ۹۵ درصد ( $p \leq 0.05$ ) انجام شد (جدول ۱) و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

۰/۱ نرمال استفاده شد و مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون از معادله زیر محاسبه گردید (Bellincontro et al., 2004).

$$TA = S \times N \times F \times E / C \times 100$$

که در این معادله، TA: مقدار اسیدیته بر اساس میلی گرم اسیدمالیک در ۱۰۰ میلی لیتر عصاره نمونه، S: مقدار NaOH مصرف شده (میلی لیتر)، N: نرمالیت NaOH، F: فاکتور NaOH، E: اکی والان اسید مورد نظر (ایزوسیتریک) و C: مقدار عصاره میوه (میلی لیتر) می باشد و در نهایت، برای اندازه گیری pH آب میوه از یک متر (Hofheim, SCHOTT, pH-Meter CG 824، آلمان) استفاده شد.

#### ویتامین ث

برای اندازه گیری ویتامین ث عصاره میوه از روش تیتراسیون محلول ان- بروموسوکسینامید استفاده شد. مقدار پنج میلی لیتر عصاره میوه، به همراه پنج میلی لیتر محلول پایدارکننده (Trichloroacetic acid) TCA و شش میلی لیتر آب مقطر و یک میلی لیتر یدید پتاسیم چهار درصد و ۰/۳ میلی لیتر اسید استیک ۱۰ درصد و ۰/۴ میلی لیتر معرف نشاسته یک درصد به وسیله محلول NBS با غلظت چهار میلی گرم در لیتر تا رسیدن به رنگ آبی تیتر شد و ویتامین ث عصاره برحسب میلی گرم در ۱۰۰ میلی گرم گزارش شد (Egan et al., 1981).

#### فعالیت آنزیم PAL

مقدار دو گرم بافت میوه با دو میلی لیتر بافر استخراج (۵۰ میلی مولار Tris-HCl با اسیدیته ۸/۵) حاوی ۱۵ میلی مولار بتا-مرکاپتو اتانول

جدول ۱- تجزیه واریانس خصوصیات فیتوشیمیایی و بیوشیمیایی اندازه گیری شده میوه تحت تأثیر تیمار نانوکیتوسان و اسید فرولیک در سیب رقم 'رُد دلشز'

Table 1- ANOVA for the phytochemical and biochemical properties measured of fruit under the influence of chitosan nanoparticle and ferulic acid treatment on apple cv. Red Delicious.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		فعالیت آنزیم PAL PAL enzyme activity	اسیدیته PH	ویتامین ث Vitamin C	اسیدیته کل TA	قند محلول Tss	سفتی Firmnes
بلوک Block	3	6.080 <sup>ns</sup>	0.112 <sup>ns</sup>	2.142 <sup>ns</sup>	.137 <sup>ns</sup>	185.42 <sup>ns</sup>	.143 <sup>ns</sup>
نانوکیتوسان Nano chitosan (A)	2	253.959*	3.237*	730.971*	10.508*	1067.111*	0.947*
فرولیک اسید Ferulic Acid (B)	2	149.478**	4.507*	58.685*	0.921*	453.777*	0.727*
A×B	4	86.857*	2.073*	40.758*	0.366*	99.611 <sup>ns</sup>	0.602*
خطا Error	24	3.691	0.085	1.085	0.076	66.768	0.069
ضریب تغییرات C.V.(%)		11.03	8.62	4.04	10.12	7.37	3.45

ns, \*\*, \* and \*: non-significant, significant at  $p \leq 0.01$  and  $p \leq 0.05$ , respectively.

## نتایج و بحث

## سفتی میوه

سفتی میوه یکی از مهم‌ترین فاکتورها در تعیین کیفیت و عمر پس از برداشت آن می‌باشد (Kirmani et al., 2013). به‌طور کلی، سفتی میوه پس از برداشت در میوه‌های تیمار شده با کیتوسان و اسید فرولیک در مقایسه با شاهد به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. با این حال، میوه‌های تیمار شده با نانوکیتوسان ۱۰ میلی‌لیتر و اسید فرولیک یک میلی‌مولار سفتی میوه بالاتری نسبت به بقیه تیمارها نشان دادند (شکل ۱). میزان نرم شدن میوه به‌طور مستقیم با سرعت شکسته شدن ترکیبات پکتینی از طریق فعالیت آنزیم‌های پکتین‌متیل‌استراز (PME) و پلی‌گالاکتوروناز (PG) در طول رسیدن مرتبط است (Paniagua et al., 2014). تأثیر مثبت کیتوسان قبل از برداشت بر استحکام میوه می‌تواند به‌دلیل تشکیل یک لایه کیتوسان بر روی میوه باشد که به عنوان مانعی برای جذب O<sub>2</sub> عمل کرده و در نتیجه، فعالیت متابولیک از جمله فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی را کاهش داده و فرآیند رسیدن را کاهش دهد (Reddy et al., 2000). در راستای نتایج این تحقیق، کاسمه سیلوا<sup>۱</sup> و همکاران (Cosme Silva et al., 2017) در انبه و لی و یو<sup>۲</sup> (Li and Yu, 2001) در هلو افزایش استحکام میوه را پس از محلول‌پاشی با کیتوسان گزارش کردند. علاوه بر این، ردی و همکاران (Reddy et al., 2000) اثر مفید اسپری قبل از برداشت کیتوسان را بر سفتی گوشت توت‌فرنگی گزارش کردند. علاوه بر این، آن‌ها دریافتند که سفتی میوه با افزایش غلظت کیتوسان ارتباط دارد. مطابق با همین رفتار کیتوسان، افزایش سفتی میوه در اثر تیمار با اسید فرولیک در ذغال اخته (Xu & Liu, 2017) و میوه‌های تازه برش سیب (Alves et al., 2017) گزارش شده است. در نتیجه، تیمار ترکیبی کیتوسان و اسید فرولیک می‌تواند با کاهش فعالیت آنزیم‌هایی که در تخریب دیواره سلولی نقش دارند، روند پیری را به تأخیر انداخته و با حفظ سفتی در سیب تأثیر مثبت بگذارند.

## مواد جامد محلول

طبق نتایج به‌دست آمده میوه‌های تیمار شده با نانوکیتوسان و اسید فرولیک، محتوای مواد جامد محلول بالاتری را نسبت به میوه‌های شاهد نشان دادند، به‌طوری‌که این میزان با افزایش غلظت نانوکیتوسان و اسید فرولیک بیشتر بود. همچنین در تیمار قبل از برداشت میوه‌ها با اسید فرولیک بین تیمار نیم میلی‌مولار اسید فرولیک و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). گزارش شده است که کاربرد قبل از

برداشت کیتوسان، با کاهش روند پیری از طریق کاهش تولید و اثر اتیلن، کاهش تنفس باعث حفظ دیواره سلولی شده که در نهایت، منجر به حفظ بهتر قندهای محلول می‌شود (Ehtesham Nia et al., 2021). افزایش درصد قندهای محلول در طول دوره نگهداری احتمالاً به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های مسئول هیدرولیز نشاسته به قندهای محلول است و می‌تواند ناشی از کاهش میزان کربوهیدرات‌ها، پکتین‌ها، هیدرولیز نسبی پروتئین و تجزیه گلیکوزیدها به زیر واحدها در طول تنفس باشد (Abbasi et al., 2009; Aranzana et al., 2011) که و وانگمتا<sup>۳</sup> (Ke & Wongmetha, 2012) گزارش کردند که کیتوسان هیچ تأثیری بر مقدار قندهای محلول میوه‌های انبه ندارد. پاسخ مشابهی نیز در توت‌فرنگی<sup>۴</sup> گزارش شده است (Hernández-Kittur et al., 2008). در انبه و موز تیمار شده با کیتوسان (Kittur et al., 2001) محتوای قند محلول در مقایسه با میوه‌های شاهد کمتر بود، در حالی‌که مقادیر بالاتری برای هلوهای تیمار شده مشاهده شد (Srinivasa et al., 2002).

## اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

طبق نتایج به‌دست آمده حداقل میزان TA در شاهد و بیشترین میزان در تیمار کیتوسان ۱۰ میلی‌لیتر و اسید فرولیک ۱ میلی‌مولار مشاهده شد. تیمار ۱ میلی‌مولار اسید فرولیک و ۱۰ میلی‌لیتر کیتوسان بالاترین درصد محتوای TA را در مقایسه با شاهد نشان داد که اختلاف معنی‌داری با تیمار نیم میلی‌مولار اسید فرولیک و پنج میلی‌لیتر کیتوسان نداشت (شکل ۳). در فرآیند پس از برداشت، از قندها و اسیدهای آلی به‌عنوان سوبسترای اصلی در فرآیند متابولیک استفاده می‌شود. به‌طوری‌که اسیدیته قابل تیتراسیون معمولاً در طول نگهداری کاهش می‌یابد و حداکثر کاهش نشان‌دهنده پیری می‌باشد. پوشش‌های خوراکی یک لایه نازک بر روی سطوح میوه تشکیل می‌دهند که می‌تواند تبادل گاز و سرعت تنفس میوه را کاهش دهد (Cosme et al., 2017). نتایج مشاهده شده در این مطالعه می‌تواند به دلیل کاهش تغییرات متابولیک اسیدهای آلی به دی‌اکسیدکربن و آب، کاهش سرعت تنفس و در نتیجه، حفظ میزان بالاتر اسیدها باشد. تنفس یک فرآیند آنزیمی است و آنزیم‌های دخیل در تنفس از اسیدهای آلی به‌عنوان سوبسترا استفاده می‌کنند (Yaman & Bayoindrlh, 2002). نتایج گزارش شده در این مطالعه با نتایج به‌دست آمده توسط گوتام<sup>۵</sup> و همکاران (Goutam et al., 2010) در مورد گواوا مطابقت دارد.

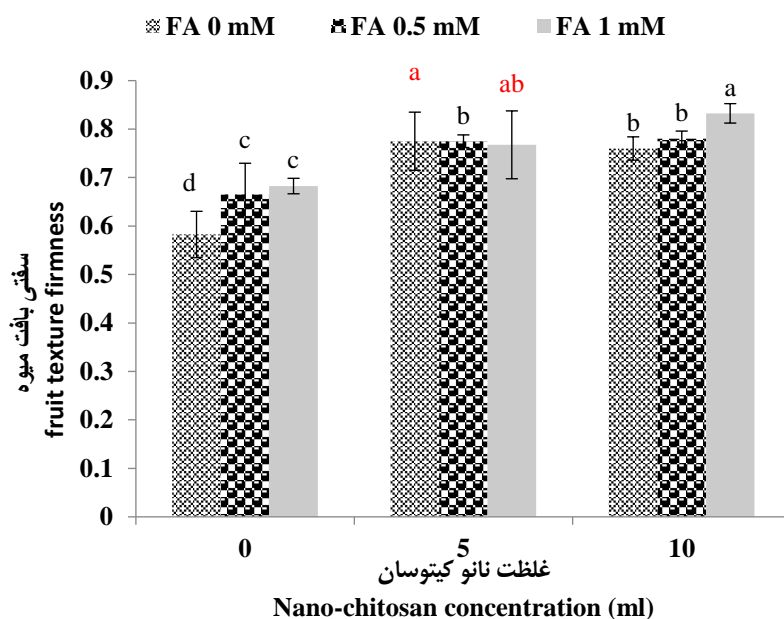
4- *Fragaria* × *ananassa*

5- Goutam

1- Cosme Silva

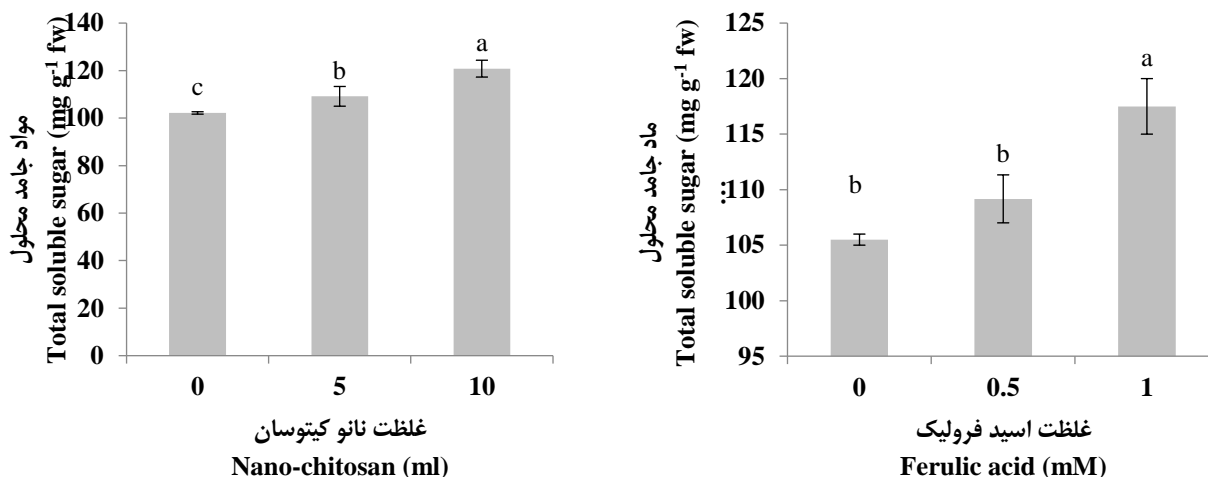
2- Li and Yu

3- Wongmetha and Ke



شکل ۱- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان سفتی میوه سیب رقم 'رد دلشیر'

Figure 1- The interaction effect of chitosan nanoparticle × ferulic acid on the fruit firmness of apple cv. Red Delicious. (DMRT,  $p \leq 0.05$ )



شکل ۲- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان مواد جامد محلول میوه سیب رقم 'رد دلشیر'

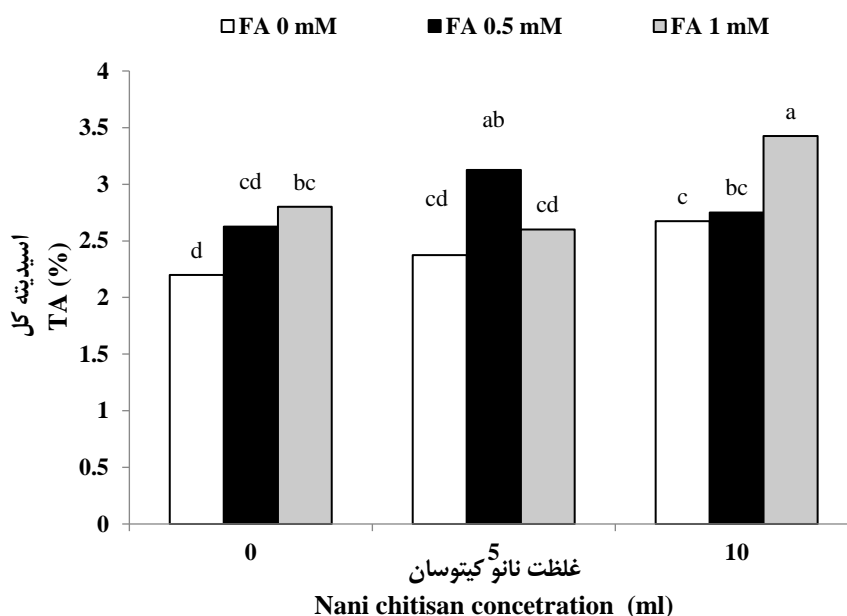
Figure 2- The interaction effect of chitosan nanoparticle × ferulic acid on the fruit total soluble sugar content of apple cv. Red Delicious. (DMRT,  $p \leq 0.05$ )

نمود (شکل ۴). pH آب میوه یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی است به طوری که با اسیدیته قابل تیتراسیون و اسید آسکوربیک رابطه غیرمستقیم دارد.

#### pH

طبق نتایج اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانوکیتوسان و اسید فرولیک بر pH آب میوه معنی دار بود. ترکیب تیمار نانوکیتوسان و اسید فرولیک باعث کاهش pH آب میوه گردید به طوری که کمترین pH در تیمار ۱ میلی مولار اسید فرولیک و ۱۰ میلی لیتر کیتوسان و بیشترین آن در شاهد مشاهده گردید. همچنین به جز تیمار ۱ میلی مولار اسید فرولیک و ۱۰ میلی لیتر کیتوسان با شاهد، اختلاف بقیه تیمارها معنی دار





شکل ۳- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه سیب رقم 'ددلیشر'  
**Figure 3- The interaction effect of chitosan nanoparticle × ferulic acid on the fruit titratable acidity of apple cv. Red Delicious. (DMRT,  $p \leq 0.05$ )**

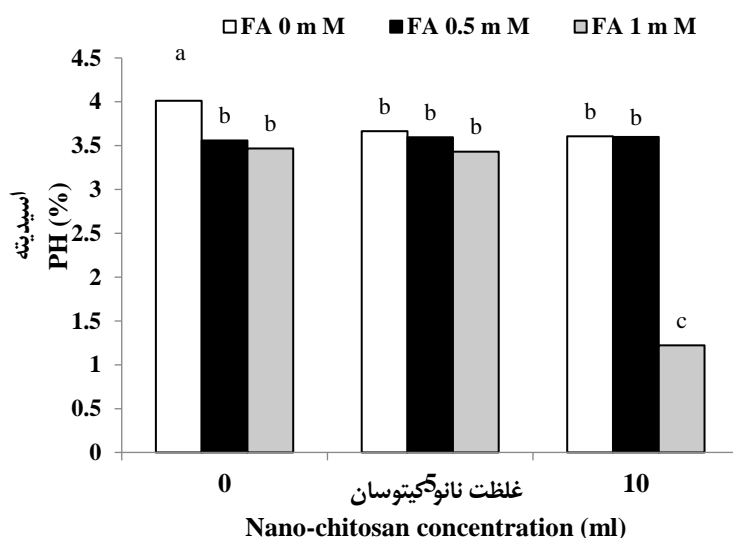
فرولیک نداشت (شکل ۵). اسید آسکوربیک رابطه مستقیمی با اسیدیته دارد، درحالی که نسبت به سطح pH رابطه آن معکوس است. سطح اسید آسکوربیک (ویتامین ث) با رسیدن میوه به دلیل اثر مستقیم آنزیم آسکوربیک اسیداکسیداز (آسکوریناز)، اکسیداسیون و به دنبال آن تبدیل اسید آسکوربیک به ۲، ۳- دی کتوگولونیک اسید کاهش می یابد (Chitarra, 2005) و ساجید<sup>۲</sup> و همکاران (Sajid et al., 2020) تخریب تأخیری ویتامین ث را در میوه های هلو (*Prunus persica* L.) تیمار شده با کیتوسان را گزارش کردند. عبور پایین سطح اکسیژن منجر به کاهش فعالیت آسکوریناز شده است که از اکسیداسیون اسید آسکوربیک جلوگیری می کند (Dang et al., 2010). مطابق با نتایج این تحقیق، سطح بالایی از اسید آسکوربیک در نتیجه کاربرد کیتوسان در توت فرنگی یافت شد (Wang & Gao, 2013). نتایج این مطالعه نشان داد که محتوای ویتامین ث زمانی افزایش می یابد که تیمارهایی ترکیب نانوکیتوسان و اسید فرولیک در غلظت های بالا به کار برده شوند که احتمالاً به دلیل استحکام دیواره سلولی و القای اتمسفر تغییر یافته در نتیجه کاربرد این دو ترکیب باشد.

افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون میوه ها باعث کاهش pH همان میوه می شود. شرایط بیوشیمیایی میوه با استفاده از کیتوسان تغییر می کند و با ایجاد مانعی برای عبور اکسیژن، سرعت تنفس و فرآیندهای متابولیک را کاهش می دهد که دلیلی واقعی برای تغییر pH است (Sheikh et al., 2017). از طرف دیگر، اسید فرولیک یکی از فراوان ترین اسیدهای فنولیک در گیاهان است که به عنوان یک عامل اتصال دهنده دیواره سلولی عمل می کند (He et al., 2019). یافته های امران<sup>۱</sup> و همکاران (Imran et al., 2000) نیز نتایج ما را تأیید می کند که جلوگیری از هیدرولیز پکتین و افزایش اسیدهای آزاد منجر به کاهش pH می شود. علاوه بر این، دلیل افزایش pH میوه در زمان نگهداری، افزایش سرعت تنفس و به دنبال آن افزایش فرآیندهای کاتابولیک مختلف گزارش شده است که منجر به تجزیه اسیدهای آلی می شود (Kelebek et al., 2008).

#### ویتامین ث

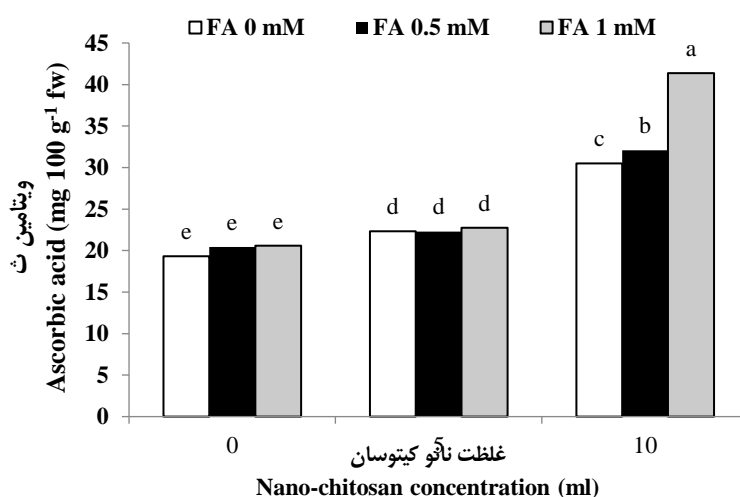
ویتامین ث اصلی ترین آنتی اکسیدان محلول در آب است که به طور مستقیم آسیب های ناشی از رادیکال های آزاد را کاهش می دهد. بر اساس نتایج به دست آمده حداکثر محتوای ویتامین ث در تیمار ۱ میلی مولار اسید فرولیک و ۱۰ میلی لیتر کیتوسان مشاهده شد، درحالی که کمترین مقدار در شاهد مشاهده گردید که اختلاف معنی داری با تیمارهای نیم میلی مولار اسید فرولیک و یک میلی مولار اسید





شکل ۴- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان pH میوه سیب رقم 'رُددلیشر'

Figure 4- The interaction effect of chitosan nanoparticle × ferulic acid on fruit pH of apple cv. Red Delicious. (DMRT,  $p \leq 0.05$ )



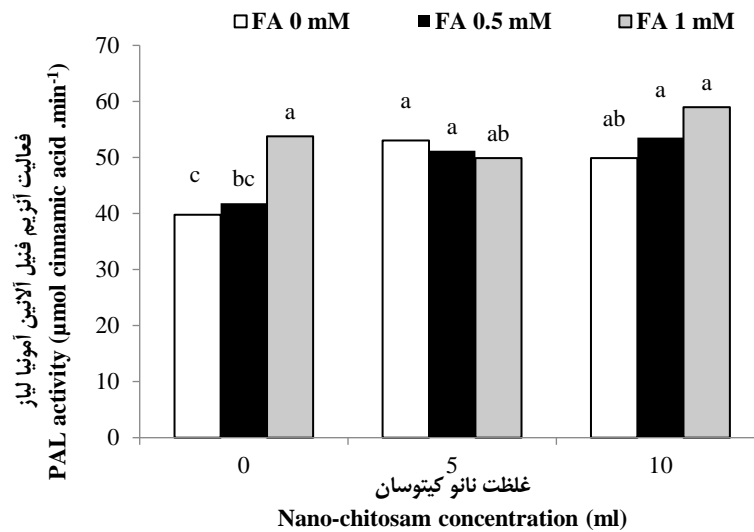
شکل ۵- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان ویتامین C میوه سیب رقم 'رُددلیشر'

Figure 5- The interaction effect of chitosan nanoparticle × ferulic acid on the vitamin C content of apple cv. Red Delicious. (DMRT,  $p \leq 0.05$ )

اسید فرولیک در برابر فعالیت PAL در سیب زمینی شیرین بی اثر است. در واقع، کیتوسان به عنوان یک محرک، می تواند فعالیت آنزیم های PAL را که در بیوستنز پلی فنل ها و کوتیکول نقش دارند، فعال کند (Orzali et al., 2014)؛ در مطالعه حاضر، فعالیت آنزیم PAL به طور قابل توجهی با افزایش غلظت نانوکیتوسان و اسید فرولیک افزایش نشان داد.

#### فعالیت آنزیم PAL

بر اساس نتایج به دست آمده حداکثر فعالیت آنزیم PAL در تیمار ۱ میلی مولار اسید فرولیک و ۱۰ میلی لیتر کیتوسان مشاهده شد و به جز شاهد و اسید فرولیک نیم میلی مولار اختلاف معنی داری با بقیه تیمارها نداشت (شکل ۶). مطالعات کمی در مورد تأثیر کاربرد بیرونی اسید فرولیک بر فعالیت آنزیم PAL انجام شده است و نتایج متناقض هستند. ساتو<sup>۱</sup> و همکاران (Sato et al., 1982) نشان داد که کاربرد



شکل ۶- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان فعالیت آنزیم PAL میوه سیب رقم رددلیشیر.

Figure 6- The interaction effect of chitosan nanoparticle × ferulic acid on fruit PAL enzyme activity of apple cv. Red Delicious. (DMRT,  $p \leq 0.05$ )

## نتیجه گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که تیمار قبل از برداشت نانوکیتوسان و اسید فرولیک بر کیفیت میوه‌های سیب در زمان برداشت تأثیر مثبتی داشتند. میوه‌های تیمار شده با بالاترین غلظت نانوکیتوسان و اسید فرولیک، بیشترین سفتی میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون،

ویتامین ث، فعالیت آنزیم PAL و کمترین میزان pH را در مقایسه با میوه شاهد در زمان برداشت را نشان دادند. این نتایج نشان می‌دهد که تیمار نانوکیتوسان و اسید فرولیک می‌تواند به‌عنوان روشی سالم و امیدوارکننده جهت بهبود کیفیت میوه‌های سیب در زمان برداشت میوه پیشنهاد شود.

## References

- Abbasi, N.A., Iqbal, Z., Maqbool, M., & Hafiz, I.A. (2009). Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating. *Pakistan Journal of Botany*, 41(1), 343-357.
- Alves, M.M., Gonçalves, M.P., & Rocha, C.M. (2017). Effect of ferulic acid on the performance of soy protein isolate-based edible coatings applied to fresh-cut apples. *Food Science and Technology*, 80, 409-415. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.013>
- Aranzana, M.J., Abbassi, E.K., Howad, W., & Arús, P. (2010). Genetic variation, population structure and linkage disequilibrium in peach commercial varieties. *BMC Genetics*, 11, 1-11. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-69>
- Baswal, A.K., Dhaliwal, H.S., Singh, Z., Mahajan, B.V.C., Kalia, A., & Gill, K.S. (2020). Influence of carboxy methylcellulose, chitosan and beeswax coatings on cold storage life and quality of Kinnow mandarin fruit. *Scientia Horticulturae*, 260, 108-887. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108887>
- Beaudoin-Eagan, L.D. & Thorpe, T.A. (1985). Tyrosine and phenylalanine ammoniolyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. *Plant Physiology*, 78(3), 438-441. <https://doi.org/10.1104>
- Bellincontro, A., De Santis, D., Botondi, R., Villa, I., & Mencarelli, F. (2004). Different postharvest dehydration rates affect quality characteristics and volatile compounds of Malvasia, Trebbiano and Sangiovese grapes for wine production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(13), 1791-1800. <https://doi.org/10.1002/JSFA.1889>
- Chitarra, M.I.F., & Chitarra, A.B. (2005). Post-harvest of fruits and vegetables, Physiology and Handling. 2nd Edition, FAEPE, Lavras, Lavras, 785 p.
- Cosme Silva, G.M.C., Silva, W.B., Medeiros, D.B., Salvador, A.R., Cordeiro, M.H.M., da Silva, N.M., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.123>
- Dang, Q.F., Yan, J.Q., Li, Y., Cheng, X.J., Liu, C.S., & Chen, X.G. (2010). Chitosan acetate as an active coating material and its effects on the storing of *Prunus avium* L. *Journal Food Science*, 75(2), S125-S131. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01483.x>

- 10- Sahraei Khosh Gardesh, A.S.K., Badii, F., Hashemi, M., Ardakani, A.Y., Maftoonazad, N., & Gorji, A.M. (2016). Effect of nanochitosan based coating on climacteric behavior and postharvest shelf-life extension of apple cv. Golab Kohanz. *Food Science and Technology*, 70, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.002>
- 11- Shazly, S.M., Eisa A.M., Moatamed, A.M.H., & Kotb, H.R.M. (2013). Effect of some agrochemical pre harvest foliar application on yield and physiology molecular biology plants quality of Swelling peach trees. *Alexander Journal of Agriculture Research*, 58(3), 219-229.
- 12- Egan, H., Kirk, R.S., & Sawyer, R. (1981). Pearson's chemical analysis of food 8th Edt. Churchill livingstone, medical division of longman group Ltd. *Great Britain*, 591.
- 13- Ferrochio, L., Cendoya, E., Farnochi, M.C., Massad, W., & Ramirez, M.L. (2013). Evaluation of ability of ferulic acid to control growth and fumonisin production of *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* on maize based media. *International Journal of Food Microbiology*, 167(2), 215-220. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.09.005>
- 14- Ferruz, E., Atanasova-Pénichon, V., Bonnin-Verdal, M.N., Marchegay, G., Pinson-Gadais, L., Ducos, C., Lorán, S., Ariño, A., Barreau, C., & Richard-Forget, F. (2016). Effects of phenolic acids on the growth and production of T-2 and HT-2 toxins by *Fusarium langsethiae* and *F. sporotrichioides*. *Molecules*, 21(4), p.449. <https://doi.org/10.3390/molecules21040449>
- 15- Goutam, M., Dhaliwal, H.S., & Mahajan, B. (2010). Effect of pre-harvest calcium sprays on post-harvest life of winter guava (*Psidium guajava* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 47, 501-506. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0085-2>
- 16- He, J., Ma, L., Wang, D., Zhang, M., & Zhou, H. (2019). Ferulic acid treatment reinforces the resistance of postharvest apple fruit during gray mold infection. *Journal of Plant Pathology*, 101, 503-511. <https://doi.org/10.1007/s42161-018-00223-0>
- 17- Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria × ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110(2), 428-435. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020>
- 18- Imran, A., Rafiullah, K., & Muhammad, A. (2000). Effect of added sugar at various concentration on the storage stability of guava pulp. *Sarhad Journal of Agriculture*, 16(1), 89-93.
- 19- Kelebek, H., Canbas, A., & Selli, S. (2008). Determination of phenolic composition and antioxidant capacity of blood orange juices obtained from cvs. Moro and Sanguinello (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) grown in Turkey. *Food Chemistry*, 107(4), 1710-1716. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.004>
- 20- Kirmani, S.N., Wani, G.M., Wani, M.S., Ghani, M.Y., Abid, M., Muzamil, S., Raja, H., & Malik, A.R. (2013). Effect of preharvest application of calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>), gibberlic acid (GA<sub>3</sub>) and naphthelenic acetic acid (NAA) on storage of plum (*Prunus salicina* L.), cv. Santa Rosa, under ambient storage conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 8(9), 812-818. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.1708>
- 21- Kittur, F.S., Saroja, N., & Tharanathan, R. (2001). Polysaccharide-based composite coating formulations for shelf-life extension of fresh banana and mango. *European Food Research and Technology*, 213(4), 306-311. <https://doi.org/10.1007/s002170100363>
- 22- Lillioja, S., Neal, A.L., Tapsell, L., & Jacobs Jr, D.R. (2013). Whole grains, type 2 diabetes, coronary heart disease, and hypertension: Links to the aleurone preferred over indigestible fiber. *Biofactors*, 39(3), 242-258. <https://doi.org/10.1002/biof.1077>
- 23- Li, H., & Yu, T. (2001). Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(2), 269-274.
- 24- Ma, Z.C., Hong, Q., Wang, Y.G., Tan, H.L., Xiao, C.R., Liang, Q.D., Cai, S.H., & Gao, Y. (2010). Ferulic acid attenuates adhesion molecule expression in gamma-radiated human umbilical vascular endothelial cells. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 33(5), 752-758.
- 25- Magné, C., Saladin, G., & Clément, C. (2006). Transient effect of the herbicide flazasulfuron on carbohydrate physiology in *Vitis vinifera* L. *Chemosphere*, 62(4), 650-657. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.04.119>
- 26- Mathew, S., & Abraham, T.E. (2006). Bioconversions of ferulic acid, an hydroxycinnamic acid. *Critical Reviews in Microbiology*, 32(3), 115-125. <https://doi.org/10.1080/10408410600709628>
- 27- Navarrete, S., Alarcón, M., & Palomo, I. (2015). Aqueous extract of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and ferulic acid reduce the expression of TNF- $\alpha$  and IL-1 $\beta$  in LPS-activated macrophages. *Molecules*, 20(8), 15319-15329. <https://doi.org/10.3390/molecules200815319>
- 28- Nia, A.E., Taghipour, S., & Siahmansour, S. (2021). Pre-harvest application of chitosan and postharvest *Aloe vera* gel coating enhances quality of table grape (*Vitis vinifera* L. cv. 'Yaghouiti') during postharvest period. *Food Chemistry*, 347, 129012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129012>

- 29- Orzali, L., Forni, C.I.N.Z.I.A., & Riccioni, L. (2014). Effect of chitosan seed treatment as elicitor of resistance to *Fusarium graminearum* in wheat. *Seed Science and Technology*, 42(2), 132-149. <https://doi.org/10.15258/sst.2014.42.2.03>
- 30- Paniagua, C., Posé, S., Morris, V.J., Kirby, A.R., Quesada, M.A., & Mercado, J.A. (2014). Fruit softening and pectin disassembly: An overview of nano structural pectin modifications assessed by atomic force microscopy. *Annals of Botany*, 114(6), 1375-1383. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu149>
- 31- Reddy, M.B., Belkacemi, K., Corcuff, R., Castaigne, F., & Arul, J. (2000). Effect of pre-harvest chitosan sprays on post-harvest infection by *Botrytis cinerea* and quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 20(1), 39-51. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00108-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00108-3)
- 32- Saavedra, G.M., Figueroa, N.E., Poblete, L.A., Cherian, S., & Figueroa, C.R. (2016). Effects of preharvest applications of methyl jasmonate and chitosan on postharvest decay, quality and chemical attributes of *Fragaria chiloensis* fruit. *Food Chemistry*, 190, 448-453. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.107>
- 33- Sajid, M., Basit, A., Ullah, Z., Shah, S.T., Ullah, I., Mohamed, H.I., & Ullah, I. (2020). Chitosan-based foliar application modulated the yield and biochemical attributes of peach (*Prunus persica* L.) cv. Early Grand. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00405-w>
- 34- Shiekh, R.A., Malik, M.A., Al-Thabaiti, S.A., & Shiekh, M.A. (2017). Chitosan as a novel edible coating for fresh fruits. *Food Science and Technology Research*, 19(2), 139-155.
- 35- Sofy, A.R., Dawoud, R.A., Sofy, M.R., Mohamed, H.I., Hmed, A.A., & El-Dougdoug, N.K. (2020). Improving regulation of enzymatic and non-enzymatic antioxidants and stress-related gene stimulation in cucumber mosaic cucumovirus-infected cucumber plants treated with glycine betaine, chitosan & combination. *Molecules*, 25(10), 2341. <https://doi.org/10.3390/molecules25102341>
- 36- Srinivasa, P., Baskaran, R., Ramesh, M., Harish Prashanth, K., & Tharanathan, R. (2002). Storage studies of mango packed using biodegradable chitosan film. *European Food Research and Technology*, 215, 504-508. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0591-1>
- 37- Vinayagam, R., Jayachandran, M., & Xu, B. (2016). Antidiabetic effects of simple phenolic acids: A comprehensive review. *Phytotherapy Research*, 30(2), 184-199. <https://doi.org/10.1002/ptr.5528>
- 38- Wang, L.Z., Liu, L., Holmes, J., Kerry, J.F., & Kerry, J.P. (2007). Assessment of film-forming potential and properties of protein and polysaccharide-based biopolymer films. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(9), 1128-1138. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2006.01440.X>
- 39- Wang, S.Y., & Gao, H. (2013). Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria x aranassa* Duch.). *LWT-Food Science and Technology*, 52(2), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.003>
- 40- Wongmetha, O., & Ke, L.S. (2012). The quality maintenance and extending storage life of mango fruit after postharvest treatments. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 6(9), 798-803.
- 41- Xing, Y., Yang, H., Guo, X., Bi, X., Liu, X., Xu, Q., Wang, Q., Li, W., Li, X., Shui, Y., & Chen, C. (2020). Effect of chitosan/Nano-TiO<sub>2</sub> composite coatings on the postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruits. *Scientia Horticulturae*, 263, p.109135. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109135>
- 42- Xu, F., & Liu, S. (2017). Control of postharvest quality in blueberry fruit by combined 1-methylcyclopropene (1-MCP) and UV-C irradiation. *Food and Bioprocess Technology*, 10, 1695-1703. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1935-y>
- 43- Yaman, Ö., & Bayındurlu, L. (2002). Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. *LWT-Food Science and Technology*, 35(2), 146-150.
- 44- Zagzog, O.A., Gad, M.M., & Hafez, N.K. (2017). Effect of nano-chitosan on vegetative growth, fruiting and resistance of malformation of mango. *Trends in Horticultural Research*, 67, 673-681. <https://doi.org/10.3923/THR.2017.11.18>
- 45- Zhang, C., Long, Y.H., Wang, Q.P., Li, J.H., Wu, X.M., & Li, M. (2019). The effect of pre harvest 28.6% chitosan composite film sprays for controlling the soft rot on kiwifruit. *Horticultural Science*, 46(4), 180-194. <https://doi.org/10.17221/84/2018-HORTSCI>