

Improving the Quality and Shelf life of Kinnow Mandarin (*Citrus reticulata* L.) Fruits using Pre- and Post-Harvest Melatonin Treatments

S. Molaei Mohammad Abadi¹, S. Rastegar^{1*}

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

(*- Corresponding author's Email: rastegarhort@gmail.com)

Received: 03 August 2024
Revised: 30 November 2024
Accepted: 26 January 2025
Available Online: 26 January 2025

How to cite this article:

Molaei Mohammad Abadi, S., & Rastegar, S. (2025). Improving the quality and shelf life of Kinnow mandarin (*Citrus reticulata* L.) fruits using pre- and post-harvest melatonin treatments. *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 387-401. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.89185.1368>

Introduction

Kinnow mandarin (*Citrus reticulata* L.) is one of the most important citrus fruits that undergoes significant postharvest quality deterioration. This deterioration is primarily due to moisture loss, physiological changes, and pathogen infections. To maintain the quality and extend the shelf-life of kinnow mandarins, various postharvest treatments and storage conditions have been explored. Melatonin, being a nontoxic and safe chemical, has application potential in the improvement of fruit quality. By stimulating the production of antioxidants like ascorbic acid and phenolics, melatonin can boost the overall antioxidant capacity of fruits. It has been reported that by influencing pigment production, melatonin can enhance fruit color and appearance. Further research is needed to optimize the application methods and determine the most effective melatonin concentrations for different cultivars and storage conditions. Additionally, the underlying physiological and biochemical mechanisms by which melatonin enhances fruit quality during postharvest storage warrant further investigation. Implementing melatonin treatments in commercial postharvest operations could provide a valuable strategy for maintaining the quality and extending the shelf-life of Kinnow mandarins and other citrus fruits.

Materials and Methods

A field experiment was conducted at a citrus orchard located in Rudkhan district, Rudan, Iran. Ten-year-old Kinnow mandarin (*Citrus nobilis* × *Citrus deliciosa*) trees were treated with three melatonin concentrations: 0 µM (distilled water as control), 100 µM, and 200 µM. The treatments were applied as foliar sprays one month prior to harvest, repeated three times at weekly intervals. Mature fruits were harvested in December and randomly divided into two groups: one for immediate analysis and the other for storage. Fruits destined for storage were disinfected with 0.05% sodium hypochlorite for one min, rinsed with distilled water, and then subjected to a 30-min immerse in melatonin solutions (100 µM or 200 µM) corresponding to the previous foliar treatment. The fruits were then stored at 5 ± 1°C. Samples were evaluated for physicochemical properties at 30 and 60 days of storage. A factorial experiment was conducted in a randomized complete block design. Data were analyzed using SAS software, version 9.4. Means were compared using the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% level of significance. Graphs were generated using Excel software.

Results and Discussion

The results showed that melatonin treatments significantly increased fruit weight, pulp weight, juice volume, titratable acidity, and ascorbic acid content at harvest. During storage, both sprayed and immersed fruits exhibited less weight loss. At the end of the storage period, treated fruits also had higher ascorbic acid content compared to the control. Fruit immersion was more effective in preserving total flavonoids at the end of the



©2025 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.2025.89185.1368>

experiment. The highest antioxidant capacity was observed in fruits sprayed with 100 μ M melatonin. Melatonin is a potent antioxidant, scavenging free radicals and protecting cellular components from oxidative damage. In addition, by modulating ethylene production, melatonin can influence fruit ripening rate and overall quality. Melatonin has been studied in fruits like mango and papaya, where it has shown potential to improve fruit quality and extend shelf life. Studies on citrus fruits have indicated that melatonin can reduce chilling injury, maintain juice quality, and increase antioxidant content. It's important to note that the optimal melatonin concentration and application method can vary significantly between fruit species. Overall, the sprayed treatments showed better performance in terms of marketability and various quality attributes compared to the other treatments. The findings of this study suggest that pre- and post-harvest melatonin treatments can effectively maintain the quality and extend the shelf-life of Kinnow mandarin fruit during cold storage. Melatonin's antioxidant properties and ability to regulate physiological processes may contribute to the observed improvements in fruit quality. These results have important implications for the postharvest management of Kinnow mandarins, as melatonin could be a valuable tool for preserving the fruit's nutritional and sensory attributes during storage and transportation.

Conclusions

The results of this study demonstrate that melatonin application had a beneficial impact on Kinnow mandarin fruits. Overall, the melatonin spray treatment, particularly at a concentration of 100 μ M, led to increased fruit weight, water content, ascorbic acid content, and titratable acidity at harvest. During storage, treated fruits exhibited higher antioxidant capacity, phenolic and flavonoid content, and ascorbic acid levels, along with reduced weight loss compared to the control group. Consequently, the use of melatonin is proposed as a promising strategy to enhance the quality and marketability of Kinnow mandarins during postharvest storage.

Keywords: Antioxidant capacity, Ascorbic acid, Physiological characters, Spray

بهبود کیفیت و ماندگاری نارنگی کینو (*Citrus reticulata* L.) با استفاده از تیمارهای قبل و

پس از برداشت ملاتونین

سکینه ملائی محمدآبادی^۱ - سمیه رستگار^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷

چکیده

نارنگی کینو (*Citrus reticulata* L.)، یکی از مهم‌ترین مرکبات کشت‌شده در کشور، پس از برداشت مستعد کاهش کیفیت به دلیل از دست دادن رطوبت و تغییرات فیزیولوژیکی است. حفظ کیفیت این میوه در طول دوره نگهداری، از جمله اهداف اصلی پژوهشگران می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر کاربرد قبل و بعد از برداشت ملاتونین بر کیفیت میوه نارنگی کینو در زمان برداشت و همچنین در مدت نگهداری در سردخانه می‌باشد. آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی روی درختان ۱۰ ساله نارنگی کینو در باغی واقع در شهرستان رودان انجام شد. محلول‌پاشی درختان با سه غلظت ملاتونین (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار)، یک ماه قبل از برداشت به فاصله هفت روز یک‌بار تکرار گردید. میوه‌ها در مرحله بلوغ تجاری برداشت و به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول بلافاصله پس از برداشت از نظر ویژگی‌های مختلف فیزیوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. گروه دوم به مدت ۳۰ دقیقه در محلول ملاتونین (۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) غوطه‌ور شدند. سپس در دمای پنج درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ روز نگهداری شدند. ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی میوه در روزهای ۳۰ و ۶۰ انبارمانی انجام گردید. براساس نتایج به دست آمده، کاربرد قبل از برداشت ملاتونین نقش مؤثری در افزایش وزن میوه، وزن گوشت و حجم آب، اسیدیته قابل تیتراسیون و محتوای اسید آسکوربیک میوه در زمان برداشت داشت. همچنین، محلول‌پاشی به طور معنی‌داری باعث افزایش محتوای اسید آسکوربیک، فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گردید. در پایان انبارمانی، میوه‌های تیمار شده نسبت به شاهد کاهش وزن کمتری نشان دادند. به طوری که حداقل کاهش وزن در میوه‌های محلول‌پاشی شده با ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار و میوه‌های غوطه‌ور شده پس از برداشت در ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار مشاهده شد. همچنین میوه‌های تیمار شده، محتوای اسید آسکوربیک و فلاونوئید بیشتری نسبت به شاهد نشان دادند. در روز ۶۰ انبارمانی، بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های محلول‌پاشی شده با غلظت ۱۰۰ میکرومولار مشاهده شد. به طور کلی، در ارزیابی بازاریابی و خصوصیات ظاهری میوه، تیمارهای محلول‌پاشی شده وضعیت بهتری نسبت به سایر تیمارها نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: اسید آسکوربیک، خصوصیات فیزیولوژیکی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محلول‌پاشی

مقدمه

ترکیبات مغذی تبدیل کرده است (Saini et al., 2022). نارنگی کینو (*Citrus reticulata* L.)، حاصل تلاقی بین گونه‌های *Citrus deliciosa* و *nobilis*، به عنوان یکی از مهم‌ترین ارقام نارنگی (*Citrus reticulata* L.) در کشور ایران از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. این رقم که به واسطه رشد سریع، عدم وجود تبغ، مقاومت به سرما، باردهی بالا و دوره رسیدن میان‌رس تا دیررس شناخته می‌شود، ویژگی‌های منحصر به فردی را به همراه دارد. پوست نازک و چسبیده به گوشت میوه، به آسانی از آن جدا می‌شود. همچنین، گوشت آبدار و شیرین با طعمی مطلوب، از ویژگی‌های بارز این رقم است (Khalid et al., 2016).

مرکبات به عنوان یکی از محبوب‌ترین میوه‌های جهان، جایگاه ویژه‌ای در سبد غذایی بسیاری از کشورها دارد. کشورهای برزیل، چین، آفریقا، مکزیک، هند، اسپانیا و ایران از جمله بزرگ‌ترین تولیدکنندگان مرکبات در جهان محسوب می‌شوند (FAO, 2018). تنوع بالای ترکیبات زیست‌فعال در مرکبات از جمله کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، ترپن‌ها و لیمنوئیدها، این میوه را به منبعی غنی از

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

Email: rastegarhort@gmail.com

(*) - نویسنده مسئول:

ملاتونین بر بهبود خصوصیات کمی و کیفی در زمان برداشت و در طول نگهداری در انبار سرد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر روی درختان ۱۰ ساله نارنگی کینو (*Citrus nobilis* × *Citrus deliciosa*) در باغ مرکبات واقع در بخش رودخانه شهرستان رودان انجام گردید. درختان به طور تصادفی به سه گروه تقسیم شدند و با سه سطح غلظت ملاتونین (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) به صورت محلول‌پاشی برگی تیمار شدند. محلول‌پاشی یک ماه قبل از برداشت به فاصله هفت روز یک‌بار تکرار شد.

میوه‌ها در زمان بلوغ تجاری برداشت شده و به دو گروه تقسیم گردید. گروه اول برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی میوه‌ها در زمان برداشت مورد استفاده قرار گرفت. گروه دوم پس از ضدعفونی سطحی با سدیم هیپوکلریت ۰/۰۵ درصد، به مدت ۳۰ دقیقه در محلول‌های ملاتونین با غلظت‌های مشابه تیمارهای اولیه خود غوطه‌ور شدند و سپس در دمای 1 ± 5 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌برداری در روزهای ۳۰ و ۶۰ انبارمانی صورت گرفت. مراحل مختلف آزمایش و تیمارهای انبارمانی در شکل ۱ نشان داده شده است. هر تیمار با سه تکرار و هر تکرار با پنج میوه انجام گردید.

اندازه‌گیری طول، قطر، وزن و حجم میوه

طول و قطر میوه با استفاده از خط‌کش با قرار دادن میوه‌ها کنار یکدیگر با دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد.

وزن میوه

وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد.

حجم میوه

اندازه‌گیری حجم میوه‌ها با استفاده از استوانه مدرج انجام شد، به طوری که تا قسمت خاصی از استوانه مدرج با آب پر شده و پس از آن با قرار دادن میوه در آن، حجم میوه اندازه‌گیری شد.

کاهش وزن

کاهش وزن برای هر مقدار جداگانه با اندازه‌گیری و ثبت وزن میوه در زمان برداشت (صفر روز) و در تاریخ‌های مختلف نمونه‌برداری در طول انبارمانی اندازه‌گیری شد. وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی

ضایعات پس از برداشت شامل از دست دادن وزن میوه، فساد، کاهش کیفیت ظاهری و داخلی میوه می‌باشد. با استفاده از روش‌های صحیح مدیریت پس از برداشت، می‌توان کیفیت نارنگی کینو را حفظ کرده و میوه تازه و با کیفیت به دست مصرف‌کننده رساند. کاهش ضایعات پس از برداشت، امکان دسترسی به بازارهای داخلی و بین‌المللی را بهبود می‌بخشد. میوه‌های با کیفیت بالا و ماندگاری بیشتر، شانس بیشتری برای ورود به بازارهای صادراتی دارند و فرصت‌های فروش را افزایش می‌دهند. حفظ کیفیت مطلوب نارنگی کینو از زمان برداشت تا رسیدن به دست مصرف‌کننده، یک فرآیند پیچیده و حساس است که نیازمند دانش و مهارت کافی در زمینه تولید و پس از برداشت است. با رعایت اصول صحیح، می‌توان به افزایش عمر انباری، بهبود کیفیت محصول و در نهایت افزایش درآمد کشاورزان کمک کرد (Mahawar et al., 2020).

ملاتونین، یک هورمون طبیعی، به عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی و محرک رشد در گیاهان عمل می‌کند و در برابر تنش‌های محیطی از گیاه محافظت می‌کند (Debnath et al., 2019). این هورمون با نفوذ به سلول‌ها، سطح آنتی‌اکسیدان‌ها را افزایش داده و به عنوان یک تیمار پس از برداشت، کیفیت و ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات را بهبود می‌بخشد. ملاتونین همچنین با کاهش تنش اکسیداتیو، مقاومت گیاهان به بیماری‌ها را افزایش می‌دهد. به دلیل اثرات مثبت و زیست‌سازگاری، ملاتونین قابلیت بالایی در تولید محصولات کشاورزی پایدار دارد (Lin et al., 2019). محلول‌پاشی قبل از برداشت ملاتونین باعث افزایش وزن میوه نارنگی اورلاندو، بهبود کیفیت و افزایش محتوای اسید آسکوربیک شده است (Molaei Mohammad Abadi & Rastegar, 2024). کاربرد ترکیبی ملاتونین و کیتوزان بعد از برداشت موز باعث حفظ کیفیت میوه، تأخیر در رسیدن و ویتامین ث میوه شد (Al-Qurashi et al., 2024). مطالعات نشان دادند که استفاده از ملاتونین قبل از برداشت در میوه‌های گیلاس (*Prunus avium* L.) (Cortés - Montaña et al., 2024) و فیسالیس (*Physalis* sp) (Hayati et al., 2023) می‌تواند به طور قابل توجهی کیفیت و ماندگاری آن‌ها را افزایش دهد. تیمار با ملاتونین منجر به افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌ها، بهبود اندازه میوه، کاهش سرعت پیری و افزایش عمر انباری شد. به نظر می‌رسد که ملاتونین با تأخیر انداختن فرآیندهای پیری و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها، نقش مهمی در حفظ کیفیت آن‌ها ایفا می‌کند.

تاکنون گزارشی از استفاده همزمان محلول‌پاشی قبل و غوطه‌وری پس از برداشت ملاتونین در نارنگی کینو مشاهده نشده است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات کاربرد قبل و پس از برداشت

اسید متافسفریک سرد یک درصد ترکیب و پس از ۲۰ ثانیه ورتکس یک میلی لیتر از محلول با ایندوفنل (سدیم-۲ و -۶ دی کلروفنل- ایندوفنل) تیترا شده تا رنگ ارغوانی مشاهده شود و دوباره به مدت ۲۰ ثانیه ورتکس شد. و سپس جذب آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه گیری و در نهایت، نتایج به صورت میلی گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر آبمیوه بیان گردید.

محتوای فنل کل

اندازه گیری محتوای آبمیوه توسط معرف فولین سیوکالتو به صورت زیر انجام گرفت. ۶۰ میکرولیتر آبمیوه به همراه ۳۰۰ میکرولیتر معرف فولین (۱:۱۰) برداشته و پس از پنج دقیقه به آن ۲۴۰ میکرولیتر سدیم کرینات هفت درصد اضافه شد و پس از ۱/۵ ساعت شیکر در تاریکی و در دمای محیط، جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شد (Ordonez et al., 2006).

دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم اندازه گیری و با استفاده از معادله ۱ درصد کاهش وزن محاسبه گردید (Dong & Wang, 2018).

معادله (۱) $WL (\%) = (w_1 - w_2) \times 100 / w_1$
که در آن، WL: درصد کاهش وزن، w_1 : وزن اولیه برحسب گرم و w_2 : وزن ثانویه برحسب گرم است.

مواد جامد محلول (TSS)

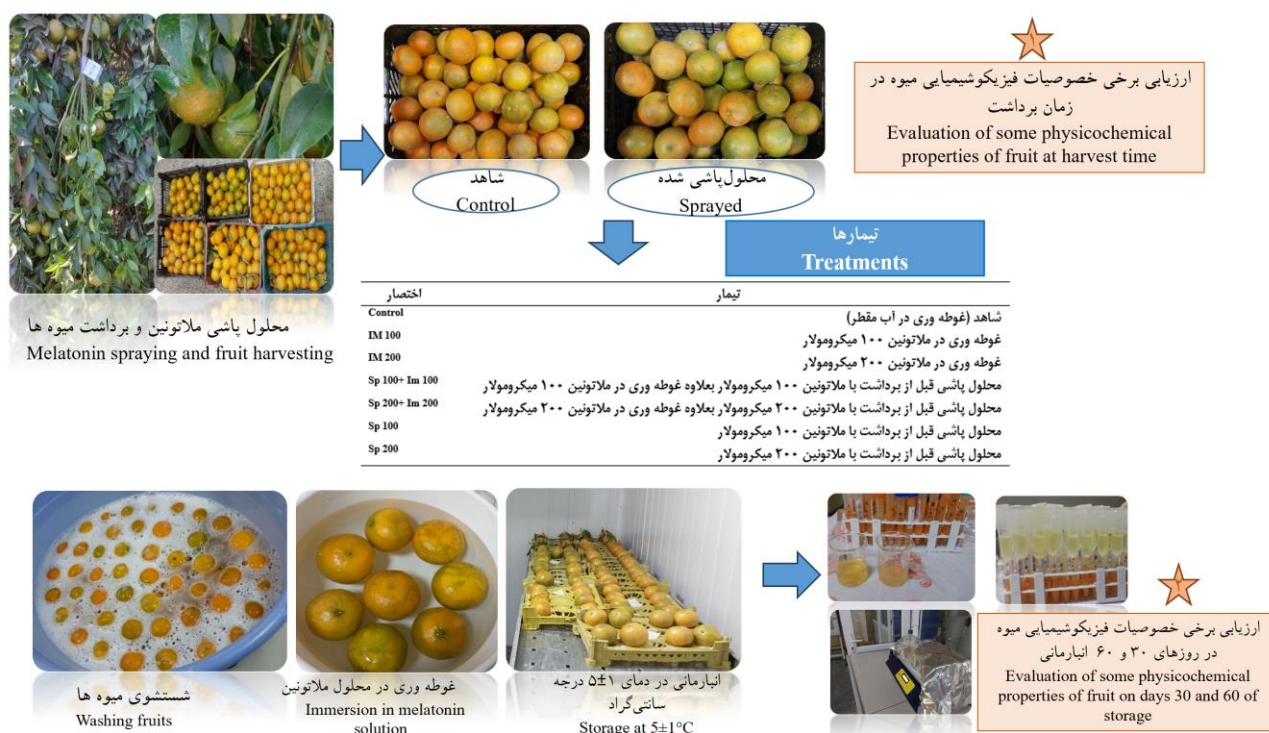
پس از آبیگری میوه ها با قرار دادن چند قطره از آبمیوه نارنگی کینو بر روی صفحه دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی (DBR95, Taiwan)، میزان مواد جامد محلول آبمیوه برحسب درجه بریکس اندازه گیری شد.

اسیدیته قابل تیتراسیون

جهت اندازه گیری اسیدیته قابل تیتراسیون از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH= ۸/۲ استفاده شد.

اسید آسکوربیک

جهت اندازه گیری اسید آسکوربیک از روش ایندوفنل استفاده شد (AOAC ۲۰۰۲). ابتدا ۰/۱ میلی لیتر آبمیوه به همراه ۱۰ میلی لیتر



شکل ۱- مراحل مختلف محلول پاشی درختان، برداشت، غوطه وری، انبارداری و سنجش خصوصیات فیزیوشیمیایی میوه های نارنگی کینو
Figure 1- Different stages of tree spraying, harvesting, immersion, storage, and physicochemical property measurement of Kinnow mandarin fruits

محتوای فلاونوئید کل

برای اندازه‌گیری فلاونوئید به ۶۰ میکرولیتر آب میوه، ۱۸۰ میکرولیتر متانول ۸۵ درصد، ۱۲ میکرولیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد، ۱۲ میکرولیتر پتاسیم استات و ۳۳۶ میکرولیتر آب مقطر اضافه گردید و پس از ۳۰ دقیقه شیکر در تاریکی و در دمای محیط، جذب آن به وسیله اسپکتروفتومتر با طول موج ۴۱۵ نانومتر خوانده شد (Chang et al., 2002).

ظرفیت آنتی اکسیدانی

میزان فعالیت آنتی اکسیدانی به روش مهار رادیکال آزاد ۲،۲ دی فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) اندازه‌گیری شد. طبق این روش، ۳۰ میکرولیتر عصاره متانولی ۸۵ درصد میوه و ۱۱۷۰ میکرولیتر DPPH (۱۵۰ ماکرومول) ترکیب و به مدت ۴۰ دقیقه در تاریکی شیکر شد. سپس توسط اسپکتروفتومتر و در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد و ظرفیت آنتی اکسیدانی با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Bourtoom, 2008).

معادله (۲)

$$DPPH \% = (A_{control} - A_{sample} / A_{control}) \times 100$$
 که در آن، $A_{control}$: جذب شاهد و A_{sample} : جذب نمونه است.

آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD در

سطح آماری پنج درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

تأثیر محلول‌پاشی بر برخی از خصوصیات کمی و کیفی میوه در زمان برداشت

حجم میوه، قطر، طول میوه، حجم آب، وزن گوشت، وزن پوست و وزن میوه

همان‌طور که در جداول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۱) نشان داده شده است، محلول‌پاشی ملاتونین (در غلظت ۲۰۰) تأثیر معنی‌داری بر افزایش حجم میوه و آب میوه، وزن گوشت و وزن میوه داشت. اگرچه ملاتونین طول میوه را افزایش داد، اما تأثیری بر نسبت طول به قطر میوه نداشت. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که استفاده از ملاتونین در درختان میوه، تأثیر مثبتی بر رشدنمو میوه‌ها دارد. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات پیشین نیز هم‌خوانی دارد. به‌عنوان مثال، تیمار درختان انگور (*Vitis vinifera*) با ملاتونین منجر به افزایش ۶/۶ درصدی وزن میوه شد (Meng et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر روی درختان گلابی (*pyrus communis* L.)، این افزایش وزن به ۸/۴۷ درصد رسید (Liu et al., 2019). همچنین، در درختان شاه‌توت (*Morus nigra* L.)، تیمار با ملاتونین باعث افزایش تعداد، وزن و اندازه میوه‌ها شد (Çolak, 2018). در درختان انار (*Punica granatum*) نیز تیمار با ملاتونین به‌میزان یک میلی‌مولار منجر به افزایش عملکرد محصول، و تعداد میوه‌ها در هر درخت، وزن میوه و به‌ویژه افزایش بخش آریل میوه شد.

جدول ۱- تأثیر محلول‌پاشی ملاتونین بر خصوصیات کمی نارنگی کینو

Table 1- The effect of melatonin foliar spraying on the quantitative characteristics of Kinnow mandarin

تیمار Treatment	وزن میوه Fruit weight (g)	طول به قطر Length to diameter	گوشت/پوست Pulp/peel	وزن پوست Peel weight (g)	وزن گوشت Pulp weight (g)	حجم آب Water volume (ml)	طول میوه Fruit length (cm)	قطر میوه Fruit diameter (cm)	حجم میوه Fruit volume (ml)
شاهد Control	81.98 ^b	1.13 ^a	2.25 ^a	3.03 ^b	68.45 ^b	30.3 ^b	5.8 ^b	5.1 ^a	33.3 ^b
ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار Melatonin 100 µM	122.88 ^a	1.14 ^a	2.63 ^a	33.89 ^a	99.88 ^a	47 ^a	6.5 ^a	5.6 ^a	46.6 ^a
ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار Melatonin 200 µM	116.28 ^a	1.18 ^a	2.61 ^a	32.13 ^{ab}	84.1 ^a	46.6 ^a	6.3 ^{ab}	5.3 ^a	46.6 ^a

* در هر ستون، اعداد دارای حروف یکسان، از نظر آماری با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

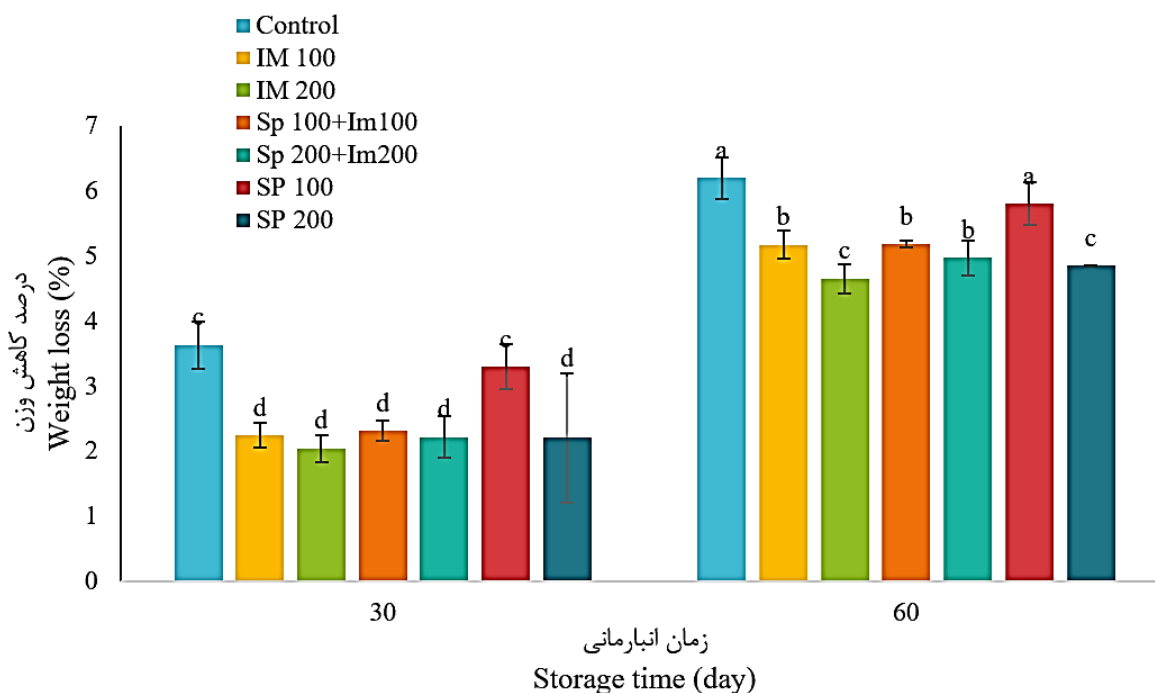
* In each column, the numbers with the same letters are statistically not significantly different from each other at the 5% of probability level based on Duncan's multiple range test.

یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کیفیت و از بین رفتن ارزش اقتصادی میوه‌های مرکبات پس از برداشت، روند پیری طبیعی میوه‌ها است که خود را به صورت کاهش وزن، از دست دادن آب و تغییرات دیگر نشان می‌دهد (Lufu, 2020). کاهش وزن فیزیولوژیکی عمدتاً به دلیل تنفس و تعرق میوه‌ها رخ می‌دهد. مطالعات نشان دادند که تیمار میوه‌ها با ملاتونین می‌تواند به طور مؤثری از کاهش وزن فیزیولوژیکی آن‌ها جلوگیری کند. در تحقیقات انجام‌شده روی پرتقال نافدار (*Citrus sinensis* L. Osbeck)، تیمار با ملاتونین منجر به کاهش نرخ تنفس و در نتیجه کاهش وزن میوه‌ها شد (Ma et al., 2021). همچنین، در میوه‌های عنب، غوطه‌وری در محلول ملاتونین در تأخیر انداختن کاهش وزن کمک کرد (Wang et al., 2022). در میوه هلو (*Prunus persica* L.) نیز تیمار قبل و بعد از برداشت ملاتونین، کاهش وزن و نرخ پوسیدگی را کاهش داد و این اثر با افزایش غلظت ملاتونین تشدید شد (Kucuker et al., 2024). مجموع، نتایج تحقیقات نشان داد که ملاتونین با کاهش نرخ تنفس و تعرق میوه‌ها، از کاهش وزن فیزیولوژیکی آن‌ها جلوگیری کرده و در نتیجه، عمر انبارمانی و کیفیت میوه‌ها را افزایش داد.

(Medina-Santamarin et al., 2021a) علاوه بر این، مطالعه‌ای روی سیب (*Malus domestica* Borkh) نشان داد که ملاتونین باعث افزایش اندازه و وزن میوه‌ها می‌شود (Verde et al., 2022). در مجموع، نتایج این مطالعات نشان داد که ملاتونین می‌تواند به عنوان یک محرک رشد طبیعی، بر افزایش اندازه، وزن و عملکرد محصول درختان میوه تأثیرگذار باشد.

تأثیر کاربرد قبل و پس از برداشت ملاتونین بر برخی خصوصیات میوه طی انبارمانی درصد کاهش وزن میوه

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، با گذشت زمان کاهش وزن میوه افزایش می‌یابد. تیمارها به جز محلول‌پاشی ملاتونین در غلظت ۱۰۰، نقش مؤثری در جلوگیری از کاهش وزن میوه نشان داد. حداقل کاهش وزن در پایان آزمایش در غوطه‌وری ۲۰۰ میکرومولار و محلول‌پاشی ۲۰۰ میکرومولار مشاهده شد.



شکل ۲- اثر کاربرد قبل و بعد از برداشت ملاتونین بر درصد کاهش وزن میوه کینو در مدت انبارمانی

Figure 2- The effect of pre- and post-harvest application of melatonin on the weight loss percentage of kinnow mandarin fruit during storage (DMRT, $p \leq 0.05$)

افزایش اسیدیته میوه‌های تیمارشده نسبت به شاهد گردید (Molaei & Mohammad Abadi & Rastegar, 2024).

اسید آسکوربیک

براساس نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۴ میوه‌های محلول‌پاشی‌شده با غلظت ۱۰۰ میکرومولار در زمان برداشت حاوی اسید آسکوربیک بیشتری نسبت به سایر تیمارها بودند. علی‌رغم اینکه محتوای اسید آسکوربیک میوه به‌طور معنی‌داری طی انبارمانی کاهش یافت، اما برخی میوه‌های تیمارشده، محتوای اسید آسکوربیک بالاتری نسبت به شاهد داشتند. ۶۰ روز بعد از انبارمانی، حداکثر محتوای اسید آسکوربیک در محلول‌پاشی و غوطه‌وری ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین و حداقل آن در شاهد و غوطه‌وری ۲۰۰ میکرومولار ملاتونین مشاهده شد. مطالعات متعدد نشان دادند که تیمار میوه‌ها با ملاتونین قبل از برداشت، منجر به افزایش قابل توجهی در سطح اسید آسکوربیک آن‌ها می‌شود. به‌عنوان مثال، در گیلاس، تیمار با غلظت‌های ۰/۵ و ۰/۱ میلی‌مولار ملاتونین سبب افزایش محتوای اسید آسکوربیک در میوه‌های برداشت‌شده گردید (Xia et al., 2020). همچنین، در میوه انبه (*Mangifera indica* L.) رقم «گوئی‌قی»، تیمار با یک میلی‌مولار ملاتونین باعث حفظ بهتر اسید آسکوربیک در مقایسه با گروه شاهد شد (Njie et al., 2023). علاوه بر این، در مطالعات انجام‌شده روی توت سفید (Kakaei et al., 2024) و لیموترش (*Citrus limon*) (Al-Qurashi & Awad, 2023)، تیمار با ملاتونین منجر به افزایش معنی‌دار میزان ویتامین ث و بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها شد. همچنین، در میوه تمشک (*Rubus idaeus* L.) تیمار قبل از برداشت با ملاتونین باعث افزایش محتوای ویتامین ث گردید (Shah et al., 2024). در درختان انار، تیمار قبل از برداشت ملاتونین ۰/۱ میلی‌مولار باعث شد که میوه‌های انار در طول ذخیره‌سازی ویژگی‌های با کیفیت بالاتری را نسبت به گروه شاهد حفظ کنند. علاوه بر این اسید آسکوربیک در میوه‌های تیمارشده با ملاتونین بیشتر از میوه‌های تیمار نشده بود (Medina-Santamarin et al., 2021a).

فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

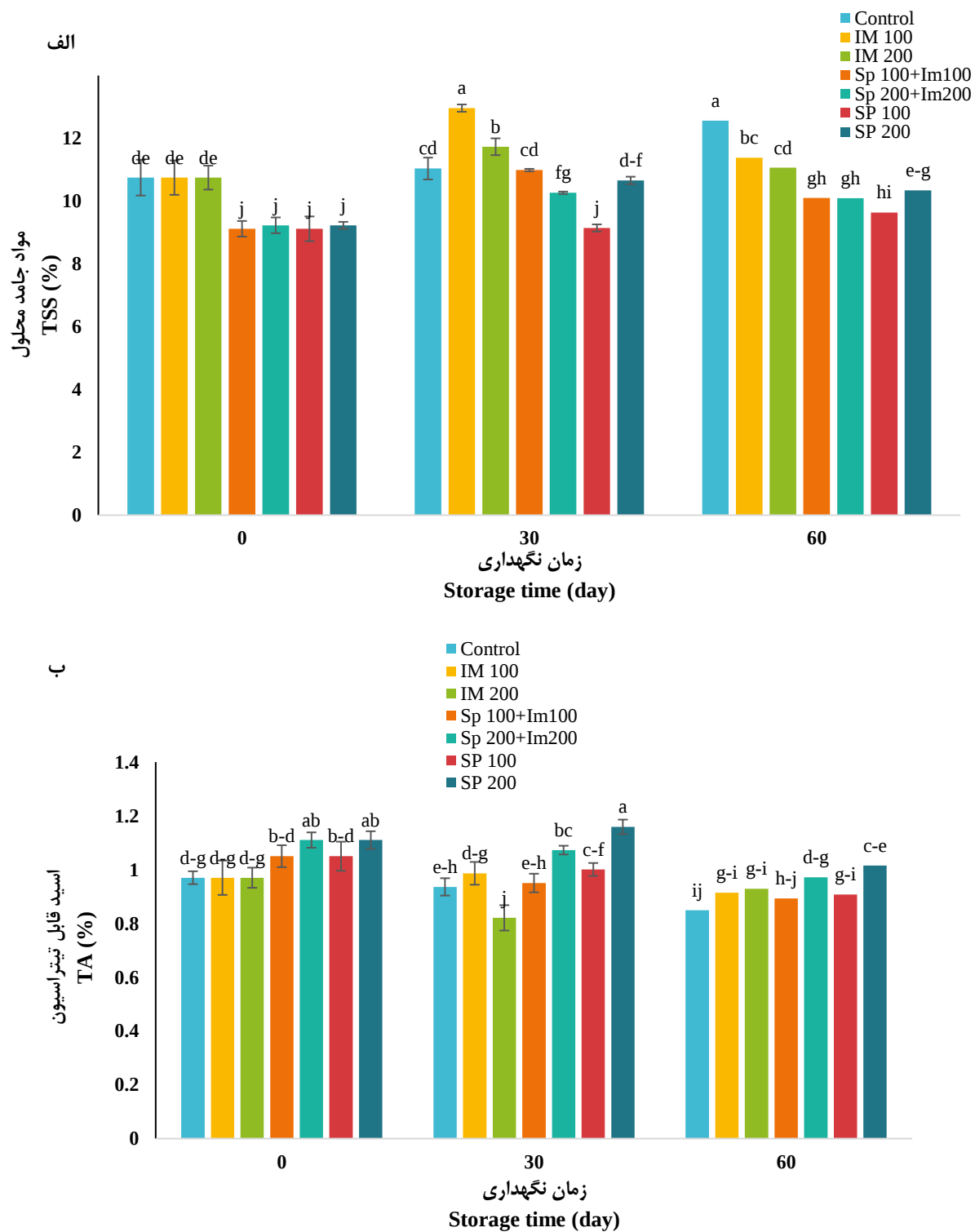
همان‌طور که در شکل ۵ الف مشاهده می‌شود، در زمان برداشت میوه‌های تیمار نشده دارای محتوای فنل بیشتری نسبت به میوه‌های تیمارشده بودند. ۶۰ روز بعد از انبارمانی به‌جز تیمار غوطه‌وری ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین که محتوای کمتری نسبت به شاهد نشان داد، تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان ندادند.

مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

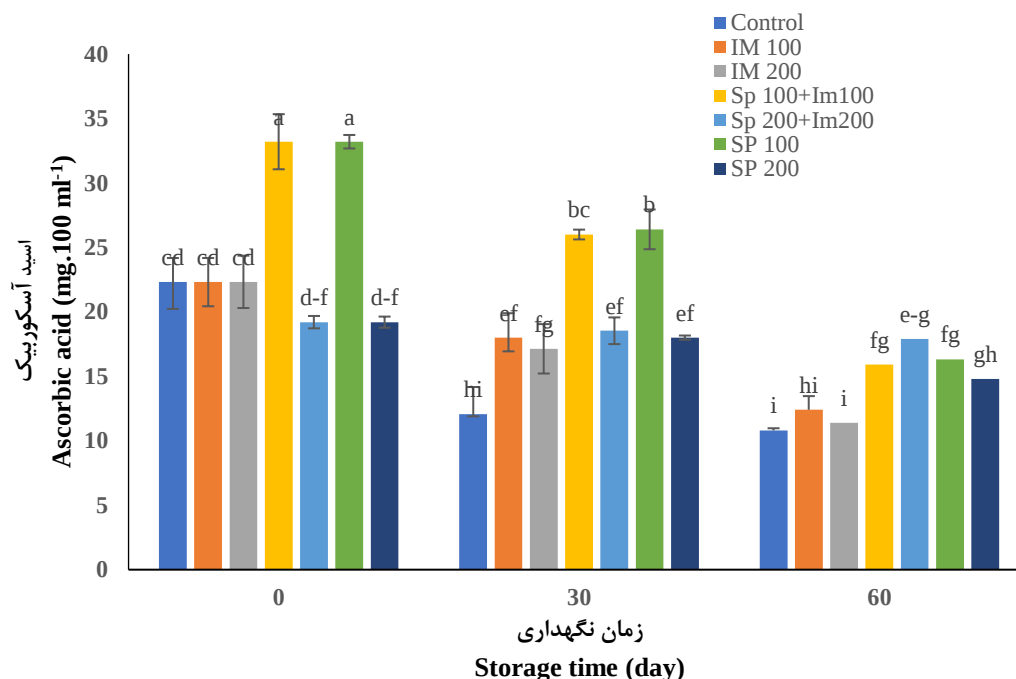
همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، محلول‌پاشی ملاتونین به‌طور معنی‌داری باعث کاهش محتوای مواد جامد محلول میوه و افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون میوه‌ها در زمان برداشت شد. با گذشت زمان، مواد جامد محلول میوه افزایش یافت، و تفاوت معنی‌داری بین شاهد و تیمارها مشاهده شد. ۶۰ روز بعد از انبارمانی، حداکثر (۱۲/۵۶) و حداقل (۱۰/۳۴) محتوای مواد جامد محلول به‌ترتیب در شاهد و محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار به دست آمد. برخلاف محتوای مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون طی انبارمانی نسبتاً کاهش یافت، به‌طوری‌که در پایان دوره آزمایش حداکثر (۰/۸۴) و حداقل (۱/۰۱) اسیدیته قابل تیتراسیون به‌ترتیب از محلول‌پاشی ملاتونین ۲۰۰ میکرولیتر و شاهد حاصل شد.

میزان مواد جامد محلول در طول انبارداری به‌دلیل تخریب دیواره سلولی، افزایش غلظت مواد خشک و کاهش مقدار آب‌میوه افزایش می‌یابد (Khorram et al., 2017). مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون دو شاخص مهم کیفیت میوه محسوب می‌شوند و به‌طور مستقیم بر طعم میوه و پذیرش آن توسط مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارند. مطالعات نشان دادند که کاربرد پس از برداشت ملاتونین، تغییرات در محتوای مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون میوه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال، در پژوهشی روی هلو، تیمار میوه با غلظت‌های مختلف ملاتونین باعث افزایش نسبی مواد جامد محلول و کاهش اسیدیته در طول انبارداری شد. همچنین، تغییرات مواد جامد محلول و نسبت اسیدیته در میوه‌های تیمارشده با ملاتونین کمتر از نمونه‌های شاهد بود (Kucuker et al., 2024). محلول‌پاشی پیش از برداشت ملاتونین با غلظت ۱۰۰ میکرومولار در دو نوبت (۳۰ و ۹۰ روز پس از شکوفه‌دهی کامل) نیز به‌طور قابل توجهی کیفیت میوه گلابی را بهبود بخشید، به‌طوری‌که منجر به افزایش محتوای قند و کاهش اسید میوه گردید (Zhao et al., 2023).

در مطالعه‌ای دیگر روی توت‌فرنگی، غوطه‌وری میوه‌ها در محلول ملاتونین منجر به حفظ اسیدیته و کاهش سرعت افزایش مواد جامد محلول کل شد (Promyou et al., 2023). به‌طور مشابه، در میوه کیوی، تیمار با ملاتونین باعث افزایش قابل توجه مواد جامد محلول و کاهش اسیدیته شد، در نتیجه نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته در مراحل بعدی انبارداری افزایش یافت (Zhang et al., 2023). محلول‌پاشی برگ‌ی ملاتونین با غلظت ۱۰۰ میکرومولار روی درختان نارنگی اورلاندو تانجلو (*Dancy tangerine*) منجر به



شکل ۳- اثر کاربرد قبل و بعد از برداشت بر محتوای مواد جامد محلول کل و اسیدیته قابل تیتراسیون آب میوه کینو
Figure 3- The effect of pre- and post-harvest application of melatonin on the total soluble solids (TSS) and TA contents of kinnow mandarin juice (DMRT, $p \leq 0.05$)



شکل ۴- اثر کاربرد قبل و بعد از برداشت ملاتونین بر محتوای اسید آسکوربیک آب میوه کینو

Figure 4- The effect of pre- and post-harvest application of melatonin on the ascorbic acid content of kinnow mandarin juice (DMRT, $p \leq 0.05$)

فیزیولوژیکی آن‌ها جلوگیری می‌کند. در مجموع، ملاتونین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی و مؤثر، می‌تواند برای بهبود کیفیت و افزایش عمر انبارمانی میوه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. سازوکار اصلی اثر ملاتونین، افزایش تولید ترکیبات فنلی و تقویت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها است.

تیمار ملاتونین در درختان زردآلو (*Prunus armeniaca* L.) منجر به کاهش کندتر محتوای فنلی در میوه‌های برداشت‌شده گردید. نتایج نشان دادند که ملاتونین می‌تواند ابزاری مؤثر برای بهبود کیفیت، افزایش عمر انباری و حفظ ترکیبات زیست‌فعال مانند فنل‌ها در میوه زردآلو باشد (Medina-Santamarina et al., 2021b). در میوه توت سفید (*Morus alba* L.) تیمار شده با ملاتونین، محتوای فنل کل و فلاونوئید کل در میوه تیمار شده به‌طور قابل توجهی بیشتر از میوه تیمار نشده بود که با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی همراه بود (Kakaei et al., 2024). همچنین استفاده از محلول پاشی ملاتونین قبل از برداشت (۱۰۰ میکرومولار دو هفته قبل از برداشت مورد انتظار، به‌طور معنی‌داری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شاه توت Elvira را در طول مدت ۱۲ روز نگهداری سرد کاهش داد. (Shah et al., 2023). کاربرد محلول پاشی برگی ملاتونین با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش محتوای ترکیبات فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در انگور (*Vitis vinifera* L.) رقم سرمه بی‌دانه زرشکی شد (Kök et al., 2024). تیمار ملاتونین در میوه گل

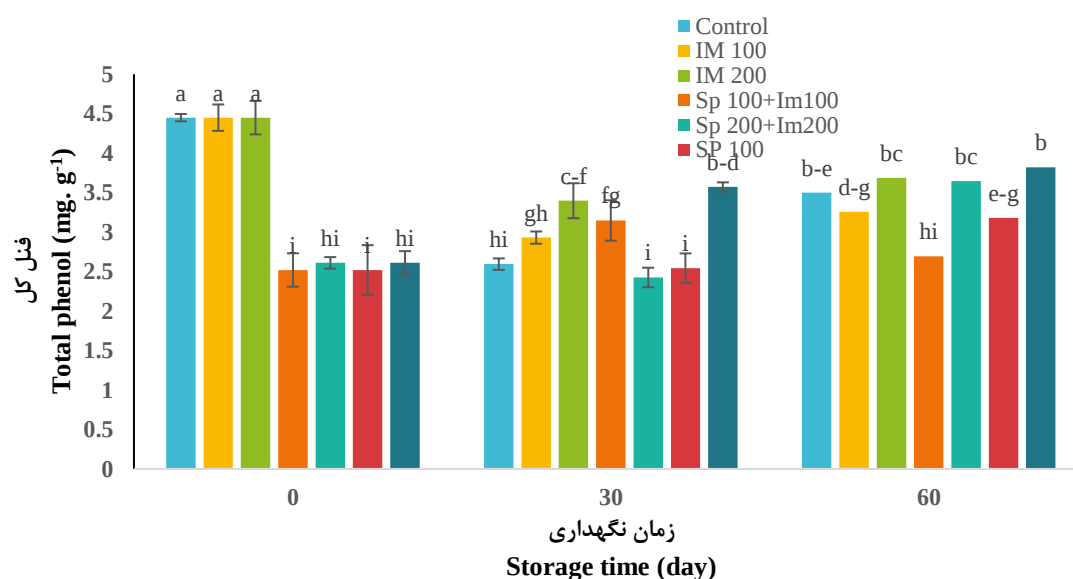
کمترین محتوای فلاونوئید در زمان برداشت در میوه‌های محلول‌پاشی‌شده با غلظت ۱۰۰ میکرومولار مشاهده شد. ۶۰ روز بعد از انبارمانی، بیشترین محتوای فلاونوئید به‌ترتیب در تیمارهای غوطه‌وری‌شده با غلظت‌های مختلف ملاتونین و کمترین محتوای فلاونوئید در تیمار محلول‌پاشی‌شده با ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار به دست آمد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه نارنگی کینو طی انبارمانی نسبتاً ثابت ماند و تفاوت معنی‌داری طی نگهداری مشاهده نشد. در پایان دوره انبارمانی، میوه‌های محلول‌پاشی‌شده با ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین به‌طور معنی‌داری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به شاهد نشان دادند (شکل ۶).

ترکیبات فنلی به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در میوه‌ها، در طول فرایند رسیدن افزایش می‌یابند، اما با آغاز پیری، میزان آن‌ها کاهش می‌یابد. ملاتونین نیز یک آنتی‌اکسیدان قوی است که با حذف گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) به سلول‌ها در برابر تنش اکسیداتیو کمک می‌کند (Liang et al., 2019). یکی از اثرات مهم ملاتونین بر روی میوه‌ها، افزایش محتوای ترکیبات فنلی است. مطالعات نشان دادند که تیمار میوه‌هایی مانند کیوی (*Actinidia deliciosa* L.)، پرتقال و انار با ملاتونین منجر به افزایش قابل توجهی در مجموع ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها می‌شود (Ma et al., 2021; Wang et al., 2019). این افزایش در ترکیبات فنلی، به حفظ کیفیت میوه‌ها در طول انبارداری کمک کرده و از پیری

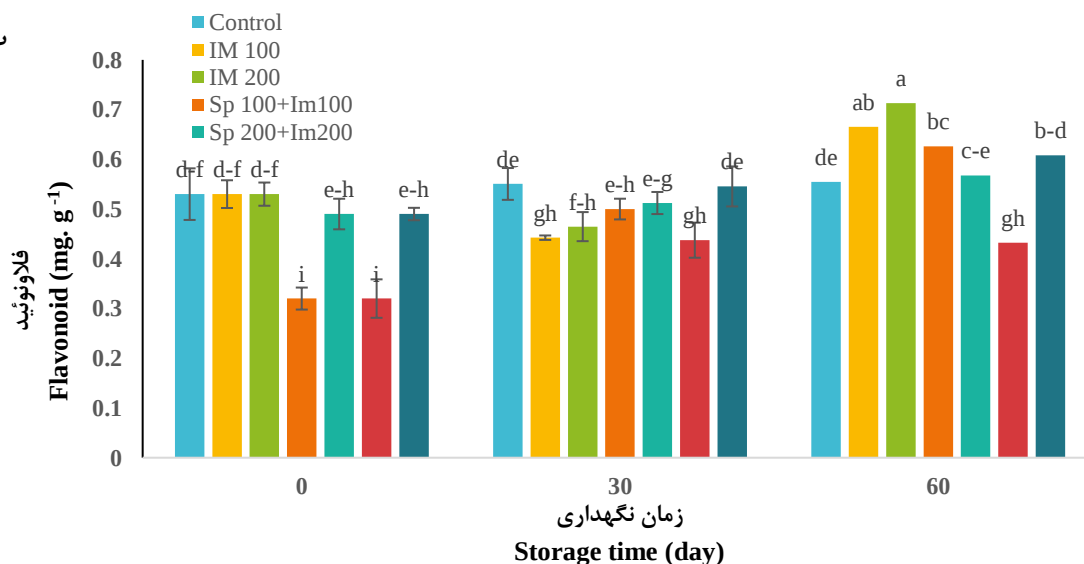
ساعتی (*Passiflora incarnata* L.)، تجمع فنل‌ها و فلاونوئیدها را در میوه شور در مراحل بعدی نگهداری بهبود بخشید. فنل کل و محتوای فلاونوئید میوه‌های شور تیمار شده در طول نگهداری بالا باقی ماندند (Cai et al., 2024). در میوه عناب، ملاتونین در غلظت‌های مناسب فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد و کیفیت میوه‌های عناب (*Ziziphus jujuba* L.) پس از برداشت را حفظ کرد (Tang et al., 2020). در میوه تمشک، استفاده از محلول‌پاشی ملاتونین قبل از برداشت (۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار)، سه روز قبل از بلوغ مورد انتظار برداشت، برای حفظ کیفیت و میزان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی میوه به‌میزان قابل توجهی بهتر بود

(Cola et al., 2024). در میوه زغال اخته (*Cornus mas*)، نتایج اثربخشی تیمار ملاتونین در دمای پنج درجه سانتی‌گراد به‌مدت سه هفته نشان داد که در مقایسه با گروه شاهد، تیمار ملاتونین باعث تولید بیش از حد پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدها شد و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد (Magri & Petriccione, 2022). در آزمایشی روی میوه گواوا (*Psidium guajava* L.)، تیمار ملاتونین پتانسیل آنتی‌اکسیدانی یعنی فنل کل، فلاونوئیدها و اسید آسکوربیک را همراه با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش داد (Menaka et al., 2024).

الف

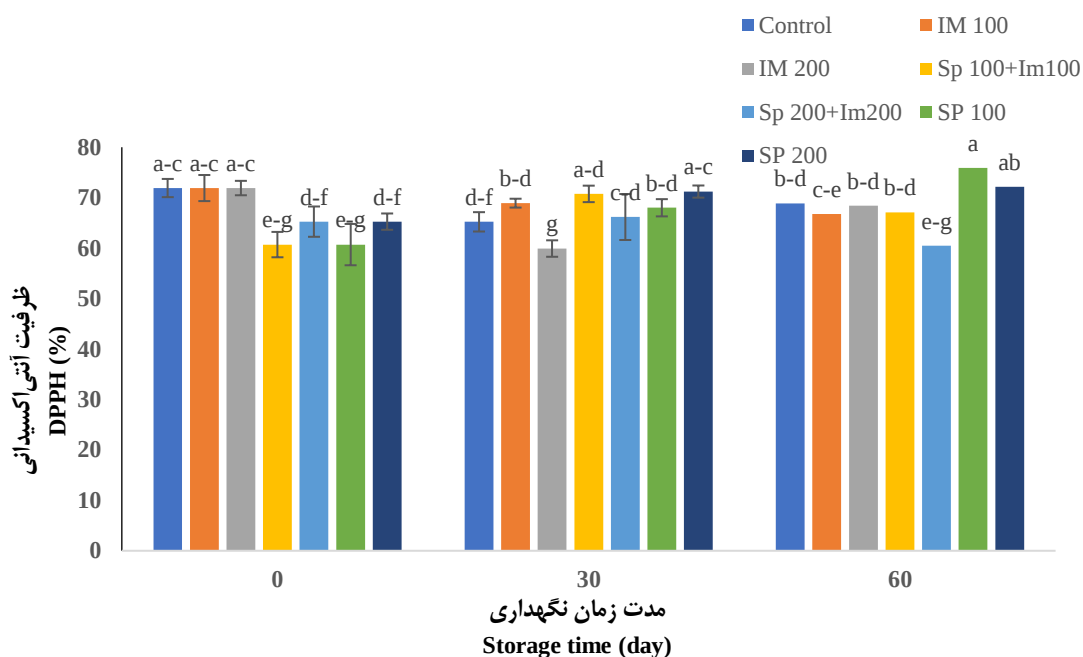


ب



شکل ۵- اثر کاربرد قبل و بعد از برداشت ملاتونین بر محتوای فنل و فلاونوئید آب‌میوه نارنگی کینو

Figure 5- The effect of pre- and post-harvest application of melatonin on the total phenol and flavonoid contents in kinnow mandarin juice (DMRT, $p \leq 0.05$)



شکل ۶- اثر کاربرد قبل و بعد از برداشت ملاتونین بر ظرفیت آنتی اکسیدانی آب میوه نارنگی کینو

Figure 6- The effect of pre- and post-harvest application of melatonin on the antioxidant capacity of Kinnow mandarin juice (DMRT, $p \leq 0.05$)

نتیجه گیری

شد. میوه‌های تیمار شده در مدت انبارمانی، ظرفیت آنتی اکسیدانی، محتوای فنل و فلاونوئید و اسید آسکوربیک بیشتر و کاهش وزن کمتری نسبت به میوه‌های شاهد نشان دادند. بنابراین، استفاده از ملاتونین به عنوان روشی برای بهبود کیفیت و بازارپسندی نارنگی کینو در طول نگهداری پس از برداشت پیشنهاد می‌شود (شکل ۷).

نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد ملاتونین اثر مثبتی بر میوه نارنگی کینو داشت. به طور کلی، تیمار محلول پاشی ملاتونین، به ویژه در غلظت ۱۰۰ میکرومولار، منجر به افزایش وزن میوه، حجم آب، مقدار اسید آسکوربیک، اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در زمان برداشت



شکل ۷- وضعیت ظاهری میوه‌های نارنگی کینو در ۳۰ و ۶۰ روز بعد از انبارمانی در دمای $5 \pm 1^\circ\text{C}$

Figure 7- Appearance of Kinnow mandarin fruits after 30 and 60 days of storage at $5 \pm 1^\circ\text{C}$

Control: شاهد، IM 100: غوطه‌وری در ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، IM 200: غوطه‌وری در ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار، SP100+IM 100: محلول پاشی قبل از برداشت با ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار به علاوه غوطه‌وری در ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار، SP 200+IM 200: محلول پاشی قبل از برداشت با ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار به علاوه غوطه‌وری در ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار، SP 100: محلول پاشی قبل از برداشت با ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، SP 200: محلول پاشی قبل از برداشت با ملاتونین ۲۰۰ میکرومولار. Control: untreated group. IM 100: immersion in 100 μM melatonin. IM 200: immersion in 200 μM melatonin. SP 100 + IM 100: pre-harvest spray with 100 μM melatonin plus immersion in 100 μM melatonin. SP 200 + IM 200: pre-harvest spray with 200 μM melatonin plus immersion in 200 μM melatonin. SP 100: pre-harvest spray with 100 μM melatonin. SP 200: pre-harvest spray with 200 μM melatonin.

سیاسگزاری

از دانشگاه هرمزگان و پارک علم و فناوری استان هرمزگان برای فراهم آوردن تجهیزات آزمایشگاهی و حمایت مالی این پژوهش تقدیر و تشکر می‌گردد.

References

1. Al-Qurashi, A.D., Awad, M.A., Elsayed, M.I., & Ali, M.A. (2024). Postharvest melatonin and chitosan treatments retain quality of 'Williams' bananas during ripening. *Journal of Food Science and Technology*, 61(1), 84-96. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05819-8>
2. Al-Qurashi, A.D., & Awad, M.A. (2023). Effect of exogenous melatonin and chitosan treatments on quality and biochemical changes of 'Balady Banzahir' limes during shelf life. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 33(2), 310-319. <https://doi.org/10.36899/JAPS.2023.2.0640>
3. Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: Characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3), 237-248.
4. Cai, S., Zhang, Z., Wang, J., Fu, Y., Zhang, Z., Khan, M.R., & Cong, X. (2024). Effect of exogenous melatonin on postharvest storage quality of passion fruit through antioxidant metabolism. *LWT*, 194, 115835. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115835>
5. Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M., & Chern, J.C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
6. Cola, G., Cavenago, B., Gardana, C.S., & Spinardi, A. (2024). Effect of elicitor treatments on quality attributes in blueberry: Implications of cultivar and environmental conditions. *Plants*, 13(8), 1105. <https://doi.org/10.3390/plants13081105>
7. Çolak, A.M. (2018). Effect of melatonin and gibberellic acid foliar application on the yield and quality of Jumbo blackberry species. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(6), 1242-1246. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.06.008>
8. Cortés-Montaña, D., Bernalte-García, M.J., Palomino-Vasco, M., Serradilla, M.J., & Velardo-Micharet, B. (2024). Effect of preharvest melatonin applications at dusk on quality and bioactive compounds content of early sweet cherries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(3), 1583-1590. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13040>
9. Debnath, B., Islam, W., Li, M., Sun, Y., Lu, X., Mitra, S., Hussain, M., Liu, S., & Qiu, D. (2019). Melatonin mediates enhancement of stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5), 1040. <https://doi.org/10.3390/ijms20051040>
10. Dong, F., & Wang, X. (2018). Guar gum and ginseng extract coatings maintain the quality of sweet cherry. *Lwt*, 89, 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.035>
11. FAO. (2018). Area cultivation, yield and production of citrus in the world. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
12. Hayati, P., Hosseinfarahi, M., Abdi, G., Radi, M., & Taghipour, L. (2023). Melatonin treatment improves nutritional value and antioxidant enzyme activity of *Physalis peruviana* fruit during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(3), 2782-2791. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-01819-6>
13. Kakaei, S., Saba, M.K., Mansouri, S., & Darvishi, H. (2024). Melatonin postharvest spray influence on white mulberry browning, storage life, and biochemical changes. *Postharvest Biology and Technology*, 213, 112947. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112947>
14. Khalid, S., Malik, A.U., Khan, A.S., Razzaq, K., & Naseer, M. (2016). Plant growth regulators application time influences fruit quality and storage potential of young Kinnow mandarin trees. *International Journal of Agriculture and Biology*, 18(3), 623-629. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0136>
15. Khorram, F., Ramezani, A., & Hosseini, S.M.H. (2017). Effect of different edible coatings on postharvest quality of 'Kinnow' mandarin. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 1827-1833. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9564-8>
16. Kök, D., Bal, E., Torçuk, A.İ., & Ergönül, O. (2024). The effects of pre-harvest melatonin applications on phytochemical properties of Crimson seedless grape variety (*V. vinifera* L.). *Black Sea Journal of Agriculture*, 7(2), 157-162. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1378445>
17. Kucuker, E., Gundogdu, M., Aglar, E., Ogurlu, F., Arslan, T., Ozcengiz, C.K., & Tekin, O. (2024). Physiological effects of melatonin on polyphenols, phenolic compounds, organic acids and some quality properties of peach fruit during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(1), 823-833. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02199-7>

18. Liang, D., Ni, Z., Xia, H., Xie, Y., Lv, X., Wang, J., Lin, L., Deng, Q., & Luo, X. (2019). Exogenous melatonin promotes biomass accumulation and photosynthesis of kiwifruit seedlings under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 246, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.058>
19. Liu, J., Yue, R., Si, M., Wu, M., Cong, L., Zhai, R., Yang, C., Wang, Z., Ma, F., & Xu, L. (2019). Effects of exogenous application of melatonin on quality and sugar metabolism in 'Zaosu' pear fruit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 1161-1169. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09921-0>
20. Lin, Y., Fan, L., Xia, X., Wang, Z., Yin, Y., Cheng, Y., & Li, Z. (2019). Melatonin decreases resistance to postharvest green mold on citrus fruit by scavenging defense-related reactive oxygen species. *Postharvest Biol Technology*, 153, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.03.016>
21. Lufu, R., Ambaw, A., & Opara, U.L. (2020). Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 272, 109519. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109519>
22. Ma, Q., Lin, X., Wei, Q., Yang, X., Zhang, Y.N., & Chen, J. (2021). Melatonin treatment delays postharvest senescence and maintains the organoleptic quality of 'Newhall' navel orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) by inhibiting respiration and enhancing antioxidant capacity. *Scientia Horticulturae*, 286, 110236. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110236>
23. Magri, A., & Petriccione, M. (2022). Melatonin treatment reduces qualitative decay and improves antioxidant system in highbush blueberry fruit during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(10), 4229-4237. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11774>
24. Medina-Santamarina, J., Serrano, M., Lorente-Mento, J.M., García-Pastor, M.E., Zapata, P.J., Valero, D., & Guillén, F. (2021a). Melatonin treatment of pomegranate trees increases crop yield and quality parameters at harvest and during storage. *Agronomy*, 11(5), 861. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050861>
25. Medina-Santamarina, J., Zapata, P.J., Valverde, J.M., Valero, D., Serrano, M., & Guillén, F. (2021b). Melatonin treatment of apricot trees leads to maintenance of fruit quality attributes during storage at chilling and non-chilling temperatures. *Agronomy*, 11(5), 917. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050917>
26. Mahawar, M.K., Jalgaonkar, K., Bibwe, B., Bhushan, B., Meena, V.S., & Sonkar, R.K. (2020). Post-harvest processing and valorization of Kinnow mandarin (*Citrus reticulata* L.): A review. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 799-815. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04083-z>
27. Menaka, M., Asrey, R., Meena, N.K., Vargheese, E., Sethi, S., Ahamad, S., & Goswami, A.K. (2024). Effect of melatonin on biochemical changes, antioxidant system and oxidative membrane damage of Indian guava (cv. Barafkhana) during cold storage. *South African Journal of Botany*, 169, 95-108. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.007>
28. Meng, J.F., Shi, T.C., Song, S., Zhang, Z.W., & Fang, Y.L. (2017). Melatonin in grapes and grape-related foodstuffs: A review. *Food Chemistry*, 231, 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.137>
29. Molaei Mohammad Abadi, S., & Rastegar, S. (2024). Preharvest melatonin and postharvest xanthan gum coating maintain the quality of Orlando tangelos during storage. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(3), 49-64. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.87553.1324>
30. Njie, A., Dong, X., Liu, Q., Lu, C., & Pan, X. (2023). Melatonin treatment inhibits mango fruit (cv. 'Guiqi') softening by maintaining cell wall and reactive oxygen metabolisms during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 205, 112500. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112500>
31. Ordonez, A.A.L., Gomez, J.D., & Vattuone, M.A. (2006). Antioxidant activities of *Sechium edule* (Jacq.) Swartz extracts. *Food Chemistry*, 97(3), 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.024>
32. Promyou, S., Raruang, Y., & Chen, Z.Y. (2023). Melatonin treatment of strawberry fruit during storage extends its post-harvest quality and reduces infection caused by *Botrytis cinerea*. *Foods*, 12(7), 1445. <https://doi.org/10.3390/foods12071445>
33. Saini, R.K., Ranjit, A., Sharma, K., Prasad, P., Shang, X., Gowda, K.G.M., & Keum, Y.S. (2022). Bioactive compounds of citrus fruits: A review of composition and health benefits of carotenoids, flavonoids, limonoids, and terpenes. *Antioxidants*, 11(2), 239. <https://doi.org/10.3390/antiox11020239>
34. Shah, H.M. S., Singh, Z., Hasan, M.U., Kaur, J., Afrifa-Yamoah, E., & Woodward, A. (2024). Melatonin application suppresses oxidative stress and maintains fruit quality of cold stored 'Esperanza' raspberries by regulating antioxidant system. *Postharvest Biology and Technology*, 207, 112597. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112597>
35. Shah, H.M.S., Singh, Z., Hasan, M.U., Afrifa-Yamoah, E., & Woodward, A. (2023). Preharvest melatonin application alleviates red drupelet reversion, improves antioxidant potential and maintains postharvest quality of 'Elvira' blackberry. *Postharvest Biology and Technology*, 203, 112418. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112418>

36. Tang, Q., Li, C., Ge, Y., Li, X., Cheng, Y., Hou, J., & Li, J. (2020). Exogenous application of melatonin maintains storage quality of jujubes by enhancing anti-oxidative ability and suppressing the activity of cell wall-degrading enzymes. *Lwt*, 127, 109431. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109431>
37. Verde, A., Míguez, J.M., & Gallardo, M. (2022). Role of melatonin in apple fruit during growth and ripening: Possible interaction with ethylene. *Plants*, 11(5), 688. <https://doi.org/10.3390/plants11050688>
38. Wang, X., Liang, D., Xie, Y., Lv, X., Wang, J., & Xia, H. (2019) Melatonin application increases accumulation of phenol substances in kiwifruit during storage. *Emirates Journal Food Agriculture*. 31(5). 361–367.
39. Wang, Y., Zhang, J., Ma, Q., Luo, X., & Deng, Q. (2022). Exogenous melatonin treatment on post-harvest jujube fruits maintains physicochemical qualities during extended cold storage. *PeerJ Publishing* , 10, e14155. <https://doi.org/10.7717/peerj.14155>
40. Xia, H., Shen, Y., Shen, T., Wang, X., Zhang, X., Hu, P., Liang, D., Lin, L., Deng, H., Wang, J., Deng, Q., & Lv, X. (2020). Melatonin accumulation in sweet cherry and its influence on fruit quality and antioxidant properties. *Molecules*, 25(3), 753. <https://doi.org/10.3390/molecules25030753>
41. Zhang, Y., Tang, H., Lei, D., Zhao, B., Zhou, X., Yao, W., Fan, J., Lin, Y., Chen, Q., Wang, Y., & Zhang, Y. (2023). Exogenous melatonin maintains postharvest quality in kiwiberry fruit by regulating sugar metabolism during cold storage. *LWT*, 174, 114385. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114385>
42. Zhao, L., Yan, S., Wang, Y., Xu, G., & Zhao, D. (2023). Evaluation of the effect of preharvest melatonin spraying on fruit quality of 'Yuluxiang' pear based on principal component analysis. *Foods*, 12(18), 3507. <https://doi.org/10.3390/foods12183507>