

Effects of pre-harvest application of melatonin on quality characteristics of Cornelian cherry

Mehri Saadati ¹, Jafar Hajilou^{2✉} and Saheb Ali Bolandnazar ²

¹Former MSc Students, Department of Horticultural, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Professor, Department of Horticultural, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

✉ Corresponding author: j_hajilou@tabrizu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 2024-12-07

Accepted: 2025-07-23

Published: 2025-08-05

Keywords:

Antioxidant, Ascorbic acid, Total phenol, Total flavonoid

ABSTRACT

Background: Fruit quality is an important factor in marketing, consumer acceptance, and reducing fruit waste in horticultural crops. Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) is one of the important products in the agricultural industry and is commonly used to meet food and industrial needs. One of the methods to improve fruit quality is to use melatonin in the pre-harvest stage. Recently, melatonin has been proposed as an antioxidant and anti-stress hormone in plants.

Aims: The purpose of this research is to investigate the effects of pre-harvest melatonin treatments on some fruit quality characteristics in cornelian cherry.

Methods: The experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications. In this experiment, cornelian cherry trees were sprayed with melatonin at concentrations of 0, 150, 200, and 250 μ M, 10 days before harvesting. Fruits were harvested at the physiological ripening stage, and traits such as total soluble solids (TSS), pH, titratable acidity (TA), total phenol and flavonoid contents, ascorbic acid, and total antioxidant capacity were evaluated.

Results: The results of this experiment were showed that the applied concentrations of melatonin had significant effects on total soluble solids (TSS), pH, titratable acidity, total phenol, and flavonoid contents, ascorbic acid, and total antioxidant capacity compared to the control. The highest levels of total soluble solids, fruit extract pH, titratable acidity, vitamin C (ascorbic acid), total phenol and flavonoid contents, and total antioxidant capacity were observed in fruits treated with 250 μ M melatonin, while the lowest values were recorded in the control fruits.

Conclusion: Based on the obtained results, melatonin can be considered an effective agent for maintaining and preserving the quality of cornelian cherry fruit in modern fruit production industry.



Extended Abstract

Introduction: Fruit quality is an important factor in market preference, consumer acceptance and reducing fruit waste in orchard plants. Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) are one of the important products in the agricultural industry and are commonly used to meet food and industrial needs. Cornelian cherry are known to be a rich source of vitamin C and polyphenols (Szczepaniak et al., 2019). With the increasing demand for these fruits, which are considered healthy foods, extensive studies have been initiated on the natural population and breeding of Cornelian cherry (Gozel, 2021). Previous studies have shown that the therapeutic effects of Cornelian cherry include: antioxidant, antimicrobial, anti-diabetic, anti-arteriosclerotic, anti-obesity, anti-glaucoma, cell-protective, neuroprotective, cardio protective, hepatoprotective, nephroprotective, fat-reducing and blood pressure- lowering properties (Bayram and Ozturkjan, 2020). Melatonin (N-acetyl-5-methoxytryptamine) is a potent antioxidant that scavenges free radical species and stimulates antioxidant enzymes (Fracasiti et al., 2019). Melatonin is a natural hormone produced by plants and plays an important role in plant physiological processes. Studies have also shown that melatonin can act as an anti-aging agent or slow down the aging process. Application of melatonin to cherry trees increases photosynthetic pigments, carbohydrate, and proline content of roots and makes the plant resistant to stresses (Saropoulou et al., 2012). Melatonin regulates cytokinin levels through auxin induction and shoot production (Arnau, 2014). In pomegranate fruit, foliar application of melatonin has been shown to increase shelf life, maintain quality, and increase yield (Garcia-Pastor et al., 2017). Researchers reported that the external application of melatonin to strawberries and lychees increased the concentration of total phenolics and anthocyanins, and also maintained the nutritional quality of the fruits (Zhang et al., 2018; Aghdam and Fard, 2017). Melatonin inhibits the activity of senescence-related enzymes through the biosynthesis of antioxidants and is known as the first line of defense to protect plants against biotic and abiotic stresses (Liang et al., 2018). Also, the use of melatonin treatment significantly delays the post-harvest senescence process during storage period and therefore increases the shelf life (Zi et al., 2021). Studies have shown that melatonin is able to significantly maintain some quality characteristics of fruits, including carotenoids,

respiration rate, titratable acidity, weight loss, soluble sugars, organic acids and volatiles (Liu et al., 2019; Liu et al., 2020; Tijero et al., 2019). Recently, external melatonin treatment has been tested as an effective treatment in accelerating natural ripening and improving the postharvest quality of tomato fruit (Sun et al., 2015). Melatonin application delay postharvest senescence and increase cold tolerance of peach fruit (Kao et al., 2016). Melatonin treatment also reduces postharvest decay and maintains the nutritional quality of ripe strawberry fruit (Aghdam and Fard, 2017) and reduces the physiological deterioration of cassava storage roots (Ma et al., 2016). It has also been reported that melatonin treatment can delay the ripening of pear fruits by reducing the expression of related genes (Zhai et al., 2018). Exogenous melatonin can significantly increase the endogenous melatonin content in a variety of fruits and regulate the expression of genes related to melatonin synthesis (Li et al., 2019; Xu et al., 2018). The use of melatonin, by affecting the Yang cycle and consequently altering the ethylene content, improved the ripening of banana fruit (Hu et al., 2017). Melatonin treatment helped maintain a higher ratio of unsaturated fatty acid and saturated fatty acid content in peach postharvest (Gao et al., 2018) and tomatoes (Jentizadeh et al., 2019) preventing membrane lipid peroxidation. These findings highlight the potential of melatonin as a beneficial treatment for improving fruit quality and shelf life, offering opportunities for optimizing post-harvest methods and preserving the freshness and nutritional value of fruit. (Arabiya et al., 2022; Llorente-Mento 2021). Previous research on cherry fruits showed that the use of melatonin increased fruit quality by enhancing the levels of total soluble solids, total phenol and ascorbic acid (Xia et al., 2020). The external use of melatonin can increase endogenous melatonin levels and enhance its effects on various physiological processes (Ball, 2021). In this regard, changes in color, firmness, total soluble solids (TSS) and titratable acidity (TA) of strawberry fruit were significantly delayed after treatment with melatonin (Liu et al., 2018). The external application of melatonin can also stimulate the ascorbic acid cycle in post-harvest peaches by re-regulating the expression and transcription of antioxidant-related enzymes, this stimulation leads to an increase in ascorbic acid levels and increase in the long-term shelf life and vegetables after harvest (Song et al., 2016; Kao et al., 2018). Pre-harvest treatment with melatonin at concentrations of 0.1 or 1 mM has shown a

significant effects on yield and improvement of pomegranate fruit quality during harvest and post-harvest storage (Medina-Santamarin et al., 2021).

Materials and Methods: This experiment was conducted in a randomized complete block design with four melatonin concentrations (0, 150, 200, 250 μ M) and four replications (north, south, east, west directions of the trees). Foliar spraying was performed 10 days before harvest and after harvest, the fruits were uniformly transferred to the laboratory and quality parameters were evaluated. pH values were measured using a pH meter (Tabatabai, 2018). Soluble solids were measured using a digital refractometer based on Brix. The titration method with 0.1 normal sodium was used to measure total acidity (Mustafi and Najafi, 2014). As explained, the titration method with indophenol was used to measure ascorbic acid (AOAC, 2000). Total phenolic content was calculated using the Folin-Ciocaltean method (Lin and Tang, 2007). Total flavonoid content was measured using the aluminum chloride colorimetric method (Chang et al., 2002). And to determine the antioxidant capacity of fruit extracts, the DPPH method was used (Kolova et al., 2002). In the end, SAS software and Duncan's multiple range test were used to compare the means.

Results and discussion: Our results showed that the increase in pH following melatonin treatment with (250 μ M) was significantly greater than the control. The use of melatonin at a concentration of (250 μ M) led to an increase in TSS and TA, similar results were obtained regarding the increase in soluble solids and glucose caused by melatonin treatment in tomato fruit (Sun et al., 2015). In another study, it was reported that in pear fruit, external melatonin treatment increased the amount of soluble sugars, especially sucrose and sorbitol in the fruit, which was due to lower expression of the invertase gene and increased sucrose phosphate synthase activity under the influence of external melatonin treatment (Liu et al., 2019). Specifically, in tomato fruit, it was reported that 0.1 mM melatonin treatment had a significant difference from the control and increased amount of soluble solids (Liu et al., 2016). The use of external

melatonin may lead to quality maintenance through the mechanism of respiratory inhibition. As a result, fruit quality is maintained by slowing down the rate of degradation of nutrients such as TA, which has been reported for broccoli (Zhou et al., 2018) and peach (Gao et al., 2016). The antioxidant capacity of cornelian cherry treated with melatonin at a concentration (250 μ M) remained higher than the control. Many studies show that melatonin treatment helps to improve antioxidant activity in oranges by increasing the amounts of phenolic compounds and the content of flavonoid compounds (Saro et al., 2015). In addition, immersion of pears with melatonin enhances the enzymatic antioxidant system and inhibits free radical activity (Zhao et al., 2018). Foliar application of melatonin induced antioxidant activity and increased proline levels to counteract stress with in grape fruit (Wang et al., 2013). As shown in this study, the amount of total flavonoids, total phenols and ascorbic acid increased at a concentration of 250 μ M. (Zhang et al., 2018) noted that compared to the control fruit, the total flavonoid levels in melatonin-treated litchi fruit were significantly higher during storage, period and the levels of phenolic compounds was also significantly increased by melatonin treatment. Similar results were reported for delayed ascorbic acid in melatonin-treated plums by Ball in 2019, which suggested that the effect of melatonin treatment on preserving ascorbic acid content could be attributed to the reduction or delay of ascorbate oxidase activity. Melatonin treatment in orange fruit preserved total phenolics during storage (Ma et al., 2021).

Conclusion: In general, different levels of melatonin had a significant effect on most of the evaluated traits and improved the quality traits of cornelian cherry fruit. According to of results obtained the use of melatonin at a concentration of 250 μ M on cornelian cherry fruit increased the quality traits of the fruit. Therefore, melatonin can be used as a suitable and effective hormone in maintaining the quality traits of cornelian cherry fruit.

اثرات کاربرد قبل از برداشت ملاتونین بر ویژگی‌های کیفی زغال اخته

مهری سعادت^۱، جعفر حاجیلو^۲ ✉ و صاحبعلی بلندنظر^۲

^۱ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲ استاد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

✉ مسئول مکاتبه: j_hajilou@tabrizu.ac.ir

چکیده

مشخصات مقاله

زمینه مطالعاتی: کیفیت میوه یک شاخص مهم در بازار پسندی، قابلیت پذیرش از طرف مصرف کننده و کاهش ضایعات میوه در گیاهان باغی می باشد. زغال اخته (*Cornus mas* L.) یکی از محصولات مهم در صنعت کشاورزی است و معمولاً برای تأمین نیازهای غذایی و صنعتی استفاده می شود یکی از روش های بهبود ویژگی های کیفی میوه استفاده از ملاتونین در مرحله قبل از برداشت می باشد. اخیراً ملاتونین به عنوان یک هورمون آنتی اکسیدان و ضد استرس در گیاهان مطرح شده است.

هدف: هدف این پژوهش بررسی اثرات تیمارهای قبل از برداشت ملاتونین بر برخی ویژگی های کیفی میوه زغال اخته است.

روش کار: آزمایشی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. در این مطالعه، درختان زغال اخته ده روز قبل از برداشت با غلظت های صفر، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار ملاتونین محلول پاشی شدند. میوه ها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی برداشت و صفاتی نظیر درصد مواد جامد محلول کل (TSS)، pH، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، محتوای فنل کل، فلاونوئید کل، مقدار اسید آسکوربیک و ظرفیت آنتی اکسیدانی کل میوه ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. **نتایج:** نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که غلظت های به کار رفته ملاتونین تفاوت معنی داری در میزان مواد جامد محلول، pH، اسیدیته قابل تیتراسیون، محتوای فنل کل، فلاونوئید کل، مقدار اسید آسکوربیک، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل با شاهد داشتند، به این معنی که بیشترین میزان مواد جامد محلول کل، pH، عصاره میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون کل، ویتامین ث (اسید آسکوربیک)، فنل کل، فلاونوئید، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل در میوه های تیمار شده با ملاتونین ۲۵۰ میکرومولار و کمترین آن ها در میوه های شاهد ثبت گردید.

نتیجه گیری کلی: با توجه به نتایج بدست آمده ملاتونین می تواند به عنوان یک ماده موثر برای حفظ و نگهداری کیفیت میوه زغال اخته در صنعت میوه کاری مدرن مورد استفاده قرار گیرد.

نوع مقاله:

علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۳/۹/۱۷

پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۱

انتشار: ۱۴۰۴/۵/۱۵

کلید واژه:

آنتی اکسیدان، اسید

اسکوربیک، فنل کل،

فلاونوئید کل

مقدمه

زغال اخته با نام علمی *Cornus mas* L. به عنوان یکی از محصولات مهم در بخش کشاورزی معمولاً برای تأمین نیازهای غذایی و دارویی کاربرد دارد. اهمیت حفظ و بهبود کیفیت زغال اخته به منظور افزایش ارزش تجاری آن برای کشاورزان و تولیدکنندگان مشخص است. زغال‌اخته به داشتن منبع غنی از ویتامین ث و پلی فنول‌ها معروف است (Szczepaniak et al., 2019). با افزایش تقاضا برای این نوع میوه‌ها که به عنوان غذای سالم معرفی می‌شوند، مطالعات گسترده‌ای در مورد جمعیت طبیعی و پرورش زغال اخته آغاز شده است (Güzel, 2021). یکی از روش‌ها برای بهبود ویژگی‌های کیفی میوه استفاده از ملاتونین، قبل از برداشت میوه می‌باشد. ملاتونین (N-acetyl-5-methoxytryptamine) یک آنتی‌اکسیدان قوی است که گونه‌های رادیکال آزاد را مهار و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را تحریک می‌کند (Fracassetti et al., 2019). ماده مذکور به عنوان یک هورمون طبیعی توسط گیاهان تولید و در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان نقش مهمی دارد. همچنین، مطالعات نشان داده است که این هورمون می‌تواند به عنوان یک ماده ضد پیری عمل کرده و یا فرآیند پیری را کند نماید. کاربرد ملاتونین در درختان گیلاس رنگدانه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات و محتوای پروتئین ریشه‌ها را افزایش داده و گیاه را در برابر استرس‌ها مقاوم می‌کند (Saropoulou et al., 2012). این ترکیب از طریق القای اکسین و تولید اندام‌های هوایی میزان سیتوکینین را تنظیم می‌کند (Arnao, 2014). در میوه انار، محلول پاشی ملاتونین سبب ماندگاری، حفظ کیفیت و افزایش عملکرد شده است (Garcia-Pastor et al., 2017). محققان گزارش کردند کاربرد خارجی ملاتونین در توت فرنگی و لیچی به افزایش غلظت کل فنل‌ها و آنتوسیانین‌ها منجر شد و همچنین کیفیت غذایی میوه‌ها حفظ شد (Zhang et al., 2018; Aghdam and Fard, 2017).

ملاتونین از طریق بیوسنتز آنتی‌اکسیدان‌ها، فعالیت آنزیم‌های مربوط به پیری را مهار می‌کند و به عنوان اولین خط دفاعی برای محافظت گیاهان در برابر استرس‌های زنده و غیر زنده

شناخته شده است (Liang et al., 2018). همچنین استفاده از تیمار ملاتونین به طور قابل توجهی فرآیند پیری پس از برداشت را در طول دوره نگهداری به تأخیر می‌اندازد و بنابراین باعث افزایش عمر انبارمانی می‌شود (Ze et al., 2021). مطالعات نشان داده‌اند که ملاتونین قادر است به طور قابل توجهی برخی از ویژگی‌های کیفی میوه‌ها را حفظ کند این ویژگی‌ها شامل میزان کاراتنوئیدها، سرعت تنفس، اسیدیته قابل تیتراسیون، کاهش وزن، مقدار قند محلول، اسیدهای آلی و مواد فرار می‌باشد (Liu et al., 2019; Liu et al., 2020; Tijero et al., 2019). اخیراً تیمار خارجی ملاتونین به عنوان یک تیمار مؤثر در رسیدن و بهبود کیفیت میوه گوجه‌فرنگی مورد آزمایش قرار گرفته است (Sun et al., 2015). استفاده از ملاتونین در به تأخیر انداختن پیری پس از برداشت و افزایش تحمل سرمای میوه هلو کمک می‌کند (Cao et al., 2016). همچنین تیمار ملاتونین منجر به کاهش پوسیدگی پس از برداشت و حفظ کیفیت تغذیه‌ای میوه توت‌فرنگی شده (Aghdam and Fard, 2017) و زوال فیزیولوژیکی ریشه‌های کاساوا را کاهش می‌دهد (Ma et al., 2016). و همچنین گزارش شده است که تیمار با ملاتونین می‌تواند رسیدن میوه‌های گلابی را با کاهش بیان ژن‌های مرتبط به تأخیر بیندازد (Zhai et al., 2018). محلول پاشی ملاتونین می‌تواند به طور قابل توجهی محتوای ملاتونین درون‌زا را در انواع میوه‌ها افزایش دهد و بیان ژن‌های مرتبط با سنتز ملاتونین را تنظیم کند (Li et al., 2019; Zhu et al., 2018). با توجه به نرم شدن سریع میوه زغال اخته و فسادپذیری بیشتر و نبود پژوهش‌های کافی در خصوص این میوه، اهمیت کیفیت میوه در مقایسه با میوه‌های دیگر، بیشتر می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی کاربرد قبل از برداشت ملاتونین بر ویژگی‌های کیفی میوه زغال اخته می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در تابستان ۱۴۰۱، درختان زغال اخته موجود در کلکسیون ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان وابسته به دانشگاه تبریز با

موج ۴۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. و با استفاده از منحنی استاندارد کوئرسیتین مقدار فلاونوئید کل بدست آمد (Chang et al., 2002).

ظرفیت آنتی اکسیدانی

جهت تعیین ظرفیت آنتی اکسیدانی عصاره میوه‌ها از روش DPPH (Koleva et al., 2002) استفاده شد. برای این منظور مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره هر نمونه، ۹۰۰ میکرولیتر متانول خالص و ۱۰۰۰ میکرولیتر محلول DPPH با هم مخلوط کرده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در شرایط تاریکی نگهداری شد. سپس در طول موج ۵۱۷ نانومتر عدد مربوط توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. ظرفیت آنتی اکسیدانی عصاره‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH محاسبه شد.

مقدار اسید آسکوربیک میوه

برای اندازه‌گیری مقدار ویتامین ث میوه‌ها از روش تیتراسیون با ۲ و ۶- دی کلروفنل ایندوفنل استفاده شد و مقدار اسید آسکوربیک بر حسب میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر محاسبه شد (AOAC, 2000).

تجزیه آماری

این پژوهش با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تیمار و ۴ تکرار انجام شد. نرمال بودن داده‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

pH عصاره میوه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به pH عصاره میوه‌ها نشان داد که اثرات ملاتونین در سطح یک درصد اختلاف معنی داری دارد (جدول ۱). با افزایش غلظت ملاتونین، میزان pH میوه‌ها از ۳/۱۹ در تیمار شاهد به ۳/۴۴ در تیمار ۲۵۰ میکرومولار ملاتونین افزایش یافته است. در حالی که سه تیمار

ملاتونین در غلظت‌های صفر، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار، ده روز قبل از برداشت و در چهار تکرار محلول پاشی شدند. میوه‌ها بلافاصله پس از برداشت در مرحله رنگ گیری اولیه و یکنواختی شکل و رنگ، به آزمایشگاه بیولوژی گلدهی و فیزیولوژی رشد و نمو میوه منتقل شدند. و سپس میوه‌های یکنواخت جهت بررسی اثر تیمار مورد ارزیابی قرار گرفتند.

صفات مورد ارزیابی

pH عصاره میوه، میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) و درصد مواد جامد محلول کل (TSS)

pH عصاره میوه با استفاده از pH متر دیجیتالی (HI 9811) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون از روش تیتراسیون با سود نرمال ۰/۱ نرمال استفاده شد (Mostofi and Najafi, 2005). میزان مواد جامد محلول کل میوه توسط دستگاه رفاکتمتر دیجیتالی (ATAGO Brix 0-53%) اندازه‌گیری و به صورت درصد بیان شد.

محتوای فنل کل

محتوای فنل کل بر اساس روش فولین سیکالتو اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۳۵ میکرولیتر عصاره میوه استخراج شده با متانول، با ۳۱۵ میکرولیتر آب مقطر و ۱۰۵۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد مخلوط شد و سپس ۵۶۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد اضافه شد. پس از ۱/۵ ساعت نگهداری در شرایط تاریکی و دمای اتاق، میزان جذب عصاره در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و به صورت میلی گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه بیان شد (Lin and Tang, 2007).

محتوای فلاونوئید کل

محتوای فلاونوئید کل با استفاده از روش رنگ سنجی کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۱۰۰ میکرولیتر عصاره میوه استخراج شده با متانول، با ۱۰۰ میکرولیتر آب مقطر، ۶۰۰ میکرولیتر کتانول ۹۵ درصد مخلوط شد و سپس ۴۰ میکرولیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد، ۴۰ میکرولیتر استات پتاسیم یک مولار و ۱۱۲۰ میکرولیتر آب مقطر به آن اضافه و تکان داده شد. پس از ۴۰ دقیقه نگهداری در تاریکی در طول

دیگر ملاتونین در یک سطح قرار گرفتند و اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۲).

از ویژگی‌های مهم در تجارت محصولات، میزان قند هست که این میزان قند تحت تأثیر مقدار و اجزای ترکیبات درون میوه است (Basson et al., 2010). براساس مطالعات، محققان به این نتیجه رسیده‌اند که در متابولیسم و حفظ تعادل اسمزی در سلول‌ها و در نهایت بافت گیاه مواد جامد محلول نقش بسیار ویژه‌ای دارند (Solís-Muñoz et al., 2011). علاوه بر این، آزمایشات صورت گرفته نشان می‌دهد ملاتونین با تحت تأثیر قرار دادن بیان ژن‌های مرتبط با سنتز قند، ممکن است میزان قند کل را تنظیم کند (Farouk and Al-Amri, 2019). به طور مشخص در میوه گوجه فرنگی گزارش شده است که تیمار ملاتونین ۰/۱ میلی‌مولار تفاوت معنی داری با شاهد داشته و میزان مواد جامد محلول افزایش داشته است (Liu et al., 2016). در یک پژوهش دیگر گزارش شده است که در میوه گلابی تیمار خارجی ملاتونین سبب افزایش مقدار قندهای محلول، بویژه ساکارز و سوربیتول میوه شد که دلیل آن بیان کمتر ژن اینورتاز و افزایش فعالیت ساکارز فسفات سنتاز تحت تأثیر تیمار خارجی ملاتونین بود (Liu et al., 2019).

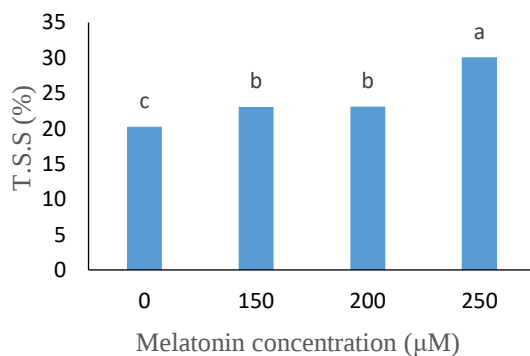


Figure 2- Comparison of different concentrations of melatonin on the amount of TSS of cornelian cherry fruit. (The columns with the same letters are not significantly different from each other at the 5% statistical probability level).

دیگر از لحاظ آماری در یک سطح قرار داشته و اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۱).

اسیدیته یک پارامتر مهم در کیفیت میوه می‌باشد که با غلظت اسیدهای آلی غالب موجود در میوه به طور مستقیم در ارتباط می‌باشد (Shokrollahfam et al., 2012). شاخص pH عصاره میوه به دلیل شکستن کربوهیدرات‌ها و مواد پکتینی، هیدرولیز پروتئین‌ها و تجزیه گلیکوساکاریدها به واحدهای کوچکتر در طی تنفس دچار تغییر می‌شود (Ayala-Zavala et al., 2007; Akhtar et al., 2010). تغییرات pH عصاره میوه در زمان رسیدن بیشتر ناشی از نشت اسیدهای آلی از واکوئل‌ها به سیتوپلاسم سلولی است همچنین در اثر رسیدن بیش از حد میوه، pH میوه افزایش یافته و از اسیدی به قلیایی تبدیل می‌شود (Pelayo et al., 2003). در این مطالعه pH میوه افزایش پیدا کرد که احتمال دارد به دلیل تغییرات تنفس میوه باشد.

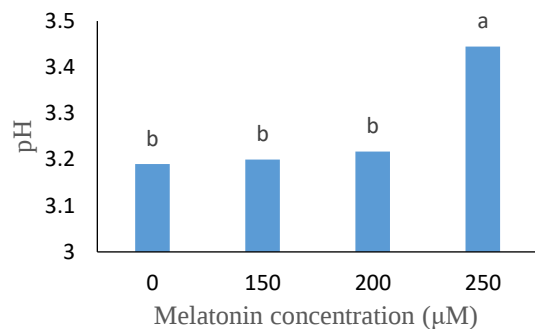


Figure 1- The effect of different concentrations of melatonin on the pH of cornelian cherry fruit extract. (The columns with the same letters are not significantly different from each other at the 5% statistical probability level).

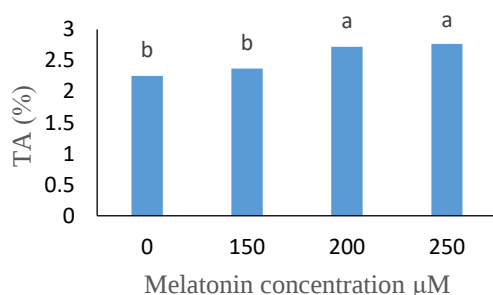
مواد جامد محلول

نتایج تجزیه واریانس سطوح مختلف ملاتونین بر میزان مواد جامد محلول نشان داد که اثرات ملاتونین در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین میزان درصد بریکس مربوط به تیمار ۲۵۰ میکرومولار و کمترین آن در تیمار شاهد می‌باشد، درحالی که در دو تیمار

Table 1- Analyses variance of the effect of melatonin concentrations on some fruit characteristics in cornelian cherry

Sources of variations	Df	Traits						
		pH	Total Soluble Solids	Titratable acidity	Total antioxidant capacity	Total flavonoids	Total phenol	Vitamin C
Block	3	0.011*	0.319 ^{ns}	0.024 ^{ns}	0.008 ^{ns}	1.78 ^{ns}	339.76 ^{ns}	346.07 ^{ns}
Treatment	3	0.059**	70.492**	0.259**	7.49**	167.950**	3699.02**	3784.32**
Error	9	0.002	2.847	0.007	0.46	0.69	234.84	187.23
(CV)	=	3.8	16.5	9.7	1.4	26.8	15.7	19.9

**, * and ^{ns}: Significant at 0/01, 0/05 and not significant, respectively

**Figure 3- Comparison of different melatonin treatments on titratable acidity of cornelian cherry fruit**

(The columns with the same letters are not significantly different from each other at the 5% statistical probability level)

فلاونوئید کل

تجزیه واریانس سطوح مختلف ملاتونین بر میزان فلاونوئید کل میوه‌ها نشان داد که اثر تیمار ملاتونین در سطح یک درصد بر میزان فلاونوئید کل میوه‌ها معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد افزایش غلظت ملاتونین از صفر میکرومولار به ۲۵۰ میکرومولار سبب افزایش میزان فلاونوئید کل میوه‌ها گردیده است (شکل ۴). بیشترین میزان فلاونوئید کل میوه در تیمار ۲۵۰ میکرومولار مشاهده شد. و بین تیمار شاهد و تیمار ۱۵۰ میکرومولار اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. همانطور که در (شکل ۴) دیده می‌شود بین تیمارهای ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار اختلاف معنی‌داری دیده شد.

اسید کل

نتایج حاصل از تجزیه واریانس سطوح مختلف ملاتونین بر اسیدیته کل نشان داد که اثر ملاتونین در سطح یک درصد بر میزان اسیدیته کل معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد افزایش غلظت ملاتونین از صفر میکرومولار به ۲۵۰ میکرومولار سبب افزایش میزان اسیدیته کل شده است (شکل ۳). هرچند بین تیمارهای شاهد و ۱۵۰ و همچنین بین ۲۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

اسید کل میوه‌ها به میزان اسیدی بودن آن‌ها اشاره دارد. اسیدیته میوه‌ها تاثیر زیادی بر طعم و مزه آن‌ها دارد. میوه‌های با سطح اسیدی بالا معمولاً طعم ترش و تندی دارند. در حالی که میوه‌های با سطح اسیدی پایین‌تر معمولاً طعم شیرین‌تری دارند. در یک پژوهش، نتایج نشان داده است تیمار ملاتونین در توت فرنگی در غلظت ۰/۱ میلی مولار سبب کاهش فساد و افزایش توان حفاظتی از سطح مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون شده است (Liu et al., 2018). کاربرد ملاتونین خارجی ممکن است از طریق مکانیسم مهار تنفس منجر به حفظ کیفیت شود. در نتیجه با کاهش سرعت تخریب مواد مغذی مانند TA کیفیت میوه حفظ می‌شود که یافته‌های مشابهی برای کلم بروکلی (Zhu et al., 2018) و هلو (Gao et al., 2016) گزارش شده است.

میانگین‌ها نشان داد افزایش غلظت ملاتونین از صفر به ۲۵۰ میکرومولار سبب افزایش میزان فنل کل میوه‌ها گردیده است (شکل ۵). با افزایش غلظت ملاتونین میزان فنل کل میوه‌ها از ۱۶۷/۸۸ در تیمار شاهد به ۱۷۷/۴۱ و ۲۰۵/۱۱ و ۲۳۵/۴۴ میلی گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه به ترتیب در تیمار ۱۵۰ و ۲۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار ملاتونین افزایش یافت. از لحاظ معنی داری بین تیمار شاهد و ۱۵۰ میکرومولار ملاتونین اختلاف معنی دار دیده نشد.

اثر مثبت ملاتونین احتمالاً با کاهش از دست رفتن ترکیبات فنلی ارتباط داشته باشد زیرا ملاتونین می‌تواند از طریق به تأخیر انداختن و سرکوب فعالیت آنزیم‌هایی که در اکسیداسیون فنل‌ها نقش دارند این فرآیند را کنترل کند (Rastegar et al., 2020). تحقیقات نشان داده است که تیمار ملاتونین باعث تنظیم بیان ژن‌های مسیر فنیل پروپانویید مانند PAL می‌شود، این تنظیم ژنتیکی منجر به افزایش ترکیبات فنلی در ساختارهای گیاهی می‌شود (Zhang et al., 2015). استفاده از ملاتونین به صورت غوطه‌وری در میوه انبه موجب حفظ سفتی، افزایش میزان بتاکاروتن و ترکیبات فنلی می‌شود (Liu et al., 2020). در یک پژوهش دیگر نتایج نشان داد تیمار ملاتونین در گیلان سبب افزایش ترکیبات فنلی و این به دلیل افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در طی دوره انبارمانی بوده است (Ghorbani and Najafzadeh, 2022). تیمار ملاتونین در میوه پرتقال سبب حفظ فنل کل در طول انبارمانی می‌شود (Ma et al., 2021).

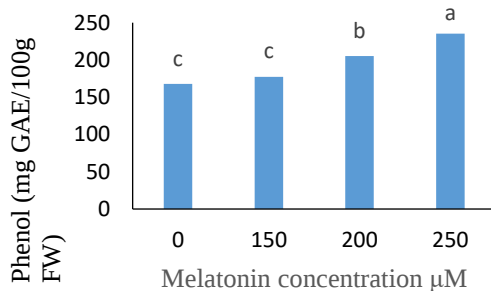


Figure 5- Mean Comparisons of different concentrations of melatonin on the content of phenolic compounds of the whole cornelian cherry fruit. (The columns with the same letters

فلاونوئیدها دسته‌ای از فنولیک‌های ثانویه گیاهی هستند که دارای خواص آنتی اکسیدانی و کلات کننده قابل توجهی هستند (Heim et al., 2002). گزارش شده است که افزایش فلاونوئید در اثر کاربرد ملاتونین به دلیل افزایش رونویسی از هشت ژن درگیر در سنتز فلاونوئید شامل: PAL، C4H، CHS، F3H، FNS، LAR، ANR، UFGH می‌باشد همچنین مقادیر زیادی از فلاونوئید در گیاهچه‌های کبوی تیمار شده با ملاتونین تجمع پیدا کرده است (Liang, Shen et al., 2018). تیمار ملاتونین در تنظیم بیان ژن‌های دخیل در سنتز آنزیم‌های کلیدی مسیر فنیل پروپانوییدها مانند فنیل آلانین آمونیالاز و چالکون سنتاز ۱ و ۲ نقش داشته و موجب تجمع ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها می‌شود (Zhang et al., 2016). گزارش شده است که در مقایسه با میوه شاهد، سطوح فلاونوئیدهای کل در میوه لیچی تیمار شده با ملاتونین، در طول نگهداری به طور قابل توجهی بالاتر بود همچنین، با تیمار ملاتونین، سطح ترکیبات فنلی نیز به طور قابل توجهی افزایش یافته است (Zhang et al., 2018).

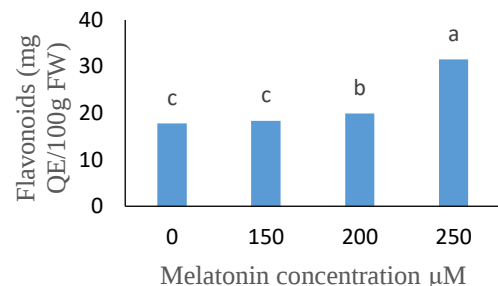


Figure 4- Mean Comparisons of different concentrations of melatonin on the flavonoid content of the whole cornelian cherry fruit

(The columns with the same letters are not significantly different from each other at the 5% statistical probability level).

فنل کل

نتایج حاصل از تجربه واریانس داده‌های مربوط به میزان فنل کل میوه‌ها نشان داد که تأثیرات ملاتونین در سطح یک درصد بر میزان فنل کل میوه‌ها معنی دار است (جدول ۱). مقایسه

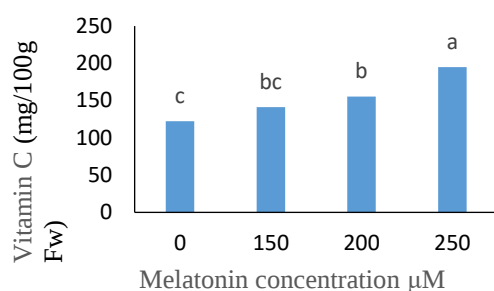


Figure 6- Mean Comparisons of different concentrations of melatonin on the amount of vitamin C in cornelian cherry fruit

(The columns with the same letters are not significantly different from each other at the 5% statistical probability level).

ظرفیت آنتی اکسیدانی

تجزیه واریانس سطوح مختلف ملاتونین بر ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه نشان داد که تیمار ملاتونین در سطح احتمال یک درصد بر میزان ظرفیت آنتی اکسیدانی معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد افزایش غلظت ملاتونین از صفر به ۲۵۰ میکرومولار سبب افزایش میزان ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه‌ها شده است (شکل ۷). کمترین میزان ظرفیت آنتی اکسیدانی در تیمار شاهد مشاهده شد که با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان می‌دهد و بین تیمارهای ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار اختلاف معنی‌داری دیده نشد.

میوه‌ها منابع بسیار خوب از آنتی اکسیدان‌ها هستند که از ترکیبات مختلف آنتی اکسیدانی تشکیل شده‌اند (Bal, 2021). فعالیت آنتی اکسیدانی به وضعیت فیزیولوژیکی میوه بستگی دارد و در طول پیری کاهش می‌یابد (Ali et al., 2013). احتمال داده می‌شود که سطوح آنتی اکسیدانی میوه‌ها به عواملی همچون شرایط محیطی در طول رشد و نمو و همچنین شرایط پس از برداشت بستگی داشته باشد. یافته‌های مشابهی برای میوه‌های دیگر مانند گوجه فرنگی (Azadshahraki et al., 2018)، توت فرنگی (Liu et al., 2018) و انبه (Rastegar et al., 2020) گزارش شده است. بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که تیمار ملاتونین با افزایش مقادیر ترکیبات فنلی و محتوای ترکیبات فلاونوئید به بهبود فعالیت

are not significantly different from each other at the 5% statistical probability level).

اسید آسکوربیک (ویتامین ث)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس سطوح مختلف ملاتونین بر میزان اسید آسکوربیک در زغال اخته نشان داد که ملاتونین در سطح احتمال یک درصد بر میزان اسید آسکوربیک معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که افزایش غلظت ملاتونین از صفر میکرومولار به ۲۵۰ میکرومولار سبب افزایش میزان اسید آسکوربیک گردیده است (شکل ۶). ۱۲۲/۴۴ میلی‌گرم در وزن تر میوه تر شاهد به ۱۴۱/۳۷ و ۱۵۵/۶۱ و ۱۹۵ میلی‌گرم به ترتیب در تیمار ۱۵۰ و ۲۰۰ و ۲۵۰ میکرومولار ملاتونین افزایش یافته است.

محتوای اسید آسکوربیک نقش مهمی در حفظ ارزش غذایی میوه‌های ذخیره شده دارد (Fennema, 1996). گزارش نتایج مشابهی از تأخیر در از بین رفتن اسید آسکوربیک در آلوهای تیمار شده با ملاتونین توسط بال (۲۰۱۹)، این فرضیه را مطرح کرد که اثر تیمار ملاتونین در حفظ محتوای اسید آسکوربیک می‌تواند به کاهش یا تأخیر فعالیت آسکوربات اکسیداز نسبت داده شود (Bal, 2019). گائو و همکاران (۲۰۱۶) و هو و همکاران (۲۰۱۸) عنوان کردند که محتوای اسید آسکوربیک در میوه‌های هلو و کاساوا پس از تیمار ملاتونین در طول نگهداری به طور قابل توجهی حفظ شد (Gao et al., 2016; Hu et al., 2018). براساس پژوهش‌های انجام یافته در میوه بلوبری، تیمار ملاتونین منجر به حفظ محتوای اسید آسکوربیک شد (Shang et al., 2021). علاوه بر این در یک پژوهش دیگری که توسط تانگ و همکاران (۲۰۲۰) انجام گرفت مشخص شد که ملاتونین باعث افزایش میزان اسید اسکوربیک در عناب می‌شود (Tang et al., 2020).

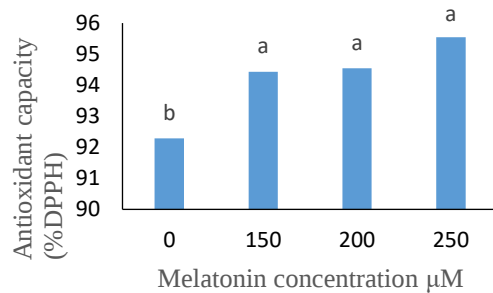


Figure 7- Comparison of different concentrations of melatonin on the antioxidant activity of cornelian cherry fruit. (The columns with the same letters are not significantly different from each other at the 5% statistical probability level).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد ملاتونین می‌تواند منجر به حفظ ویژگی‌های کیفی میوه زغال اخته شود، در این تحقیق تیمار با ملاتونین موجب افزایش مقدار pH، مواد جامد محلول، آنتی‌اکسیدان، فلاونوئید کل، فنول کل و اسیدآسکوربیک گردید. به طوری که ملاتونین ۲۵۰ میکرومولار بهترین تیمار نسبت به سایر غلظت‌های ملاتونین شناخته شد. تیمار ۲۵۰ میکرومولار ملاتونین باعث افزایش مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون عصاره میوه زغال اخته شد هرچند با تیمارهای ۱۵۰، ۲۰۰ میکرومولار و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

آنتی‌اکسیدانی در پرتقال کمک می‌کند (Sarrou et al., 2015). علاوه بر این غوطه‌وری گلابی با ملاتونین موجب تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی شده و فعالیت رادیکال آزاد را مهار می‌کند (Zhai et al., 2018). محلول پاشی ملاتونین موجب فعالیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش سطح پرولین به جهت مقابله با تنش در میوه انگور شد (Wang et al., 2013). بررسی‌ها از نظر همبستگی صفات نشان داد که تنها بین فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ارتباط معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ وجود دارد. در مقابل، ارتباط میان فلاونوئید کل و ویتامین ث با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار نبود (جدول ۲).

Table 2- Pearson correlation coefficients among antioxidant activity and total phenolic content, total flavonoid content, and, vitamin C.

Variables	Antioxidant Capacity (p-value)
Total Flavonoid	0.291 ^{ns}
Total Phenol	0.030*
Vitamin C	0.133 ^{ns}

^{**}, ^{*} and ^{ns}: Significant at 0/01, 0/05 and not significant, respectively

References

- Aghdam MS and Fard JR. 2017. Melatonin treatment attenuates postharvest decay and maintains nutritional quality of strawberry fruits (*Fragaria× anannasa* cv. Selva) by enhancing GABA shunt activity. *Food Chemistry* 221 1650-1657.
- Akhtar A, Abbasi NA and Hussain A. 2010. Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loquat fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany* 42(1) 181-188.
- Ali A, Zahid N, Manickam S, Siddiqui Y, Alderson PG and Maqbool M. 2013. Effectiveness of submicron chitosan dispersions in controlling anthracnose and maintaining quality of dragon fruit. *Postharvest Biology and Technology* 86 147-153.
- AOAC. 2000. Vitamins and other nutrients (Chapter 45). In *Official Methods of Analysis* (17th ed.). Washington DC 844-847.
- Arabia A, Munne-Bosch S and Muñoz P. 2022. Melatonin triggers tissue-specific changes in anthocyanin and hormonal contents during postharvest decay of Angeleno plums. *Plant Science* 320 111287.
- Arnao MB. 2014. Phytomelatonin: discovery, content, and role in plants. *Advances in Botany* 2014(1) 815769.

- Ayala-Zavala JF, Wang SY, Wang CY and González-Aguilar GA. 2007. High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. *Food Technology and Biotechnology* 45(2) 166-173.
- Azadshahraki F, Jamshidi B and Mohebbi S. 2018. Postharvest melatonin treatment reduces chilling injury and enhances antioxidant capacity of tomato fruit during cold storage. *Advances in Horticultural Science* 32(3) 299-310.
- Bal E. 2019. Physicochemical changes in 'Santa Rosa' plum fruit treated with melatonin during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization* 13 1713-1720.
- Bal E. 2021. Effect of melatonin treatments on biochemical quality and postharvest life of nectarines. *Journal of Food Measurement and Characterization* 15(1) 288-295.
- Basson CE, Groenewald JH, Kossmann J, Cronjé C and Bauer R. 2010. Sugar and acid-related quality attributes and enzyme activities in strawberry fruits: Invertase is the main sucrose hydrolysing enzyme. *Food Chemistry* 121(4) 1156-1162.
- Cao S, Song C, Shao J, Bian K, Chen W and Yang Z. 2016. Exogenous melatonin treatment increases chilling tolerance and induces defense response in harvested peach fruit during cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 64(25) 5215-5222.
- Chang CC, Yang MH, Wen HM and Chern JC. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colometric methods. *Journal of Food and Drug Analysis* 10(3) 3.
- Farouk S and Al-Amri SM. 2019. Ameliorative roles of melatonin and/or zeolite on chromium-induced leaf senescence in marjoram plants by activating antioxidant defense, osmolyte accumulation, and ultrastructural modification. *Industrial Crops and Products* 142 111823.
- Fennema OR. 1996. Water and ice. *Food Science and Technology-New York - Marcel Dekker-* 17 17-94.
- Fracassetti D, Vigentini I, Lo Faro AFF, De Nisi P, Foschino R, Tirelli A and Iriti M. 2019. Assessment of tryptophan, tryptophan ethylester, and melatonin derivatives in red wine by SPE-HPLC-FL and SPE-HPLC-MS methods. *Foods* 8(3) 99.
- Gao H, Zhang ZK, Chai HK, Cheng N, Yang Y, Wang DN and Cao W. 2016. Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology* 118 103-110.
- Gao H, Lu Z, Yang Y, Wang D, Yang T, Cao M and Cao W. 2018. Melatonin treatment reduces chilling injury in peach fruit through its regulation of membrane fatty acid contents and phenolic metabolism. *Food Chemistry* 245 659-666.
- García-Pastor ME, Guillén F, Zapata PJ, Agulló V, Castillo S, Serrano M and Valero D. 2017. Melatonin: A new tool to increase yield and quality at harvest and to extend postharvest shelf-life of pomegranate. In *IV International Symposium on Pomegranate and Minor Mediterranean Fruits* 1254 289-294.
- Ghorbani B and Najafzadeh R. 2022. The Role of Melatonin on Postharvest Properties of Sweet Cherry Fruit cv. Siah Mashhad during Storage. *Journal of Horticultural Science* 36(1) 71-85.
- Güzel N. 2021. Morphometric and physico-chemical properties of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) grown in Çorum, Turkey. *Akademik Gıda* 19(4) 373-380.
- Heim KE, Tagliaferro AR and Bobilya DJ. 2002. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 13(10) 572-584.
- Hu W, Yang H, Tie W, Yan Y, Ding Z, Liu Y and Jin Z. 2017. Natural variation in banana varieties highlights the role of melatonin in postharvest ripening and quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65(46) 9987-9994.
- Hu W, Tie W, Ou W, Yan Y, Kong H, Zuo J and Guo A. 2018. Crosstalk between calcium and melatonin affects postharvest physiological deterioration and quality loss in cassava. *Postharvest Biology and Technology* 140 42-49.
- Jannatizadeh A, Aghdam MS, Luo Z and Razavi F. 2019. Impact of exogenous melatonin application on chilling injury in tomato fruits during cold storage. *Food and Bioprocess Technology* 12 741-750.

- Koleva II, Van Beek TA, Linssen JP, Groot AD and Evstatieva LN. 2002. Screening of plant extracts for antioxidant activity: a comparative study on three testing methods. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques* 13(1) 8-17.
- Li S, Xu Y, Bi Y, Zhang B, Shen S, Jiang T and Zheng X. 2019. Melatonin treatment inhibits gray mold and induces disease resistance in cherry tomato fruit during postharvest. *Postharvest Biology and Technology* 157 110962.
- Liang B, Ma C, Zhang Z, Wei Z, Gao T, Zhao Q and Li C. 2018. Long-term exogenous application of melatonin improves nutrient uptake fluxes in apple plants under moderate drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 155 650-661.
- Liang D, Shen Y, Ni Z, Wang Q, Lei Z, Xu N and Xia H. 2018. Exogenous melatonin application delays senescence of kiwifruit leaves by regulating the antioxidant capacity and biosynthesis of flavonoids. *Frontiers in Plant Science* 9 426.
- Lin JY and Tang CY. 2007. Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry* 101(1) 140-147.
- Liu J, Zhang R, Sun Y, Liu Z, Jin W and Sun Y. 2016. The beneficial effects of exogenous melatonin on tomato fruit properties. *Scientia Horticulturae* 207 14-20.
- Liu C, Zheng H, Sheng K, Liu W and Zheng L. 2018. Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology* 139 47-55.
- Liu J, Yue R, Si M, Wu M, Cong L, Zhai R and 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.
- Liu S, Huang H, Huber DJ, Pan Y, Shi X and Zhang Z. 2020. Delay of ripening and softening in 'Guifei' mango fruit by postharvest application of melatonin. *Postharvest Biology and Technology* 163 111136.
- Lorente-Mento JM, Guillén F, Castillo S, Martínez-Romero D, Valverde JM, Valero D and Serrano M. 2021. Melatonin treatment to pomegranate trees enhances fruit bioactive compounds and quality traits at harvest and during postharvest storage. *Antioxidants* 10(6) 820.
- Ma Q, Lin X, Wei Q, Yang X, Zhang YN and 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.
- Ma Q, Zhang T, Zhang P and Wang ZY. 2016. Melatonin attenuates postharvest physiological deterioration of cassava storage roots. *Journal of Pineal Research* 60(4) 424-434.
- Medina-Santamarina J, Zapata PJ, Valverde JM, Valero D, Serrano M and Guillén F. 2021. Melatonin treatment of apricot trees leads to maintenance of fruit quality attributes during storage at chilling and non-chilling temperatures. *Agronomy* 11(5) 917.
- Mostofi Y and Najafi F. 2005. *Analytical Laboratory Methods in Horticultural Sciences*. Tehran University Press. 136 p.
- Pelayo C, Ebeler SE and Kader AA. 2003. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 C in air or air+ 20 kPa CO₂. *Postharvest Biology and Technology* 27(2) 171-183.
- Rastegar S, Khankahdani HH and Rahimzadeh M. 2020. Effects of melatonin treatment on the biochemical changes and antioxidant enzyme activity of mango fruit during storage. *Scientia Horticulturae* 259 108835.
- Sarropoulou V, Dimassi-Therious K, Therios I and Koukourikou-Petridou M. 2012. Melatonin enhances root regeneration, photosynthetic pigments, biomass, total carbohydrates and proline content in the cherry rootstock PHL-C (*Prunus avium* × *Prunus cerasus*). *Plant Physiology and Biochemistry* 61 162-168.
- Sarrou E, Chatzopoulou P, Dimassi-Therious K, Therios I and Koularmani A. 2015. Effect of melatonin, salicylic acid and gibberellic acid on leaf essential oil and other secondary metabolites of bitter orange young seedlings. *Journal of Essential Oil Research* 27(6) 487-496.
- Shang F, Liu R, Wu W, Han Y, Fang X, Chen H and Gao H. 2021. Effects of melatonin on the components, quality and antioxidant activities of blueberry fruits. *LWT - Food Science and Technology* 147 111582.

- Shokrollahfam S, Hajilou J, Zare F, Tabatabaei SJ and Naghshibandhasani R. 2012. Effects of calcium chloride and salicylic acid on quality traits and storage life of plum cultivar. *Journal of food research* 22(1) 75-76.
- Solís-Muñoz P, Solís-Herruzo JA, Fernández-Moreira D, Gómez-Izquierdo E, García-Consuegra I, Muñoz-Yagüe T and García Ruiz I. 2011. Melatonin improves mitochondrial respiratory chain activity and liver morphology in ob/ob mice. *Journal of Pineal Research* 51(1) 113-123.
- Song L, Wang J, Shafi M, Liu Y, Wang J, Wu J and Wu A. 2016. Hypobaric treatment effects on chilling injury, mitochondrial dysfunction, and the ascorbate-glutathione (AsA-GSH) cycle in postharvest peach fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 64(22) 4665-4674.
- Sun Q, Zhang N, Wang J, Zhang H, Li D, Shi J and Guo YD. 2015. Melatonin promotes ripening and improves quality of tomato fruit during postharvest life. *Journal of Experimental Botany* 66(3) 657-668.
- Szczepaniak OM, Kobus-Cisowska J, Kusek W and Przeor M. 2019. Functional properties of Cornelian cherry (*Cornus mas* L.): A comprehensive review. *European Food Research and Technology* 245(10) 2071-2087.
- Tabatabaei SJ. 2009. Principles of Mineral Nutrition of Plants. Kharazmi, Tabriz, Iran. Pages 372-378.
- Tang Q, Li C, Ge Y, Li X, Cheng Y, Hou J and 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 - Food Science and Technology* 127 109431.
- Tijero V, Munoz P and Munne-Bosch S. 2019. Melatonin as an inhibitor of sweet cherries ripening in orchard trees. *Plant Physiology and Biochemistry* 140 88-95.
- Wang P, Sun X, Li C, Wei Z, Liang D and Ma F. 2013. Long-term exogenous application of melatonin delays drought-induced leaf senescence in apple. *Journal of pineal research* 54(3) 292-302.
- Xu L, Yue Q, Xiang G, Bian FE and Yao Y. 2018. Melatonin promotes ripening of grape berry via increasing the levels of ABA, H₂O₂, and particularly ethylene. *Horticulture Research* 5.
- Ze Y, Gao H, Li T, Yang B and Jiang Y. 2021. Insights into the roles of melatonin in maintaining quality and extending shelf life of postharvest fruits. *Trends in Food Science and Technology* 109 569-578.
- Zhai R, Liu J, Liu F, Zhao Y, Liu L, Fang C and Xu L. 2018. Melatonin limited ethylene production, softening and reduced physiology disorder in pear (*Pyrus communis* L.) fruit during senescence. *Postharvest Biology and Technology* 139 38-46.
- Zhang N, Sun Q, Zhang H, Cao Y, Weeda S, Ren S and Guo YD. 2015. Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany* 66(3) 647-656.
- Zhang N, Sun Q, Li H, Li X, Cao Y, Zhang H and Guo YD. 2016. Melatonin improved anthocyanin accumulation by regulating gene expressions and resulted in high reactive oxygen species scavenging capacity in cabbage. *Frontiers in Plant Science* 7 197.
- Zhang Y, Huber DJ, Hu M, Jiang G, Gao Z, Xu X and Zhang Z. 2018. Delay of postharvest browning in litchi fruit by melatonin via the enhancing of antioxidative processes and oxidation repair. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66(28) 7475-7484.
- Zhu L, Hu H, Luo S, Wu Z and Li P. 2018. Melatonin delaying senescence of postharvest broccoli by regulating respiratory metabolism and antioxidant activity. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 34(3) 300-308.
- Zia MP and Alibas I. 2021. The effect of different drying techniques on color parameters, ascorbic acid content, anthocyanin and antioxidant capacities of cornelian cherry. *Food Chemistry* 364 130358.