

Effect of exogenous melatonin treatment on postharvest quality of apricot fruit through antioxidant metabolism

Parviz Malekzadeh^{1*}, Mehdi Sadeghi², Reza Sheikh Akbari-Mehr³

¹ Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Qom, Qom, Iran,

Email: p.malekzadeh@qom.ac.ir

² Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, Semnan University, Semnan, Iran. Email:

mehisadeghi@semnan.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Qom, Qom, Iran. Email:

r.sheikhakbari@qom.ac.ir

Article type:

Research article

Abstract

Article history

Received: 04.10.2024

Revised: 27.11.2024

Accepted: 08.12.2024

Published: 22.06.2025

Keywords

Antioxidant
Ascorbic Acid
Apricot
Total Phenol
Shelf Life

The apricot fruit is sensitive to chilling during storage, and melatonin is used to alleviate chilling injury. Melatonin plays a crucial role in enhancing the postharvest quality of fruits. Apricots were treated with five different concentrations of melatonin solution (0, 100, 200, 300, and 400 $\mu\text{mol/L}$) for 30 minutes and then stored for 28 days. In comparison to the control group, the optimal concentration of melatonin (300 $\mu\text{mol/L}$) significantly reduced physiological weight loss. It delayed the decline in total soluble solids (TSS), thus preserving the postharvest quality of the fruit. Exogenous melatonin has been shown to enhance antioxidant activity and reduce oxidative damage. It achieves this by inhibiting increases in cell membrane permeability, lowering the levels of malondialdehyde (MDA), and maintaining high concentrations of ascorbic acid (ASA), phenolic compounds, and flavonoids. Additionally, melatonin promotes the activity of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT). The results indicate that using exogenous melatonin effectively maintains the postharvest quality of apricot fruit and slows down senescence.

Cite this article as: Malekzadeh, P., Sadeghi, M., Sheikh Akbari-Mehr, R. (2025). Effect of exogenous melatonin treatment on postharvest quality of apricot fruit through antioxidant metabolism. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 78: 23-38.



©The author(s)

DOI: <https://doi.org/10.71890/IPER.2025.1185898>

Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

تأثیر تیمار ملاتونین برونزاد بر کیفیت پس از برداشت میوه زرد آلو از طریق متابولیسم آنتی اکسیدانی

پرویز ملکزاده^{۱*}، مهدی صادقی^۲، رضا شیخ اکبری مهر^۳

^۱ دانشیار گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم، قم، ایران، رایانامه: p.malekzadeh@qom.ac.ir

^۲ استادیار گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، رایانامه: mehisadeghi@semnan.ac.ir

^۳ استادیار گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم، قم، ایران، رایانامه: r.sheikhakbari@qom.ac.ir

نوع مقاله:	چکیده
مقاله پژوهشی	میوه زردآلو حساس به سرمازدگی در طول انبارمانی می باشد. ملاتونین برای تسکین سرمازدگی مورد استفاده قرار می گیرد. در تحقیق حاضر میوه های زرد آلو با چهار غلظت مختلف محلول ملاتونین (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول بر لیتر) به مدت ۳۰ دقیقه تیمار و به مدت ۲۸ روز نگهداری شدند. در مقایسه با گروه شاهد، غلظت بهینه ملاتونین (۳۰۰ میکرومول بر لیتر) باعث کاهش قابل توجه و کاهش وزن فیزیولوژیک شد و همچنین تیمار ملاتونین روند کاهش مواد جامد محلول کل (TSS) را به تأخیر انداخت و در نتیجه کیفیت میوه های پس از برداشت را حفظ کرد. ملاتونین برونزاد باعث افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی و کاهش آسیب اکسیداتیو میوه از طریق مهار افزایش نفوذپذیری غشای سلولی، کاهش محتوای مالون دی آلدئید (MDA)، حفظ محتوای بالای اسید آسکوربیک (AsA)، ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها و افزایش فعالیت آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT) شد. این یافته ها نشان می دهد که کاربرد ملاتونین برونزاد در حفظ کیفیت پس از برداشت میوه زرد آلو و تأخیر در پیری مؤثر است.
واژه های کلیدی:	
آسکوربیک اسید	
آنتی اکسیدان	
زردآلو	
فنل کل	
ماندگاری	

استناد: ملکزاده، پرویز؛ صادقی، مهدی؛ شیخ اکبری مهر، رضا. (۱۴۰۴). تأثیر تیمار ملاتونین برونزاد بر کیفیت پس از برداشت میوه زرد آلو از طریق متابولیسم آنتی اکسیدانی. فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۷۸: ۲۳-۳۸.

DOI: <https://doi.org/10.71890/IPER.2025.1185898>

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی گرگان

© نویسندگان.



مقدمه

میوه زرد آلو (*Prunus armeniaca*)، یک میوه هسته‌دار است که بومی مناطق آسیای مرکزی و شرقی، به جنس پرونوس (*Prunus*) به خانواده رُزآسه (*Rosaceae*) تعلق دارد و یک گیاه چندساله درختی است. در ایران، درخت زرد آلو یک درخت پرکشت با حدود ۱۹ رقم مختلف است و تولید آن در سال ۲۰۲۳ بیش از ۶۳۰،۰۰۰ تن بوده است و در استانهای آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کردستان و همدان بیشتر کشت را دارد. بر اساس مطالعات اخیر، میوه زرد آلو بسیار مغذی بوده و مقدار قابل توجهی از ترکیبات فنولی و کاروتنوئیدها را در خود دارد. همچنین، این میوه منبع خوبی از فیبر رژیمی است. در مطالعه ای نشان داده شد که گوشت میوه زرد آلو غنی از ترکیبات فنولی، اسید آسکوربیک، کاروتنوئیدها و فلاونوئیدها است. مطالعات نشان داده‌اند که میوه زرد آلو اثرات سودمندی دارد، از جمله خواص ضد سرطانی، ضد پیری، پتانسیل ضد افسردگی، ضد میکروبی و ضد التهابی، و محافظت کبدی دارد (Peng et al., 2023). در سال‌های اخیر، میوه زرد آلو به دلیل طعم و ارزش غذایی و میزان بالای خانواده ویتامین‌ب منحصربفرد خود در بازار میوه محبوبیت یافته است. بازار جهانی شاهد نرخ رشد سالانه چشمگیر ۱۵-۲۰٪ در تقاضا برای میوه زرد آلو بوده است که نشان دهنده پتانسیل بازار قابل توجه آن است (Chen et al., 2022).

میوه کلیماکتریک، به طور معمول در مرحله پس از برداشت به سرعت وارد مرحله پیری می‌شوند، همراه با شروع از دست دادن آب و چروکیدگی شدن که به طور جدی ارزش تجاری آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گونه‌های فعال اکسیژن (*ROS*) نقش مهمی در پیری میوه در طول نگهداری پس از برداشت ایفا می‌کنند. در طول رسیدن میوه، تجمع *ROS* به طور

مستقیم به سلول‌ها آسیب می‌رساند و کیفیت میوه را کاهش می‌دهد. مطالعات نشان داده‌اند که *ROS* در طول رسیدن میوه هلو تجمع می‌یابد و با شدت تنفس به طور مثبت همبستگی دارند. در گیلاس شیرین، محتوای رادیکال پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و آنیون سوپراکسید با گذشت زمان نگهداری افزایش یافته و محتوای *MDA* نیز افزایش یافته است که باعث افزایش نفوذپذیری غشای سلولی شده است. از دست دادن یکپارچگی غشا و افزایش سطوح *MDA* در میوه موز و کیوی تحت استرس اکسیداتیو در طول نگهداری نیز با تجمع بیش از حد *ROS* مرتبط بوده است (He et al., 2023). در همین حال، آسیب اکسیداتیو منجر به ایجاد حفره، قهوه‌ای شدن و از دست دادن آب در سطح میوه لیمو می‌شود. این نتایج نشان می‌دهند که استرس اکسیداتیو منجر به تجمع *ROS* و مرتبط با فرآیند پیری میوه است. برای کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از *ROS*، برخی میوه‌ها *ROS* را از طریق سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی مهار می‌کنند (Malekzadeh et al., 2022). تیمار آرگون تحت فشار پوشیده شده با نانوسیلیکا، محتوای اسید آسکوربیک و گلوکاتایون را در سطح بالا نگه داشته و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده، که آسیب اکسیداتیو را از طریق پاکسازی *ROS* کاهش می‌دهد. کاربرد پروآنتوسیانیدین‌های برون‌زا می‌تواند با افزایش آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی، تولید *ROS* را در میوه‌های موز پس از برداشت را به حداقل برساند. بنابراین، میوه‌های رسیده با فعالیت بالاتر مواد آنتی‌اکسیدانی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌توانند عمر نگهداری میوه‌ها را طولانی‌تر کرده و کیفیت آن‌ها را برای مدت طولانی‌تری حفظ کنند (S. Fan et al., 2022).

سبب به تأخیر انداخته است (He et al., 2023; Peng et al., 2023; Wang et al., 2023; Yunting Zhang et al., 2023).

با این حال، هیچ مطالعه‌ای در مورد تأثیر تیمار با ملاتونین (MT) بر کیفیت پس از برداشت میوه زردآلو و متابولیسم فیزیولوژیکی آن انجام نشده است. بر اساس موارد ذکر شده، در این مطالعه، تأثیر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر کیفیت پس از برداشت میوه زردآلو مورد بررسی قرار گرفته است. ویژگی‌های فیزیولوژیک پس از برداشت، خصوصیات فیزیکی (شاخص قهوه‌ای شدن، وزن)، کیفیت تغذیه‌ای (اسید آسکوربیک، فنل‌های کل، فلاونوئیدها و غیره) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی میوه زرد آلو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان مرجعی برای استفاده از ملاتونین در طول انبارداری پس از برداشت، حمل و نقل و بازاریابی میوه زرد آلو مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

میوه‌های زردآلو رسیده تجاری از بازار محلی در باغ‌های دماوند در استان تهران جمع‌آوری شد. میوه‌های زردآلو مورد استفاده در مطالعه ما بین ۲۵ تا ۴۵ گرم وزن داشتند و حدود ۳ الی ۴ سانتی‌متر قطر داشتند. میوه‌های زرد آلو به منظور حذف گرد و خاک سطح میوه شسته شده و میوه‌هایی با اندازه یکسان جدا شده و میوه‌هایی که از نظر آفات، بیماری‌ها و آسیب‌های مکانیکی پوست عاری بودند انتخاب شدند.

تیمار با ملاتونین: میوه‌های زرد آلو به پنج گروه تقسیم و به مدت ۳۰ دقیقه در آب مقطر (گروه شاهد) و محلول‌های ملاتونین با غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول بر لیتر که با آب مقطر تهیه شده بود، غوطه‌ور شدند. میوه‌های غوطه‌ور

ملاتونین یک ماده کوچک زیست فعال است که دارای چندین عملکرد فیزیولوژیکی است. برای اولین بار، ملاتونین در جانوران یافت شد، اما آزمایشات بعدی نشان داد که ملاتونین همچنین در گیاهان وجود دارد و در طول فرایند رشد و توسعه بذرها گیاهی دخالت دارد. در سال‌های اخیر، محققان دریافته‌اند که ملاتونین با مهار سنتز اتیلن، کاهش نرخ تنفس میوه، پاکسازی رادیکال‌های آزاد و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، موجب حفظ میوه‌های پس از برداشت می‌شود (Jiao et al., 2022; Malekzadeh, 2024; Molla et al., 2022; Sati et al., 2023a). تیمار میوه پایا در غلظت‌های مختلف محلول‌های ملاتونین نشان داد که غلظت‌های خاص ملاتونین بر رسیدن میوه‌های پایا نقش داشته و با تقویت مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی و دفاعی، کیفیت میوه‌های پایا را بهبود داد (S. Fan et al., 2022). تیمار میوه فلفل دلمه‌ای با محلول ۱۰۰ میکرومول بر لیتر ملاتونین به مدت ۳۰ دقیقه، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز را افزایش داد و محتوای پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و آنیون سوپراکسید و مالون‌دی‌آلدئید را کاهش داد (Malekzadeh, 2024). بنابراین، سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی و دفاعی فلفل دلمه‌ای بهبود یافت تا کیفیت آنها حفظ شده و مقاومت آنها در برابر بیماری‌ها افزایش یابد. همچنین، Dou و همکاران گزارش کردند که کاربرد ۱۰۰ میکرومول ملاتونین، بیان ژن RBOH را مهار کرده و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و ظرفیت پاکسازی رادیکال DPPH را افزایش داده است (Dou et al., 2022). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که ملاتونین به‌طور قابل توجهی رسیدن پس از برداشت، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و روند پیری را در محصولات باغی مانند کیوی، گوجه‌فرنگی و

شده خارج و در یک محیط تهویه دار و در آزمایشگاه خشک شدند، سپس در کیسه های پلی اتیلنی ۲۵×۲۰ سانتی متر قرار داده شدند. در بین این گروه ها، تیمار با آب مقطر به عنوان گروه شاهد استفاده شد. نمونه ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰-۸۵٪ نگهداری شدند. نمونه ها به طور دوره ای خارج شده و رسیدن میوه در روزهای ۰، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ پس از تیمار مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفت. **اندازه گیری میزان کاهش وزن:** شش میوه زردآلو تازه از هر تکرار و از هر تیمار برای تعیین میزان کاهش وزن انتخاب شد. درصد کاهش وزن با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$100 \times \text{وزن اولیه} / (\text{وزن روزانه} - \text{وزن اولیه}) = \text{درصد کاهش وزن}$$

مواد جامد محلول کل (TSS) و مقدار pH میوه: سه میوه به طور تصادفی از هر تیمار انتخاب شدند و هسته و مغز میوه جدا و فشرده شد تا آب میوه استخراج شود. این آب میوه برای آنالیز TSS و pH مورد استفاده قرار گرفت. محتوای TSS با استفاده از رفاکومتر PAL-1 (شرکت ATAGO، ژاپن) تعیین شد و نتایج به صورت درصد بیان شدند. مقدار pH با استفاده از pH متر M818 (شرکت آزمایشگاهی هنگ کنگ زیما، چین) تعیین شد (Varlı Yunusoğlu & Ekinci, 2023). هر تیمار با سه بار تکرار مورد سنجش قرار گرفت.

اندازه گیری محتوای رادیکال سوپراکسید (O_2^-) و پراکسید هیدروژن H_2O_2 : مقدار تولید آنیون های سوپراکسید (O_2^-) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در طی دوره انبارمانی با استفاده از روش توصیف شده توسط Cao و همکاران اندازه گیری شد (Cao et al., 2018). پنج گرم نمونه زردآلو در ۵ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار با pH 7.8 همگن شدند، سپس به مدت ۱۵ دقیقه در دور ۱۰۰۰۰ g و در دمای ۴ درجه سانتی گراد

سانتریفیوژ شدند. پس از آن، ۱ میلی لیتر مایع رویی به ۱ میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولار با pH 7.8 و ۱ میلی لیتر هیدروکسیل آمین هیدروکلراید ۱ میلی مولار اضافه شد. پس از نگهداری به مدت ۱ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، ۱ میلی لیتر ۴-آمینو بنزن سولفونیک اسید ۱۷ میلی مولار و ۱ میلی لیتر α -نفتیلامین ۷ میلی مولار به مخلوط واکنش اضافه شد. سپس اتر به مخلوط اضافه شد تا اجازه دهد به دو لایه جدا شود تا از هرگونه تداخل اندازه گیری به دلیل وجود رنگدانه ها جلوگیری شود. جذب فاز آبی پایین تر و صورتی در طوم موج ۵۳۰ نانومتر اندازه گیری شد.

برای اندازه گیری محتوای H_2O_2 ، ۵ گرم پودر زردآلو منجمد در ۵ میلی لیتر استون از قبل خنک شده همگن شد. سپس مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در دور ۱۰۰۰۰ g در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شد. پس از آن، یک میلی لیتر از مایع رویی به ۰/۱ میلی لیتر اسید تیتانیوم تتراکلرید هیدروکلریک اسید ۱۰ درصد و ۰/۲ میلی لیتر هیدروکسید آمونیوم اضافه شد، سپس به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۱۰۰۰۰ × گرم در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شد. رسوب به دست آمده بارها با استون سرد شسته و در ۳ میلی لیتر H_2SO_4 ۲ مولار حل شد. محتوای H_2O_2 با اندازه گیری جذب در طول موج ۴۱۲ نانومتر تعیین شد.

اندازه گیری میزان فعالیت آنزیم های CAT و SOD: فعالیت آنزیم های سوپراکسیداز دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) با استفاده از روش کائو و همکاران تعیین شد (Cao et al., 2018).

اندازه گیری محتوای فنل کل و فلاونوئیدها: فنل کل و فلاونوئید با استفاده از روش توصیف شده توسط ژو و همکاران اندازه گیری شدند (۲۷). به طور خلاصه، ۰/۵ گرم زردآلو به ۱۰ میلی لیتر متانول ۸۰ درصد (حجم/حجم) اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه

تحت فراصوت قرار گرفت. سپس مخلوط به مدت ۲۰ دقیقه در دور ۱۰۰۰۰ g سانتریفیوژ شد و از مایع رویی جهت آنالیز مورد استفاده قرار گرفت. مخلوط واکنش برای فنل کل شامل یک میلی لیتر مایع رویی، یک میلی لیتر معرف Folin-Ciocalteu و ۲ میلی لیتر Na_2CO_3 ۱۵ درصد (وزنی/حجمی) بود. سپس آب مقطر اضافه شد تا به حجم نهایی ۱۰ میلی لیتر برسد. جذب مخلوط واکنش پس از ۱ ساعت نگهداری در دمای اتاق در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فلاونوئید کل، ۱ میلی لیتر مایع رویی به ۱ میلی لیتر NaNO_2 ۵ درصد (وزنی/حجمی) و ۰/۲۵ میلی لیتر AlCl_3 ۱۰ درصد (وزنی/حجمی) اضافه شد. متعاقباً، یک میلی لیتر NaOH یک مولار به مخلوط واکنش اضافه شد. بعد از ۵ دقیقه جذب مخلوط واکنش در طول موج ۵۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیااز: فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیااز (PAL) با استفاده از روش توضیح داده شده توسط گائو و همکاران با کمی تغییرات مورد سنجش قرار گرفت (Gao et al., 2016). دو گرم زردآلو با ۱۰ میلی لیتر بافر بورات سدیم ($\text{pH} = 8.8$) و ۶ گرم پلی وینیل پیرولیدون (PVP) همگن شد. پس از سانتریفیوژ با دور ۱۶,۰۰۰ g به مدت ۱۵ دقیقه، مایع رویی جمع‌آوری شد و باقیمانده برای بار دیگر استخراج گردید. دو بخش مایع رویی به عنوان عصاره آنزیم PAL مخلوط شدند. پنج میلی لیتر محلول L-فنیل آلانین با ۰/۵ میلی لیتر عصاره آنزیم PAL مخلوط شده و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سلسیوس انکوبه شد. جذب نور سیستم واکنش در طول موج ۲۹۰ نانومتر خوانده شد. یک واحد فعالیت PAL به عنوان ۰/۰۱ تغییر جذب در ۲۹۰ نانومتر در هر دقیقه تعریف شد و واحد آن U mg^{-1} پروتئین بود.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز (PPO): فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز (PPO) طبق روش وانگ تعیین شد (D. Wang et al., 2021). دو گرم زردآلو با ۶ میلی لیتر محلول استات سدیم ۱۰۰ میلی مولار ($\text{pH} 5.5$) حاوی ۲۰ گرم در لیتر پلی وینیل پلی پیریمیدین) همگن شد و سپس به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۶,۰۰۰ g سانتریفیوژ گردید. مایع رویی جمع‌آوری شد و باقیمانده برای بار دیگر استخراج شد. دو بخش مایع رویی به عنوان عصاره آنزیم PPO مخلوط شدند. عصاره آنزیم (۰/۲ میلی لیتر) به سرعت به ۳ میلی لیتر محلول کاتکول ۲۰ میلی مولار اضافه شد و جذب نور سیستم واکنش در طول موج ۴۰۰ نانومتر خوانده شد. یک واحد فعالیت PPO به عنوان ۰/۱ تغییر جذب در ۴۰۰ نانومتر در هر دقیقه تعریف شد و واحد آن U mg^{-1} پروتئین بود.

تحلیل آماری

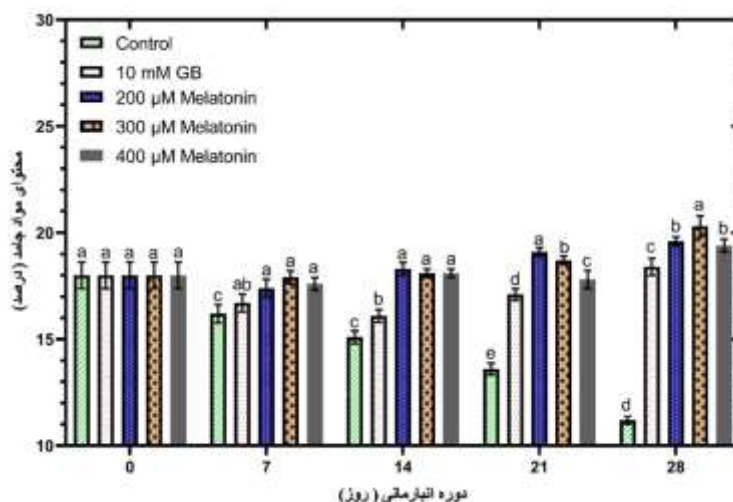
تمام تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۵ انجام شد. داده‌های هر آنالیز تحت تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) قرار گرفتند و میانگین جداسازی‌ها با آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ مقایسه شد. داده‌های ارائه شده نشان دهنده میانگین $\pm$ انحراف استاندارد است.

نتایج

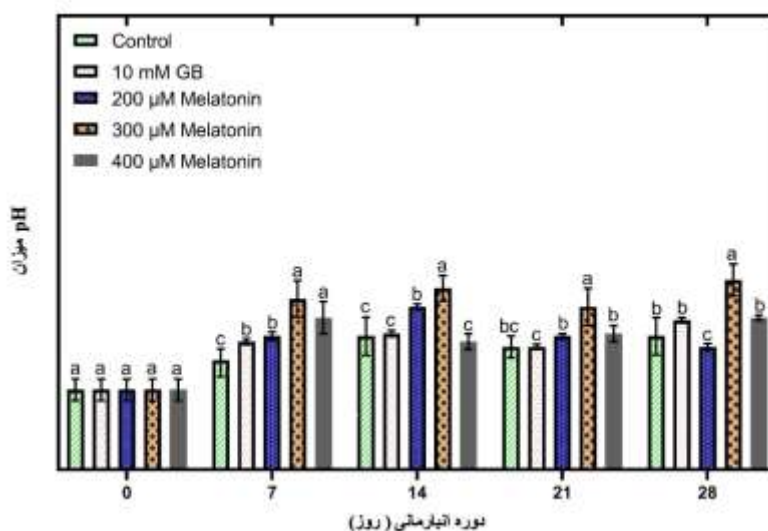
تأثیر تیمار ملاتونین بر ظاهر میوه: تغییرات در ظاهر میوه زرد آلو نشانگر متابولیسم فیزیولوژیکی آن است که کیفیت و ارزش تجاری میوه زرد آلو را تعیین می‌کند. درجه چروکیدگی پوست میوه زرد آلو و شاخص قهوه‌ای شدن نشان دهنده تغییرات در کیفیت میوه است. میوه‌های زرد آلو تیمار شده با ملاتونین در مقایسه با شاهد ظاهر درخشان‌تری داشتند.

نشان داد، در حالی که میوه‌های تیمار شده با ملاتونین در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول روند کاهشی و سپس افزایشی را نشان دادند و بالاتر از گروه شاهد بودند (شکل ۱). در روز ۲۸ نگهداری، میوه‌های زردآلو تیمار شده با ۳۰۰ میکرومول در لیتر ملاتونین بالاترین محتوای TSS را داشتند.

تأثیر تیمار ملاتونین بر مواد جامد محلول کل و pH: مواد جامد محلول کل (TSS) و اسیدیت، شاخص‌های بلوغ و کیفیت میوه بوده و نقش مهمی در طعم میوه زردآلو ایفا می‌کنند. همانطور که نتایج نشان می‌دهد؛ در طول دوره نگهداری، مواد جامد محلول میوه‌های زردآلو گروه شاهد روند کاهشی کلی



شکل ۱: درصد محتوای مواد جامد در میوه زردآلو در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۸ روز. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین گروه‌های تیمار و کنترل ($P < 0.05$) هستند.



شکل ۲: میزان pH در میوه زردآلو در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۸ روز. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین گروه‌های تیمار و کنترل ($P < 0.05$) هستند.

مقدار pH میوه‌های تیمار شده با ملاتونین همچنان بالا باقی ماند (شکل ۲). در روز ۲۱ و ۲۸، pH میوه‌های

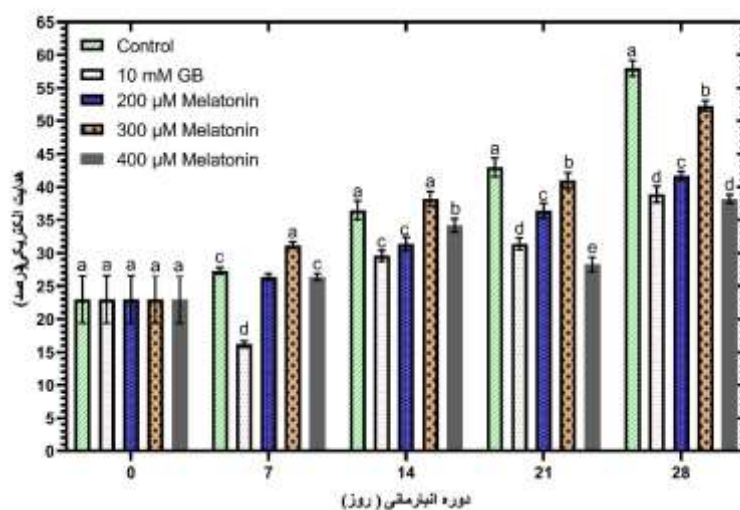
میزان pH میوه زردآلو در هر دو گروه شاهد و تیمار شده با ملاتونین روند افزایشی نشان داشت و

۳). در روز ۲۱ و ۲۸ نگهداری، هدایت میوه‌های زردآلو تیمار شده با ۳۰۰ میکرومول در لیتر ملاتونین به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود.

مالون دی‌آلدهید (MDA) محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدی در سلول‌ها است و می‌تواند به عنوان شاخصی از سطح اکسیداسیون لیپیدها استفاده شود. از شکل ۳-۴ می‌توان دید که محتوای MDA با رسیدن و پیری میوه افزایش می‌یابد. محتوای MDA میوه‌های تیمار شده با ملاتونین به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد بود، که در آن محتوای MDA میوه‌های زردآلو تیمار شده با ۳۰۰ میکرومول در لیتر ملاتونین در کل چهار هفته انبارمانی در سطح پایین‌تری قرار داشت. می‌توان فرض کرد که تیمار با ملاتونین در غلظت ۳۰۰ میکرومول تاحدودی پراکسیداسیون پوست میوه زردآلو را مهار می‌کند (شکل ۴).

زردآلو تیمار شده با ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول در لیتر ملاتونین به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد بود ($p < 0.05$). در این مطالعه، تیمار با ملاتونین روند کاهش TSS میوه را کند کرد، افزایش pH را تشویق کرد و کیفیت میوه را حفظ کرد، و بهترین اثر در تیمار ۳۰۰ میکرومول در لیتر ملاتونین مشاهده گردید.

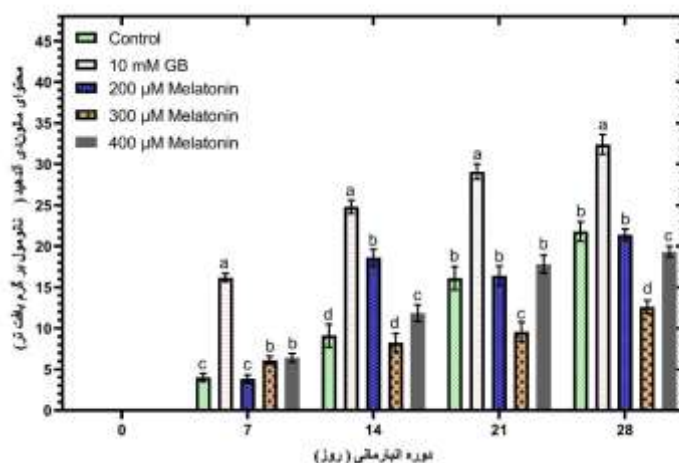
تأثیر تیمار با ملاتونین بر نفوذپذیری غشای سلولی و محتوای مالون‌دی‌آلدهید: نفوذپذیری غشای سلولی با بررسی هدایت الکتریکی نسبی پوست میوه زردآلو برآورد شد (شکل ۳). در طول ۷ روز اول نگهداری، هدایت میوه‌های تیمار شده با ملاتونین در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومول به‌طور کلی پایین‌تر از گروه شاهد بود، اما به لحاظ آماری در غلظت ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومول معنی‌دار نبود اما در غلظت ۱۰۰ میکرومول تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (شکل



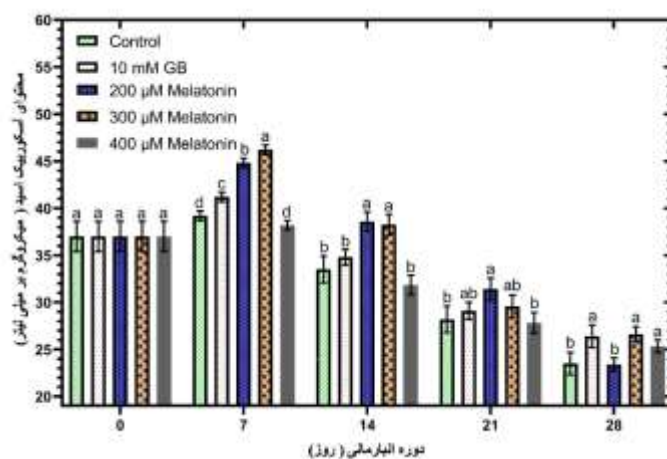
شکل ۳: درصد هدایت الکتریکی در میوه زردآلو در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۸ روز. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین گروه‌های تیمار و کنترل ($P < 0.05$) هستند.

افزایشی و سپس کاهشی در محتوای اسید آسکوربیک نشان دادند که به‌طور معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد بود. این نتایج نشان داد که تیمار با ملاتونین می‌تواند سنتز اسید آسکوربیک را در مرحله اولیه افزایش دهد و تجزیه اسید آسکوربیک را در مرحله بعدی تسکین دهد تا محتوای بهتری از اسید آسکوربیک حفظ شود.

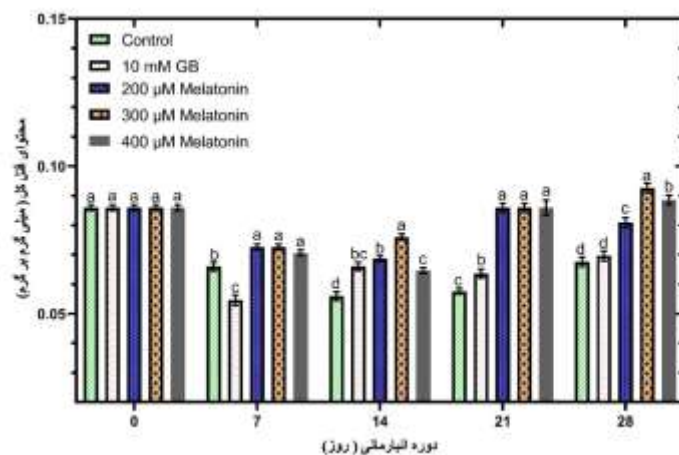
تأثیر تیمار با ملاتونین بر محتوای اسید آسکوربیک، کل فنل‌ها و فلاونوئیدها: در طول دوره نگهداری پس از برداشت، محتوای اسید آسکوربیک میوه‌های زردآلو گروه شاهد روند کاهشی نشان داد (شکل ۵)، و میوه‌های زردآلو تیمار شده با ملاتونین روندی



شکل ۴: محتوای مالون دی آلدئید در میوه زردآلو در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۲۸ روز. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین گروه‌های تیمار و کنترل ($P < 0.05$) هستند.



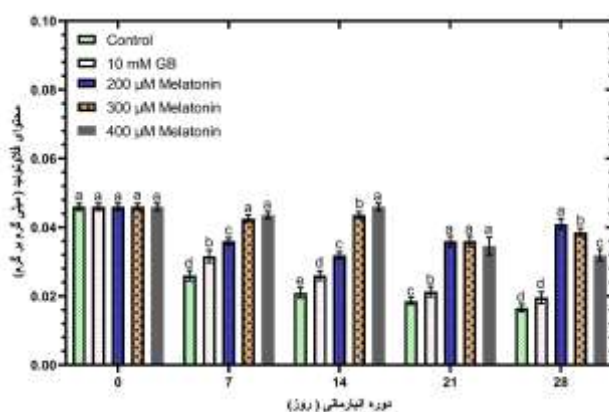
شکل ۵: محتوای آسکوربیک اسید در میوه زردآلو در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۲۸ روز. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین گروه‌های تیمار و کنترل ($P < 0.05$) هستند.



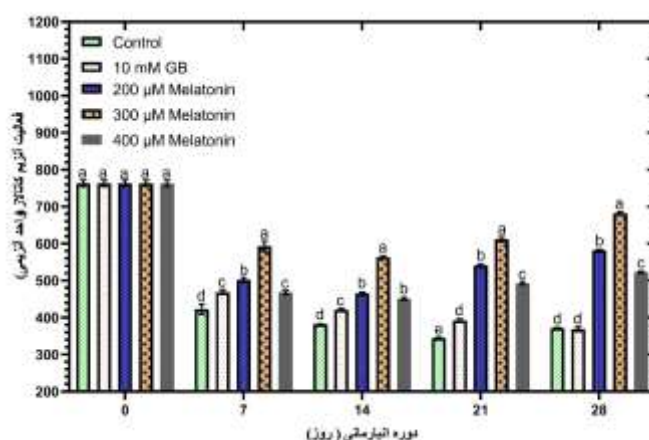
شکل ۶: محتوای فنل کل در میوه زردآلو در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۲۸ روز. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین گروه‌های تیمار و کنترل ($P < 0.05$) هستند.

گروه شاهد، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول در لیتر ملاتونین روندی کاهشی نشان داد (شکل ۷). در گروه تیمار شده با ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول در لیتر در روزهای ۷ و ۱۴ تا حدودی ثابت ماند سپس در روزهای ۲۱ و ۲۸ کاهش یافت. در میوه‌های زردآلو تیمار شده با ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول در لیتر ملاتونین، محتوای فلاونوئیدها در کل دوره بیشترین مقدار در نشان داد. براساس نتایج مشاهده شده در شکل‌های ۵، ۶ و ۷، نتایج حاکی از آن است که تیمار با ملاتونین می‌تواند تجزیه اسید آسکوربیک و کاهش محتوای کل فنول و فلاونوئیدها را به طور مؤثری به تأخیر اندازد. در میان آنها، تیمار با ۳۰۰ میکرومول در لیتر ملاتونین بهترین اثر را داشت.

از روز ۰ تا ۲۸ انبارمانی، محتوای کل فنل‌های میوه‌های زردآلو در گروه شاهد روند کاهشی مداوم نشان داد (شکل ۶). محتوای کل فنل‌های میوه‌های زردآلو تیمار شده با ملاتونین در روزهای ۷ و ۱۴ کاهش یافت، سپس در غلظت ۳۰۰ میکرومول به تدریج افزایش یافت و در روز ۲۸ به اوج رسید و با گروه شاهد تفاوت معنی‌داری داشت. بالاترین محتوای کل فنل میوه‌های زردآلو تیمار شده با ۳۰۰ میکرومول در لیتر ملاتونین ۰/۰۹۲۶ میلی گرم بر گرم بود. فلاونوئیدها متابولیت‌های ثانویه موجود در گیاهان با خواص آنتی اکسیدانی قوی هستند که می‌توانند رنگ و طعم میوه‌ها را تغییر دهند. در طول نگهداری، محتوای فلاونوئیدهای میوه‌های زردآلو تیمار شده با ملاتونین و



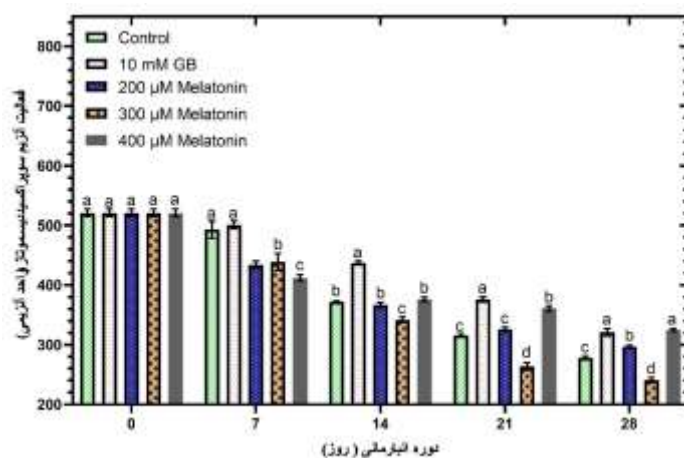
شکل ۷: محتوای فلاونوئیدها در میوه زردآلو در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۸ روز. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین گروه‌های تیمار و کنترل ($P < 0.05$) هستند.



شکل ۸: فعالیت آنزیم کاتالاز در میوه زردآلو در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۸ روز. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین گروه‌های تیمار و کنترل ($P < 0.05$) هستند.

اثر ملاتونین بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان میوه: فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) با بلوغ میوه کاهش یافت، با این حال فعالیت CAT در میوه‌های تیمار شده با ملاتونین در طول دوره نگهداری ال حدودی بالاتر از گروه شاهد باقی ماند (شکل ۸). در این میان، فعالیت CAT در میوه‌های تیمار شده با ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول بر لیتر ملاتونین در روزهای ۲۱ و ۲۸ به طور قابل توجهی بالاتر از گروه شاهد بود.

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در گروه شاهد و تیمار شده با ملاتونین روند کاهشی را در طول نگهداری نشان داد (شکل ۹). در روز ۲۸ نگهداری، فعالیت آنزیم SOD میوه زرد آلو کمترین مقدار را در کل دوره انبارمانی نشان داد. در روزهای ۷ و ۱۴، فعالیت آنزیم SOD میوه زرد آلو در تیمار ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول بر لیتر ملاتونین به طور قابل توجهی بالاتر از گروه شاهد بود.



شکل ۹: فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در میوه زردآلو در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۲۸ روز. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت‌های معنی‌دار بین گروه‌های تیمار و کنترل ($P < 0.05$) هستند.

بحث

همانطور که می‌دانیم زردآلو یک میوه آب‌میوه‌ای است، که بسیار در معرض خشک‌شدن پس از برداشت، بیماری‌ها و کوچک‌شدن پریکارپ (پوشش میوه) است (Kiran & Ketenoglu, 2022; Yilmaz et al., 2023). در حال حاضر، روش‌های اصلی برای نگهداری میوه زردآلو شامل تیمار حرارتی، نگهداری در دمای پایین، پوشش‌های خوراکی، تیمار با نگهدارنده‌های شیمیایی و نگهداری در اتمسفر شاهد شده است (Deng et al., 2019; Gurrieri et al., 2001; Mastilović et al., 2022; Varlı Yunusoğlu & Ekinçi, 2023; Zhang et al., 2018; Yu Zhang et al., 2023). نگهدارنده‌های شیمیایی به دلیل سهولت استفاده و آثار قابل توجه، به طور معمول در تولید و

حمل و نقل میوه‌ها و سبزیجات استفاده می‌شوند. در بین نگهدارنده‌های شیمیایی گسترده استفاده، کلرید کلسیم، ۱-متیل سیکلوپروپن، اسید سالیسیلیک و ملاتونین هستند (Aghdam et al., 2016; Ali et al., 2021; El-Mogy et al., 2019; Liang et al., 2023; L. Liu et al., 2024). این نگهدارنده‌ها در به تعویق انداختن رسیدن و پیری میوه‌ها و سبزیجات، حفظ طعم و کیفیت تغذیه‌ای آنها و افزایش زمان نگهداری آنها موثر هستند (Sati et al., 2023b). به ویژه، ملاتونین به عنوان ماده‌ای ایمن و دوستدار محیط زیست شناخته می‌شود و به‌طور گسترده در محصولات باغبانی به عنوان یک مهارکننده رادیکال‌های آزاد و آنتی اکسیدان موثر استفاده می‌شود

(Shang et al., 2021). در سال‌های اخیر، تعداد زیادی از مطالعات نشان داده‌اند که تیمار با ملاتونین در به تعویق انداختن پیری میوه و حفظ کیفیت میوه موثر است (Bhardwaj et al., 2022; Malekzadeh, 2024; Sati et al., 2023b; Shahbazi et al., 2023; Shekari et al., 2023).

در این مطالعه، تیمار مناسب با ملاتونین نه تنها از دست دادن وزن، کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای مالون دی‌الدهید، را به تأخیر انداخت، بلکه محتوای TSS و pH را نیز حفظ کرد. این نتایج با نتایج مشاهده‌شده در موز، گلابی، گوجه‌فرنگی و پاپایا مطابقت داشت (Dou et al., 2022; S. Fan et al., 2022; Wang et al., 2023; Wang et al., 2017). به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهد که تیمار با ملاتونین به‌طور موثر پیری میوه زردآلو را به تأخیر می‌اندازد و حفظ ویژگی‌های کلیدی کیفیت را بهبود می‌بخشد. سفتی میوه شاخص مهمی برای ارزیابی رسیدگی و کیفیت میوه است و از دست دادن آن به دلیل تخریب دیواره‌های سلولی، پکتین یا آمیلاز در میوه‌های تازه است (Chen et al., 2022). بنابراین، فرض شده است که تیمار با ملاتونین برونزاد می‌تواند تخریب دیواره‌های سلولی، پکتین و آمیلاز در میوه‌های زردآلو نگهداری شده در دمای اتاق را مهار کند (Bibi et al., 2023). محتوای مالون دی‌آلدهید شاخصی است که سلامت غشا پلاسمایی و حفظ تمامیت سلول را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۳-۴ مشاهده شد؛ میوه‌های زردآلو تیمار شده با ۳۰۰ میکرومول برلیتر ملاتونین به طور موثر افزایش مالون‌دی‌آلدهید را مهار کردند. این نکته حائز اهمیت است که غلظت‌های مختلف ملاتونین اثرات متفاوتی بر محتوای مالون‌دی‌آلدهید میوه زردآلو دارند. تیمار ۳۰۰ میکرومول برلیتر ملاتونین موثرترین روش برای مهار آسیب سرمازدگی و جلوگیری از پیری میوه زردآلو است، در حالی که تیمارهای ۱۰۰ میکرومول

برلیتر ملاتونین آسیب به دیواره سلولی میوه را شتاب می‌بخشد. مطالعات نشان می‌دهند که غلظت بالای (۱۰۰۰ میکرومول) ملاتونین برونزاد سنتز ملاتونین درونزا در میوه‌ها را افزایش می‌دهد، که باعث تولید اتیلن و در نتیجه، پیشبرد رسیدن و پیری میوه می‌شود (Aghdam et al., 2022; Peng et al., 2023). مشابه با این، در میوه‌های موز پس از برداشت، تیمار با غلظت‌های بالای ۱۰ میلی‌مولار ملاتونین باعث بالارفتن عامل رونویسی اتیلن ERF و پروتئین‌های وابسته به اتیلن شد و سبب تسریع پیری میوه زردآلو شد (Z. Wang et al., 2021).

بخوبی شناخته شده است که پیری پس از برداشت میوه، شامل خسارت سلولی، از جمله پراکسیداسیون لیپید، که منجر به از دست دادن یکپارچگی غشای سلول می‌شود، که با افزایش محتوای MDA و هدایت نسبی آشکار می‌گردد (Babalar et al., 2018; X. Liu et al., 2024). در این مطالعه، تیمار ملاتونین باعث کاهش هدایت نسبی و محتوای MDA، تاخیر در کاهش اسید آسکوربیک و بهبود تجمع کل فنل‌ها و فلاونوئیدها در میوه زرد آلو در مراحل بعدی ذخیره‌سازی شد (شکل ۴ تا ۹). محتوای اسید آسکوربیک، کل فنل‌ها و فلاونوئیدها در میوه‌های زرد آلو تیمار شده با ۳۰۰ میکرومول برلیتر ملاتونین در طول ذخیره‌سازی در مقایسه با سایر تیمارها به طور مداوم بالا باقی ماندند. گزارش شده است که میوه‌های نکتارین تیمار شده با ۱۰۰۰ میکرومول برلیتر ملاتونین سطوح بالای کل فنل‌ها و کاهش کمتر محتوای اسید آسکوربیک و فلاونوئیدها را حفظ کردند. نتایج مشابهی در مطالعه Liu و همکاران (۲۰۲۴) یافت شد، جایی که غوطه‌وری میوه‌های گلابی به مدت ۲۰ دقیقه با استفاده از ۱۰۰ میلی‌مول ملاتونین باعث کاهش کمتر اسید آسکوربیک و حفظ سطوح بالای غلظت کل فنلی و

این نشان می‌دهد که تیمار ملاتونین پراکسیداسیون لیپیدی غشاء را در زرد آلو کاهش می‌دهد و در نتیجه توانایی زرد آلو برای مقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از پیری را افزایش می‌دهد. بر اساس یافته‌های این پژوهش و سایر مطالعات، ملاتونین می‌تواند به عنوان یک جاروب کننده خوب ROS عمل کند تا میوه را از آسیب اکسیداتیو محافظت کند. در نهایت، با توجه به اینکه ملاتونین در انواع فرآورده‌های زیستی در ارگانسیم‌های زنده دخالت دارد و در محدوده وسیعی برای انسان کم سمیت است (Song et al., 2023; Wang et al., 2019)، ما تیمار ملاتونین را به عنوان راهی امیدوارکننده برای به تأخیر انداختن پیری پس از برداشت و حفظ کیفیت زرد آلو در نظر می‌گیریم.

نتیجه‌گیری نهایی

این مطالعه اثربخشی تیمار ملاتونین را در به تأخیر انداختن پیری پس از برداشت میوه زرد آلو در غلظت‌های مختلف (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میکرومول برلیتر) نشان می‌دهد. به ویژه، غلظت متوسط (۳۰۰ میکرومول برلیتر) ملاتونین بیشترین اثر حفاظتی را نشان داده است، که نشان‌دهنده غلظت بهینه برای حفاظت پس از برداشت میوه زرد آلو است. درکل، نتایج ما نشان می‌دهد که به تأخیر انداختن پیری مشاهده‌شده با تیمار ۳۰۰ میکرومول بر لیتر ملاتونین می‌تواند در نتیجه مهار تخریب غشا و همچنین افزایش سیستم آنتی‌اکسیدان آنزیمی و غیرآنزیمی باشد.

کل فلاوونوئید شد (L. Liu et al., 2024). در کنار سیستم‌های آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی، برخی از میوه‌ها سیستم‌های پاسخ آنزیمی را توسعه داده‌اند تا از صدمات اکسیداتیو پیشگیری کنند (T. T. Fan et al., 2022; Jarerat et al., 2022; Meng et al., 2022; Shekari et al., 2023).

سیستم‌های آنتی اکسیدانی آنزیمی همچون کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز راه اصلی برای برای جاروب کردن گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) هستند (Malekzadeh, 2024; Molla et al., 2022; Nahar et al., 2015). Fan و همکاران (۲۰۲۲) دریافتند که تیمارهای برونزاد ملاتونین می‌توانند عمرپس از برداشت میوه پایا را با افزایش فعالیت‌های SOD، CAT، POD و PPO بهبود ببخشند (S. Fan et al., 2022). همانطور که نتایج نشان داد تیمار برونزاد ملاتونین باعث افزایش فعالیت SOD و CAT شد، در نتیجه تعادل متابولیکی ROS را حفظ و کیفیت میوه را حفظ کرد. در این مطالعه، ما نشان داده‌ایم که تیمار ملاتونین کاهش فعالیت‌های CAT و SOD را به تأخیر انداخته است. این نشان می‌دهد که ملاتونین ممکن است با افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، در جاروب کردن ROS اضافی موثر باشد، و افزایش در فعالیت این آنزیم‌ها می‌تواند به حفظ یکپارچگی غشاهای پوست زرد آلو و به تأخیر پیری پوست میوه کمک کند. به طور مشابه، فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی اکسیدانی زرد آلو تیمار شده با ۳۰۰ میکرومول برلیتر ملاتونین به طور مداوم بالاتر از سایر تیمارها بود.

References

- Aghdam, M. S., Jannatizadeh, A., Sheikh-Assadi, M., & Malekzadeh, P. (2016). Alleviation of postharvest chilling injury in anthurium cut flowers by salicylic acid treatment. *Scientia Horticulturae*, 202, 70-76 .
- Aghdam, M. S., Mukherjee, S., Flores, F. B., Arnao, M. B., Luo, Z., & Corpas, F. J. (2022). Functions of melatonin during postharvest of horticultural crops. *Plant and Cell Physiology*, 63(12), 1764-1786 .
- Ali, M., Raza, M. A., Li, S., Zhou, L., Huan, C., Shuling, S., & Zheng, X. (2021). 1-MCP regulates ethanol fermentation and GABA shunt pathway involved in kiwifruit quality during postharvest storage. *Horticultural Plant Journal*, 7(1), 23-30 .

- Babalar, M., Pirzad, F., Sarcheshmeh, M. A. A., Talaei, A., & Lessani, H. (2018). Arginine treatment attenuates chilling injury of pomegranate fruit during cold storage by enhancing antioxidant system activity. *Postharvest Biology and Technology*, 137, 31-37 .
- Bhardwaj, R., Pareek, S., Saravanan, C., & Yahia, E. M. (2022). Contribution of pre-storage melatonin application to chilling tolerance of some mango fruit cultivars and relationship with polyamines metabolism and γ -aminobutyric acid shunt pathway. *Environmental and Experimental Botany*, 194, 104691 .
- Bibi, H., Haroon, U., Farhana, Kamal, A., Akbar, M., Anar, M., Batool, S. S., Bilal, A., Jabeen, H., & Ahmed, J. (2023). Impact of bacterial synthesized nanoparticles on quality attributes and postharvest disease control efficacy of apricot and loquat. *Journal of Food Science*, 88(9), 3920-3934 .
- Cao, S., Shao, J., Shi, L., Xu, L., Shen, Z., Chen, W., & Yang, Z. (2018). Melatonin increases chilling tolerance in postharvest peach fruit by alleviating oxidative damage. *Scientific reports*, 8(1), 806 .
- Chen, G., Hou, Y., Zheng, Y., & Jin, P. (2022). epibrassinolide enhance chilling tolerance of loquat fruit by regulating cell wall and membrane fatty acid metabolism. *Scientia Horticulturae*, 295, 110813 .
- Deng, L.-Z., Pan, Z., Zhang, Q., Liu, Z.-L., Zhang, Y., Meng, J.-S., Gao, Z.-J., & Xiao, H.-W. (2019). Effects of ripening stage on physicochemical properties, drying kinetics, pectin polysaccharides contents and nanostructure of apricots. *Carbohydrate polymers*, 222, 114980 .
- Dou, J., Wang, J., Tang, Z., Yu, J., Wu, Y., Liu, Z., Wang, J., Wang, G., & Tian, Q. (2022). Application of exogenous melatonin improves tomato fruit quality by promoting the accumulation of primary and secondary metabolites. *Foods*, 11(24), 4097 .
- El-Mogy, M. M., Ali, M. R., Darwish, O. S., & Rogers, H. J. (2019). Impact of salicylic acid, abscisic acid, and methyl jasmonate on postharvest quality and bioactive compounds of cultivated strawberry fruit. *Journal of Berry Research*, 9(2), 333-348 .
- Fan, S., Li, Q., Feng, S., Lei, Q., Abbas, F., Yao, Y., Chen, W., Li, X & ,Zhu, X. (2022). Melatonin maintains fruit quality and reduces anthracnose in postharvest papaya via enhancement of antioxidants and inhibition of pathogen development. *Antioxidants*, 11(5), 804 .
- Fan, T. T., Zhang, J., Cao, J. X., Xia, M. H., Wang, T., & Cao, S. (2022). Effects of resveratrol treatment on quality and antioxidant properties of postharvest strawberry fruit. *Journal of food Biochemistry*, 46(8), e14176 .
- Gao, H., Zhang, Z., Lv, X., Cheng, N., Peng, B., & Cao, W. (2016). Effect of 24-epibrassinolide on chilling injury of peach fruit in relation to phenolic and proline metabolisms. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 390-397 .
- Gurrieri, F., Audergon, J.-M., Albagnac, G., & Reich, M. (2001). Soluble sugars and carboxylic acids in ripe apricot fruit as parameters for distinguishing different cultivars. *Euphytica*, 117(3), 183-189 .
- He, Z., Wen, C., & Xu, W. (2023). Effects of Endogenous Melatonin Deficiency on the Growth, Productivity, and Fruit Quality Properties of Tomato Plants .*Horticulturae*, 9(8), 851 .
- Jararat, A., Techavuthiporn, C., Chanchomsuek, C., & Nimitkeatkai, H. (2022). Enhancement of antioxidant activity and bioactive compounds in eggplants using postharvest LEDs irradiation. *Horticulturae*, 8(2), 134 .
- Jiao, J., Jin, M., Liu, H., Suo, J., Yin, X., Zhu, Q., & Rao, J. (2022). Application of melatonin in kiwifruit (*Actinidia chinensis*) alleviated chilling injury during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 296, 110876 .
- Kiralan, M., & Ketenoglu, O. (2022). Apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernel: a valuable by-product. In *Mediterranean Fruits Bio-wastes: Chemistry, Functionality and Technological Applications* (pp. 547-558). Springer .
- Liang, C., Cui, X., Sun, C., Ye, S., Huang, N., Chen, R., Zhang, A., Yang, Y., Gong, H., & Sun, S. (2023). Synergistic and antagonistic effects of preharvest salicylic acid and postharvest 1-

- methylcyclopropene treatments on the storage quality of apricot. *Food Chemistry*, 405, 134764 .
- Liu, L., Huang, A., Wang, B., Zhang, H., Zheng, Y., & Wang, L. (2024). Melatonin mobilizes the metabolism of sugars, ascorbic acid and amino acids to cope with chilling injury in postharvest pear fruit. *Scientia Horticulturae*, 323, 112548 .
- Liu, X., Wei, L., Miao, C., Zhang, Q., Yan, J., Li, S., Chen, H., & Qin, W. (2024). Application of exogenous phenolic compounds in improving postharvest fruits quality: Classification, potential biochemical mechanisms and synergistic treatment. *Food Reviews International*, 40(6), 1776-1795 .
- Malekzadeh, P. (2024). The effect of melatonin treatment in improving the antioxidant system and increasing the shelf life of post-harvesting of bell peppers (*Capsicum annum* L.). *Journal of Environmental Science Studies*, 8(4), 7218-7232.
- Malekzadeh, P. (2022). The effect of folic acid treatment on the post-harvest life of cucumber through influencing the activity of enzymes involved in the biosynthesis of proline, polyamine, and chlorophyll-degradation. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 17; 67:126-139.
- Mastilović, J., Kevrešan, Ž., Milović, M., Kovač, R., Milić, B., Magazin, N., Plavšić, D., & Kalajdžić, J. (2022). Effects of ripening stage and postharvest treatment on apricot (*Prunus armeniaca* L.) cv. NS4 delivered to the consumers. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, (۳) e16399 .
- Meng, Z., Wang, T., Malik, A. U., & Wang, Q. (2022). Exogenous isoleucine can confer browning resistance on fresh-cut potato by suppressing polyphenol oxidase activity and improving the antioxidant capacity. *Postharvest Biology and Technology* . ۱۱۱۷۷۲, ۱۸۴ .
- Molla, S. M. H., Rastegar, S., Omran, V. G., & Khademi, O. (2022). Ameliorative effect of melatonin against storage chilling injury in pomegranate husk and arils through promoting the antioxidant system. *Scientia Horticulturae*, 295, 11088 .^۹
- Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Alam, M. M., & Fujita, M. (2015). Exogenous glutathione confers high temperature stress tolerance in mung bean (*Vigna radiata* L.) by modulating antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system. *Environmental and Experimental Botany*, 112, 44-54 .
- Peng, J., Zhu, S., Lin, X., Wan, X., Zhang, Q., Njie, A., Luo, D., Long, Y., Fan, R., & Dong, X. (2023). Evaluation of Preharvest Melatonin on Soft Rot and Quality of Kiwifruit Based on Principal Component Analysis. *Foods*, 12(7), 1414 .
- Sati, H., Khandelwal, A., & Pareek, S. (2023a). Effect of exogenous melatonin in fruit postharvest, crosstalk with hormones, and defense mechanism for oxidative stress management. *Food Frontiers* .
- Sati, H., Khandelwal, A., & Pareek, S. (2023b). Effect of exogenous melatonin in fruit postharvest, crosstalk with hormones, and defense mechanism for oxidative stress management. *Food Frontiers*, 4(1), 233-261 .
- Shahbazi, S., Hatamnia, A. A., & Malekzadeh, P. (2023). Effect of Melatonin Treatment on Post-Harvest Life of Broccoli during Storage. *Journal of Vegetables Sciences*, 6 .(۲)
- Shang, F., Liu, R., Wu, W., Han, Y., Fang, X., Chen, H., & Gao, H. (2021). Effects of melatonin on the components, quality and antioxidant activities of blueberry fruits. *LWT*, 147, 111582 .
- Shekari, A., Naghsiband Hassani, R., Soleimani Aghdam, M., Rezaii, M., & Janatizadeh, A. (2023). The effect of postharvest treatments of melatonin and γ -aminobutyric acid on improving antioxidant activity and reducing browning of fresh cut button mushroom (*Agaricus bisporus*) during cold storage. *Journal of Plant Production Research*, 29(4), 45-61 .
- Song, L., Tan, Z., Zhang, W., Li, Q., Jiang, Z., Shen, S., Luo, S., & Chen, X. (2023). Exogenous melatonin improves the chilling tolerance and preharvest fruit shelf life in eggplant by affecting ROS-and senescence-related processes. *Horticultural Plant Journal*, 9(3), 523-540 .

- Varlı Yunusoğlu, S., & Ekinci, N. (2023). The Effect of Post-Harvest Salicylic Acid and Modified Atmosphere Packaging Treatments on the Storage of 'Roxana' Apricots. *Erwerbs-Obstbau*, 1-9 .
- Wang, D., Li, D., Xu, Y., Li, L., Belwal, T., Zhang, X., & Luo, Z. (2021). Elevated CO₂ alleviates browning development by modulating metabolisms of membrane lipids, proline, and GABA in fresh-cut Asian pear fruit. *Scientia Horticulturae*, 281, 109932 .
- Wang, F., Zhang, X., Yang, Q., & Zhao, Q. (2019). Exogenous melatonin delays postharvest fruit senescence and maintains the quality of sweet cherries. *Food Chemistry*, 301, 125311 .
- Wang, M., Li, Y., Li, C., Xu, H., Sun, T., & Ge, Y. (2023). Melatonin induces resistance against *Penicillium expansum* in apple fruit through enhancing phenylpropanoid metabolism. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 102082 .
- Wang, X., Gu, S., Chen, B., Huang, J., & Xing, J. (2017). Effect of postharvest l-arginine or cholesterol treatment on the quality of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spears during low temperature storage. *Scientia Horticulturae*, 225, 788-794. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.058>
- Wang, Z., Pu, H., Shan, S., Zhang, P., Li, J., Song, H., & Xu, X. (2021). Melatonin enhanced chilling tolerance and alleviated peel browning of banana fruit under low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 179, 111571.
- Yilmaz, N., Islek, F., Cavusoglu, S., Nečas, T., Ondrášek, I., & Ercisli, S. (2023). Effect of exogenous essential oil treatments on the storage behaviour of apricot fruit harvested at different altitudes. *Folia Horticulturae* .
- Zhang, L., Chen, F., Lai, S., Wang, H., & Yang, H. (2018). Impact of soybean protein isolate-chitosan edible coating on the softening of apricot fruit during storage. *LWT*, 96, 604-611.
- Zhang, Y., Tang, H., Lei, D., Zhao, B., Zhou, X., Yao, W., Fan, J., Lin, Y., Chen, Q., & Wang, Y. (2023). Exogenous melatonin maintains postharvest quality in kiwiberry fruit by regulating sugar metabolism during cold storage. *LWT*, 174, 114385 .
- Zhang, Y., Zhu, X., Ma, H., Ren, X., Shi, H., Liu, Z., & Liang, J. (2023). Exogenous glucose reduces the incidence of black rot disease in apricot (*Prunus armeniaca* L.) by regulating energy metabolism and ROS. *Scientia Horticulturae*, 313, 111903.