



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

بهبود کیفیت پس از برداشت و افزایش عمر انباری پرتقال رقم مارس ارلی با کاربرد ملاتونین

محمد رضا پور ابراهیمی^۱ لیلا جعفری^{۲*} عبدالمجید میرزا علیان دستجردی^۲

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت، گروه علوم باغبانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

ملاتونین، یک هورمون طبیعی با خاصیت آنتی اکسیدانی و تنظیم کنندگی رشد، اخیراً به عنوان یک عامل مؤثر در حفظ کیفیت پس از برداشت میوه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. تحقیق حاضر به منظور بررسی نقش ملاتونین بر خصوصیات پس از برداشت میوه پرتقال طی دوره انبارمانی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه هرمزگان، در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ انجام شد. میوه‌ها پس از تیماردهی با ملاتونین در غلظت‌های ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار به مدت ۹۰ روز در سردخانه با دمای 1 ± 5 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 5 ± 90 درصد قرار داده شده و با نمونه‌گیری به فاصله هر ۳۰ روز پارامترهایی نظیر کاهش وزن، اسید قابل تیتراسیون، اسید آسکوربیک، سفتی، مواد جامد محلول، آنتی اکسیدان کل و ترکیبات فنلی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد میوه‌های تیمار شده با ملاتونین در غلظت ۴۰۰ میکرومولار نسبت به سایر تیمارها و شاهد، میزان ($35/80$ درصد) کاهش وزن کمتری داشتند و همچنین در این میوه‌ها میزان ترکیبات فنلی ($354/8$ میکروگرم در هر گرم وزن تازه)، سفتی ($49/75$ نیوتن)، اسید آسکوربیک ($61/73$ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر)، آنتی اکسیدان کل ($37/76$ درصد)، اسید قابل تیتراسیون ($1/03$ درصد) افزایش یافتند. میوه‌های تیمار شده با ملاتونین در غلظت ۴۰۰ میکرومولار کمترین میزان مواد جامد قابل حل ($13/21$ درصد بریکس) را نشان دادند. ترکیب ملاتونین خاصیت آنتی اکسیدانی بالایی داشته و قادر است مانند یک ترکیب محافظت کننده عمل کرده و رادیکال‌های آزاد را مهار نماید. در این پژوهش دیده شد غلظت ۴۰۰ میکرومولار توانسته است عمر انبارمانی میوه پرتقال را با حفظ خواص آنتی اکسیدانی افزایش دهد و کیفیت را بهبود بخشد.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱

تاریخ داوری: ۱۴۰۵/۰۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۹

کلمات کلیدی:

آنتی اکسیدان،

اسید آسکوربیک،

سفتی،

فنل،

کیفیت

DOI: 10.4831/fsct.2026.118268.82983

* مسئول مکاتبات:

jafari.leila@hormozgan.ac.ir

۱-مقدمه

مرکبات از خانواده Rutaceae و زیر خانواده Aurantioideae و عمدتاً از جنس Citrus هستند. مرکبات محبوب‌ترین محصول میوه در سراسر جهان بوده و برای رشد در کشورهای مدیترانه‌ای، چین، آمریکا و برزیل مناسب است. کل مساحت اختصاص داده شده به تولید مرکبات حدود ۹/۹۳ میلیون هکتار می‌باشد. مجموع تولید پرتقال، نارنگی، لیمو و لیمو ترش و گریپ فروت به ترتیب حدود ۷۵/۷، ۴۱/۹۵، ۲۰/۸۳، ۹/۵۶ میلیون تن در سال ۲۰۲۱ بوده است [۱]. مرکبات سرشار از مواد مغذی، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، اسید آسکوربیک و فنلیک و سایر ترکیبات فعال زیستی هستند که برای سلامت انسان بسیار مفید شناخته شده اند [۲]. مرکبات از مهم‌ترین میوه‌ها در تجارت جهانی (واردات/صادرات) هستند و تقاضای این محصولات در سراسر جهان عمدتاً به دلیل مزایای سلامت پذیرفته شده علمی و آنتی‌اکسیدان بالا و محتوای بالای اسید آسکوربیک آن است. با این حال، مرکبات از مشکلات متعدد تولید و پس از برداشت، از جمله آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز، ترک‌خوردن میوه، مشکلات عملکرد و کاهش کیفیت پس از برداشت رنج می‌برند. پرتقال *Citrus sinensis* رایج‌ترین میوه درختی در جهان است [۳]. به به دلیل حساس بودن به بیماری‌های قارچی هر ساله بخش قابل ملاحظه‌ای از میوه‌های تولیدی در مراحل پس از برداشت و انبارمانی از بین می‌روند. وقفه طولانی بین زمان برداشت و مصرف مرکبات، ضایعات زیادی را از طریق بیماری‌های قارچی، باکتریایی و فیزیولوژیکی سبب شود. ز دست دادن آب (آب رفتگی) در زمان انبارمانی، یک چالش بزرگ برای بازاریابی و صادرات پرتقال محسوب می‌شود که می‌تواند کیفیت محصول را کاهش دهد.

پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها، فعالیت‌های بیولوژیکی مانند تنفس و تعرق ادامه می‌یابد که منجر به از دست دادن آب و املاح می‌شود، و در نتیجه کیفیت محصولات تازه در

طول ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد. برای حفظ کیفیت میوه و افزایش ماندگاری، تکنیک‌های فیزیکی و/یا شیمیایی مختلفی در طول فرآیندهای پس از برداشت توسعه یافته و به کار گرفته شده‌اند. از جمله غوطه‌وری در آب الکترولیز شده داغ [۴]، بخور دادن با اکسید نیتریک [۵] و تیمارهای تنظیم‌کننده رشد گیاهی بازدارنده پیری (به عنوان مثال، ۲،۴-دی کلروفنوکسی استیک اسید و آنالوگ‌های آن، جیبرلین، ۲۴-اپی براسینولید، MCP-۱ و غیره) [۶ و ۷].

ملاتونین (N-acetyl-5-methoxytryptamine) یک مولکول پیام رسان غیرسمی با عملکردهای فیزیولوژیکی متعدد است که در همه‌جا در گونه‌های مختلف گیاهی یافت می‌شود [۸]. در ابتدا، ملاتونین در حیوانات یافت شد، اما آزمایش‌های بعدی نشان داد که ملاتونین در گیاهان نیز وجود دارد [۵] و در کل فرآیند رشد و توسعه دانه‌های گیاهی نقش دارد [۹]. بهبود در جوانه‌زنی بذر، فتوسنتز، تولید زیست توده، ریتم شبانه‌روزی، شبکه ردوکس، یکپارچگی غشاء، رشد ریشه، پیری برگ، تنظیم اسمزی و تنش غیرزیستی همگی با ملاتونین مرتبط هستند. در سال‌های اخیر، محققان دریافته‌اند که ملاتونین با مهار سنتز اتیلن، کاهش سرعت تنفس میوه [۱۰] و از بین بردن رادیکال‌های آزاد و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، میوه‌های پس از برداشت را حفظ می‌کند [۵]. فن و همکاران [۱۱] پایایا را در محلول‌های ملاتونین در غلظت‌های مختلف (۱۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ میکرومول در لیتر) غوطه‌ور کردند و دریافتند که ملاتونین کیفیت میوه‌های پایایا را با افزایش مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی و مرتبط با دفاع بهبود می‌بخشد. تیمار میوه‌های گواوا با محلول ۶۰۰ میکرومول در لیتر ملاتونین به مدت ۲ ساعت به‌طور موثری فعالیت کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز را افزایش و محتوای O_2^- و H_2O_2 مالون دآلدهید (MDA) را کاهش داد که در مجموع سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی و دفاعی میوه گواوا به گونه‌ای بهبود یافته‌اند که به حفظ کیفیت میوه و افزایش مقاومت آن در برابر بیماری‌ها کمک می‌کنند [۱۱]. تان و همکاران [۱۲]

که با استفاده از آب مقطر در غلظت‌های ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومول در لیتر تهیه شده بود غوطه‌ور شدند. میوه‌های خیس جهت خشک شدن در یک محیط تهویه قرار شد و سپس در کیسه پلی‌اتیلن ۴۰×۵۰ سانتی‌متری قرار گرفت. در این میان از تیمار آب مقطر به‌عنوان گروه کنترل استفاده شد. میوه‌ها به سردخانه منتقل و در دمای 5 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 90 ± 5 درصد قرار داده شدند. در فواصل زمانی هر ۳۰ روز یکبار، کاهش وزن، موادجامد محلول، اسیدآسکوربیک، اسید قابل تیتر و pH آب میوه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۱-۲- کاهش وزن میوه

میوه‌های انتخاب شده در شروع آزمایش و نیز طی دوره انبارمانی وزن شده و کاهش وزن آنها محاسبه شد. برای اندازه‌گیری وزن میوه قبل از ورود به انبار و پس از بیرون آوردن از آن در روزهای آزمایش از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده گردید. کاهش وزن میوه به‌صورت زیر محاسبه شد [۱۸].

رابطه (۱) وزن اولیه / وزن ثانویه $\times 100 - 100$ = درصد کاهش وزن

۲-۲- اندازه‌گیری مواد جامد محلول

شاخص مواد جامد محلول برحسب درصد بریکس آب میوه با استفاده از رفاکومتر دیجیتالی (DBR95, Taiwan) اندازه‌گیری شد. برای این روش ابتدا آب میوه‌ها با آب میوه‌گیر دستی گرفته، سپس از کاغذ صافی عبور داده و چند قطره از آن روی صفحه منشور دستگاه ریخته شد و مقدار مواد جامد محلول توسط دستگاه رفاکومتر دیجیتالی قرائت گردید [۱۸].

۳-۲- اسید قابل تیتراسیون:

سنجش اسید قابل تیتراسیون با استفاده از تیتراسیون با محلول سود ۰/۱ نرمال انجام شد. بدین منظور ۵ میلی‌لیتر از

بیان کردند که استفاده از ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین بیان ژن هومولوگ اکسیداز انفجاری تنفسی (RBOH) را که ظرفیت مهار رادیکال O_2^- ، DPPH بالاتر و فعالیت‌های پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و بیان ژن آنها را افزایش می‌دهد، مهار کرد. مطالعات مختلف نشان داده اند که ملاتونین به‌طور قابل توجهی رسیدن پس از برداشت را به‌تأخیر می‌اندازد، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد و روند پیری را در محصولات باغی مانند لیچی [۱۳]، هلو [۱۴] و سیب [۱۵] را کند می‌کند. در مطالعه‌ای که توسط رستگار و همکاران [۱۶] جهت بررسی تأثیر ملاتونین بر نارنگی ارلاندو انجام شد، کاربرد ملاتونین باعث بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی، افزایش فنل کل، فلاونوئید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شد. ملاتونین باعث تحریک پیام رسان پراکسیداز هیدروژن و فعال کردن نسخه برداری از سنتز آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی می‌شود [۱۷].

با توجه به اینکه تاکنون هیچ مطالعه‌ای برای بررسی اثر تیمار ملاتونین بر کیفیت پس از برداشت در مرکبات وجود ندارد. بنابراین، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف ملاتونین بر خواص کیفی میوه پرتقال طی سه ماه انبارمانی انجام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش میوه‌های پرتقال رقم مارس ارلی در مرحله بالغ از باغ تحقیقاتی کشت و صنعت جیرفت برداشت و به آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه هرمزگان منتقل شدند. سپس میوه‌ها از لحاظ شکل، اندازه، عاری بودن از آفات و بیماری‌ها و صدمات ظاهری بررسی شده و میوه‌هایی سالم و عاری از آفات و بیماری انتخاب گردیدند. میوه‌ها جهت ضدعفونی به‌مدت ۱ دقیقه در هیپوکلریت سدیم (محلول ۰/۵ درصد) فرو برده شده و سپس به‌مدت ۳۰ دقیقه در آب مقطر شستشو داده شدند.

جهت تیمار، میوه‌های پرتقال به چهار گروه تقسیم شدند و به‌مدت ۳۰ دقیقه در آب مقطر (کنترل)، محلول ملاتونین

آب میوه در ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتر ریخته و ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزوده گردید. سپس با استفاده از پورت ۵۰ میلی‌لیتری عمل تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به $pH = 8/1$ انجام شد و مقدار اسید قابل تیتراسیون بر حسب درصد اسید سیتریک (اسید غالب میوه پرتقال) گزارش گردید [۱۹].

۴-۲-۴-اسید آسکوربیک

برای اندازه‌گیری اسید آسکوربیک، با روش رنگ‌سنجی و با استفاده از منحنی استاندارد ال-آسکوربیک اندازه‌گیری شد. در این روش ابتدا ۰/۱ میلی‌لیتر از آب میوه به ۱۰ میلی‌لیتر از اسید متافسفریک (یک درصد) اضافه و با دستگاه ورتکس به شدت تکان داده شد. در ادامه یک میلی‌لیتر از این محلول به ۹ میلی‌لیتر از محلول ۲ و ۶ دی‌کلروفل-ایندوفنل (۰/۰۰۲۵ درصد) اضافه و مجدداً تکان داده شد و سپس با استفاده از دستگاه میکروپلیت ریدر (Epoch 2; Bio-Tek, USA) جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت شد. مقدار اسید آسکوربیک برحسب میلی‌گرم اسید آسکوربیک در هر ۱۰۰ گرم بافت تازه به دست آمد [۱۹].

۵-۲-۵-سفتی میوه

سفتی میوه با استفاده از دستگاه پترومتر (Model 53205, Turoni, Italy) و پروپ با قطر ۸ میلی‌متر در دو نقطه مقابل ناحیه استوایی میوه و برحسب نیوتن، اندازه‌گیری شد [۱۸].

۶-۲-۶-فنل کل

محتوای فنل کل نمونه‌ها با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. ابتدا مقدار نیم گرم از بافت گیاهی را در سه میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد ساییده و به صورت محلول همگن درآمد و سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در سانتیفریوژ با دور ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شدند. ۳۰۰ میکرولیتر از روشناور با ۱/۵ میلی‌لیتر فولین سیوکالتیو ۱۰ درصد ترکیب و بعد از ۵ دقیقه ۱/۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷ درصد به آن

اضافه شد و محلول نهایی به مدت ۱/۵ ساعت در تاریکی روی شیکر قرار گرفت و سپس با طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه میکروپلیت ریدر (Epoch 2; Bio-Tek, USA) خوانده شد. میزان فنل کل با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک و براساس میکروگرم اسید گالیک در هر گرم محاسبه گردید [۲۰].

۷-۲-۷-فعالیت آنتی‌اکسیدان

فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش مبتنی بر به دام‌اندازی رادیکال‌های آزاد شاخص، با نام ۲ و ۲-دی‌فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل توسط عوامل آنتی‌اکسیدانی میوه انجام شد. در این روش ۳۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۲۷۰ میکرولیتر ۲ و ۲-دی‌فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل (۰/۱ میلی‌مولار) مخلوط و توسط دستگاه ورتکس به هم زده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در محیط تاریک قرار داده شد و جذب نمونه‌ها با استفاده از میکروپلیت ریدر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد [۲۰].

رابطه (۲)

$$(\text{جذب شاهد} / \text{جذب نمونه}) - 1 = \text{فعالیت آنتی‌اکسیدانی} \times 100$$
 (%)

۸-۲-۸-طرح آزمایشی مورد استفاده:

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و پنج میوه در هر تکرار اجرا شد. فاکتور اول آزمایش شامل چهار سطح تیمار و فاکتور دوم آزمایش شامل چهار سطح زمان انبارمانی بود. واکاوی آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS ورژن ۹/۴ انجام گردید. رسم شکل‌ها نیز به وسیله نرم افزار اکسل صورت پذیرفت.

۳-نتایج و بحث

۱-۳-کاهش وزن

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، مشخص کرد که هر سه عامل تیمار، زمان نگهداری و همچنین اثر متقابل آن دو بر روی شاخص کاهش وزن میوه پرتقال، در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. در طی انبارمانی میزان آب از

و سازگار با محیط زیست در حفظ آب و تاخیر کاهش از دست‌دهی وزن میوه در طی انبار و نیز رسیدن میوه فرازگرا (سیب) و غیر فرازگرا (انگور) موثر بوده است [۲۲، ۲۳]. شانگ و همکاران [۲۴] گزارش داد که ۰/۰۵ میلی‌مولار از تیمار ملاتونین به‌طور موثر زمان ذخیره سازی را تا ۴۲ روز میوه زغال اخته آبی افزایش داد. در این مطالعه، تیمار ملاتونین کاهش وزن میوه پرتقال را به‌تأخیر انداخت. این نتایج با نتایج مشاهده شده در موز [۲۵]، گلابی [۲۶] و گوجه‌فرنگی [۲۷] هم‌خوانی داشت. به‌طور کلی، این نتایج نشان می‌دهد که تیمار ملاتونین به‌طور موثر کاهش وزن میوه را به سبب اثر ضدپیری و آنتی‌اکسیدانی تاخیر می‌اندازد و از این طریق موجب کاهش تنفس، تعرق و نفوذپذیری پوست پرتقال شده و در نتیجه باعث حداقل کاهش وزن و افزایش کیفیت میوه پرتقال می‌شود.

دست‌دهی و کاهش وزن میوه روند افزایشی دارد. به‌طوری‌که حداکثر میزان کاهش وزن پرتقال (0.15 ± 0.07 درصد) مربوط به تیمار شاهد و در روز ۹۰ نگهداری در انبار و حداقل میزان کاهش (0.20 ± 0.04 درصد) در انتهای دوره نگهداری وزن، مربوط به تیمار ۴۰۰ میکرومولار ملاتونین می‌باشد. همچنین نتایج بیانگر، عدم اختلاف معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف ملاتونین پس از ۹۰ روز انبارمانی بود (شکل ۱). تغییرات میوه در طول ذخیره سازی ارتباط نزدیکی با تغییرات سفتی و کاهش وزن دارد [۲۱]. آب از دست‌دهی و کاهش وزن میوه طی انبارمانی امری طبیعی است که طی آن آب از سطح میوه تبخیر می‌شود. قطع شدن رابطه آبی میوه با گیاه مادری و افزایش تعرق در سطح میوه، دو عامل موثر هستند که نقش بسزایی در آب از دست‌دهی و کاهش وزن محصول در طی انبار دارد. ملاتونین به‌عنوان یک ماده ایمن

Table 1. Analysis of variance (mean of squares) of quality traits of orange fruits

Sources of variation	df	TSS	Ascorbic acid	Firmness	Total phenol	Weight loss	Titrateable acidity	Total antioxidants
time	3	12.72**	349.237**	365.721**	920.511**	60.22**	2.147**	161.451**
Treatment	3	4.5272**	139.936**	87.057**	6288.521**	6.952**	0.062**	39.002**
Repetition	2	0.322 ^{ns}	6.349 ^{ns}	0.098 ^{ns}	85.151 ^{ns}	0.242 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.52 ^{ns}
Treatment×time	9	1.092**	23.160**	19.55*	2788.926**	1.054**	0.033**	8.162**
Error	31	0.0470	2.39	98.531	66.874	0.217	0.055	0.615
Total	48	-	-	-	-	-	-	-

^{ns}, *, ** Not-significant, significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

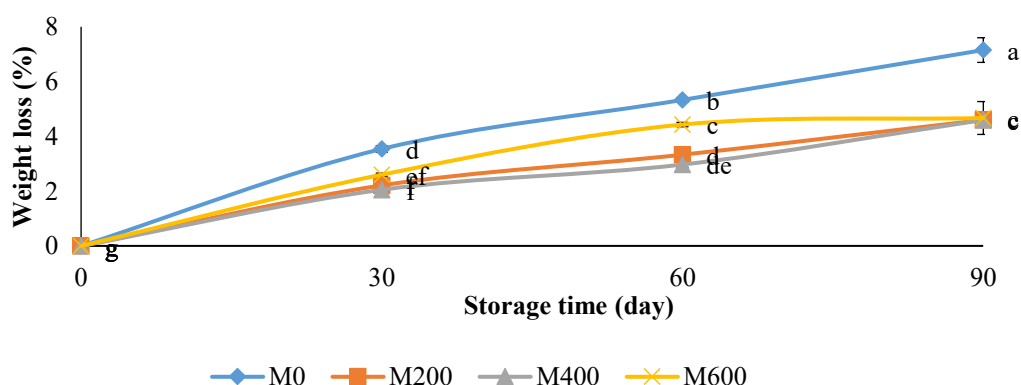


Figure 1. Changes in the weight loss of orange fruit treated with different concentrations of melatonin during storage. Different letters on each day indicate significant differences between the data ($p < 0.05$). M0: control, M200: containing 200 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M400: containing 400 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M600: containing 600 $\mu\text{mol/L}$ melatonin

۲-۳-سفتی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های سفتی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میوه‌های شاهد و تیمار شده با ملاتونین در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به تأثیر تیمار مورد استفاده و زمان نگهداری بر میزان سفتی میوه پرتقال نشان داد که تیمار ملاتونین باعث حفظ بهتر سفتی میوه پرتقال در طی انبارمانی شد. با گذشت دوره انبارمانی در همه تیمارها میزان سفتی روند کاهشی داشته است. پس از ۹۰ روز انبارمانی، تیمار شاهد کمترین میزان سفتی بافت ($7/15 \pm 0/45$ درصد) و بیشترین میزان سفتی بافت مربوط به تیمار با غلظت ۴۰۰ میکرومولار ملاتونین ($49/75$ نیوتن) بود. سفتی یک شاخص مهم برای قضاوت درباره رسیدگی و ارزیابی کیفیت میوه است و از دست دادن آن در نتیجه تخریب دیواره سلولی، پکتین یا آمیلاز در میوه تازه است

[۲۸]. استفاده از ملاتونین باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب کننده دیواره سلولی می‌شود. کاهش در میزان سفتی به دلیل تجزیه پلی‌ساکاریدهای ساختمانی به ویژه همی سلولز و پکتین‌ها می‌باشد [۱۱]. نتایج تحقیقات مشابه نشان می‌دهد که استفاده از ملاتونین باعث حفظ سفتی میوه‌ها در طی نگهداری می‌شود [۲۹ و ۳۰]. همراه با کاربون-آنتلی و همکاران [۳۱] و بال و همکاران [۳۲] دریافتند که سفتی میوه‌های گیلان تیمار شده با ملاتونین و گیلان تیمار نشده در طول انبارمانی کاهش یافتند، اما این کاهش سفتی در گیلان تیمار شده با ملاتونین به تعویق افتاد. در این مطالعه نیز استفاده از ملاتونین، با تأثیر هم‌افزایی خود باعث تأخیر در شروع و روند نرم‌شدگی میوه پرتقال شد. مطالعات نشان داده است که ملاتونین از طریق تأخیر در تنش اکسیداتیو و در نتیجه جلوگیری از پراکسیداسیون چربی غشاء، باعث حفظ پایداری غشاء می‌گردد [۳۳].

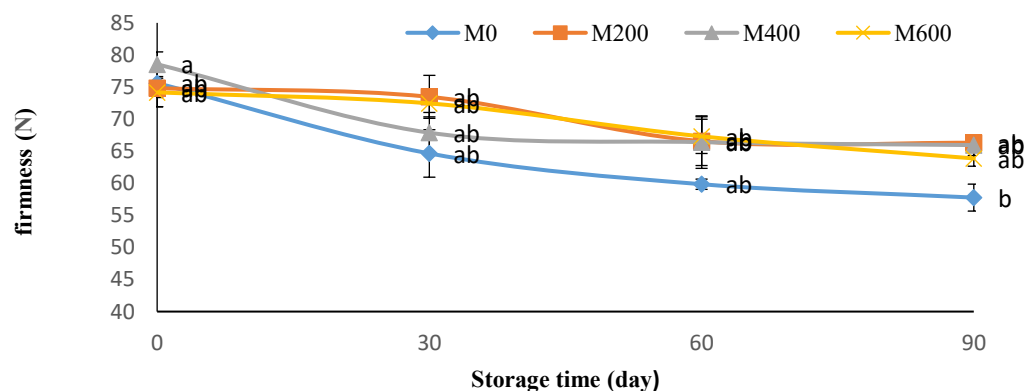


Figure 2. Changes in firmness of orange fruit treated with different concentrations of melatonin during storage (percentage)

Different letters on each day indicate significant differences between the data ($p < 0.05$).

M0: control, M200: containing 200 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M400: containing 400 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M600: containing 600 $\mu\text{mol/L}$ melatonin

تدریجی تا انتهای دوره انبارمانی دیده می‌شود. تفاوت معنی‌داری میان تیمارهای مختلف با شاهد دیده شد. به طوری که کمترین اسید آسکوربیک در شاهد ($1 \text{ FW } 45/23$) پس از ۹۰ روز انبارمانی، بیشترین در غلظت ۴۰۰ میکرومولار ملاتونین ($61/73 \text{ mg } 100\text{g}^{-1} \text{ FW}$)

۳-۳-اسید آسکوربیک

طبق نتایج (نمودار ۳) طی مدت انبارمانی، محتوای اسید آسکوربیک پرتقال در تیمارهای ملاتونین ابتدا کاهش و سپس ثابت می‌ماند اما در شاهد روند کاهشی به صورت

است ناشی از افزایش اکسیداسیون حاصل از کاهش آب، کاهش فعالیت آنزیم آسکوربیک اسید اکسیداز و اتو اکسیداسیون آسکوربیک اسید است [۳۷]. نتایج این مطالعه نشان داد که ملاتونین به طور موثر از طریق افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی، تجمع H_2O_2 را به حداقل رساند و سطح فنل و اسید آسکوربیک را افزایش داد. وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ گزارش دادند که تیمار ملاتونین باعث افزایش سطح اسید آسکوربیک و کاهش تجمع H_2O_2 و MDA و نفوذپذیری نسبی غشاء در گیلاس می شود [۳۸].

وجود داشت. اسید آسکوربیک هم یک ماده مغذی حیاتی و هم یک آنتی اکسیدان است [۳۴]. گلووتاتیون و اسید آسکوربیک می توانند مستقیماً رادیکال های آزاد و گونه های فعال اکسیژن را از بین ببرند، ظرفیت آنتی اکسیدانی سلول های میوه را افزایش دهند و از کل فنل ها و فلاونوئیدها در برابر تخریب محافظت کنند [۳۵]. به طور معمول، مقدار اسید آسکوربیک با گذشت زمان انبارمانی کاهش می یابد؛ همان گونه که در این تحقیق نیز کاهش یافت. این کاهش هم رستا با نتایج Nair و همکاران [۳۶] در میوه گواوا است. کاهش میزان ویتامین ث طی مدت انبارمانی ممکن

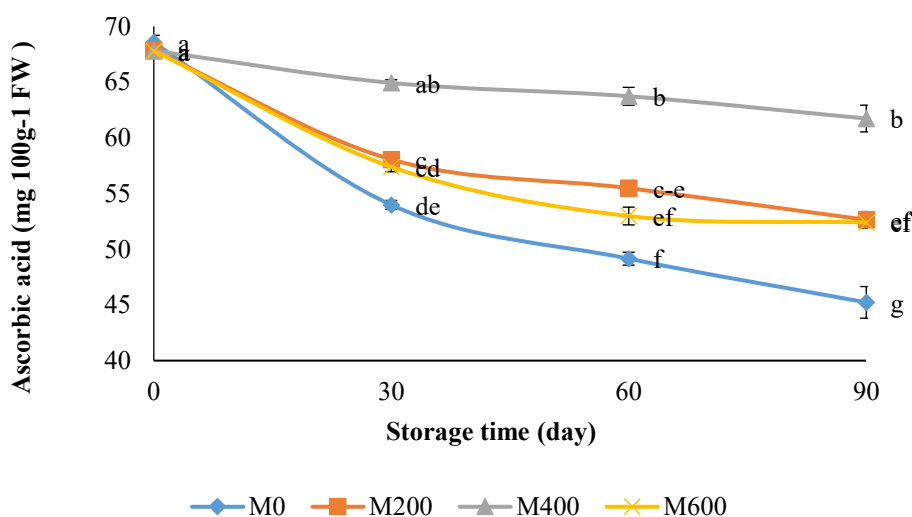


Figure 3. Changes in ascorbic acid of orange fruit treated with different concentrations of melatonin during storage.

Different letters on each day indicate significant differences between the data ($p < 0.05$).

M0: control, M200: containing 200 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M400: containing 200 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M600: containing 600 $\mu\text{mol/L}$ melatonin

و همکاران [۳۹] گزارش کردند که میزان مواد جامد محلول پرتقال خونی رقم مورو در طول ۷۵ روز انبارمانی کاهش یافت که به دلیل مصرف آن در تنفس و تامین انرژی برای فرآیندهای انرژی خواه می باشد. همراستا با مطالعه حاضر لیو و همکاران [۴۰] گزارش داد که تیمار با ۰/۵ میلی مول ملاتونین به طور موثری تغییرات در ویژگی های رسیدن انبه مانند سفتی میوه، رنگ گوشت، محتوای بتاکاروتن، TSS و TA را به تاخیر انداخت. مغایر با نتایج ما تحقیقات نشان داده است که کاربرد محلول پاشی ملاتونین بر روی میوه توت فرنگی سبب بیوستز ژن های ملاتونین درونی شده و در

۳-۴- مواد جامد محلول

میزان مواد جامد محلول میوه پرتقال طی مدت نگهداری روند افزایشی به صورت تدریجی دارد. طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها اثر متقابل ملاتونین $\times$ زمان بر میزان مواد جامد محلول در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۱) و میوه های تیمار شده با ملاتونین ۴۰۰ میکرومولار کمترین میزان مواد جامد محلول (۱۳/۲۱ درصد بریکس) و نمونه شاهد بیشترین میزان مواد جامد محلول (۱۵/۸۶ درصد بریکس) را طی انبارمانی داشته اند. همدانی

نتیجه موجب حفظ کیفیت محصول در طی انبارمانی شده و افزایش میزان قند در این میوه شده است.

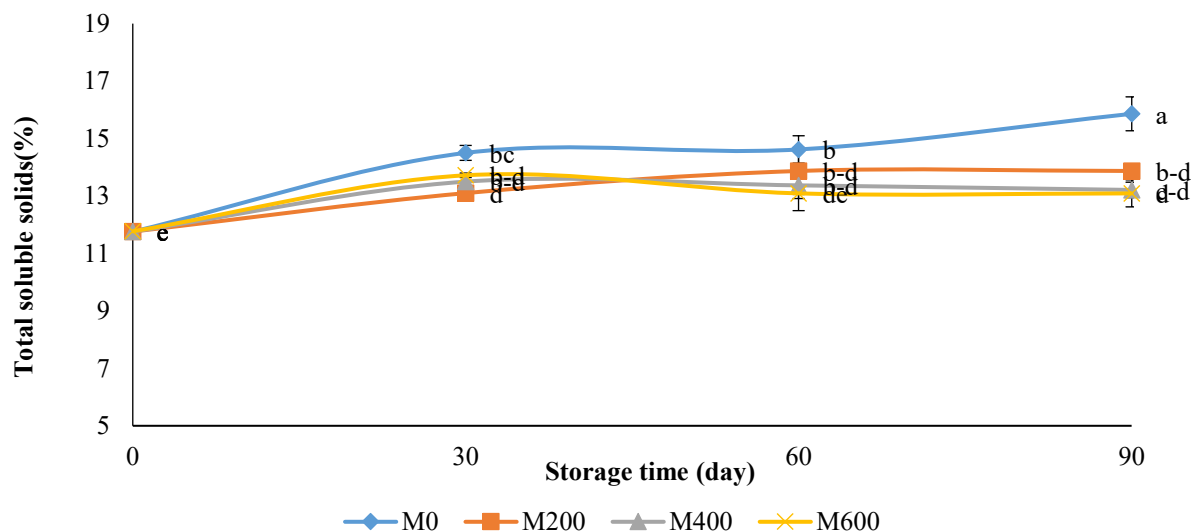


Figure 4. Changes in soluble solids of orange fruit treated with different concentrations of melatonin during storage.

Different letters on each day indicate significant differences between the data ($p < 0.05$).

M0: control, M200: containing 200 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M400: containing 200 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M600: containing 600 $\mu\text{mol/L}$ melatonin

گروه آماری قرار داشتند (شکل ۵). کاهش مقدار اسید

قابل تیتراژ برای تیمارها با نتایج Hussain و همکاران [۴۱] همسو است این محقق نشان داد با نگهداری پرتقال در سردخانه در دوره انبارمانی مقادیر اسید کاهش یافته و بر مقدار قند افزوده می شود. افزایش در مقدار اسید برای میوه با تیمار ملاتونین با نتایج Shi و همکاران [۴۲] در میوه هلو و Liu و همکاران [۴۰] در میوه توت فرنگی مطابقت دارد. این محققین نشان دادند ملاتونین به صورت به واسطه ای مانع کاهش اسید آلی و افزایش توان حفاظتی از سطح مواد جامد محلول میوه شده و از این طریق عمر انبارمانی میوه را افزایش می دهد.

۳-۵- اسید قابل تیتراسیون:

میزان اسیدهای آلی میوه های کنترل در طی دوره انبارمانی به طور قابل توجهی کاهش یافت. به طوری که کمترین میزان اسید قابل تیتراژ میوه در تیمار شاهد در روز نود ام (۰/۵۴ درصد) مشاهده گردید تیمارهای ملاتونین تا حد زیادی باعث حفظ اسیدهای آلی میوه در طی انبارمانی شدند و حداکثر میزان اسیدهای آلی در انتهای دوره انبارمانی مربوط به میوه های ملاتونین در غلظت ۴۰۰ میکرومولار در لیتر (۱/۰۳ درصد) بود. اختلاف معنی داری بین غلظت های ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار در لیتر ملاتونین در روز نود ام از نظر میزان اسید قابل تیتراسیون مشاهده نگردید و هر دو در یک

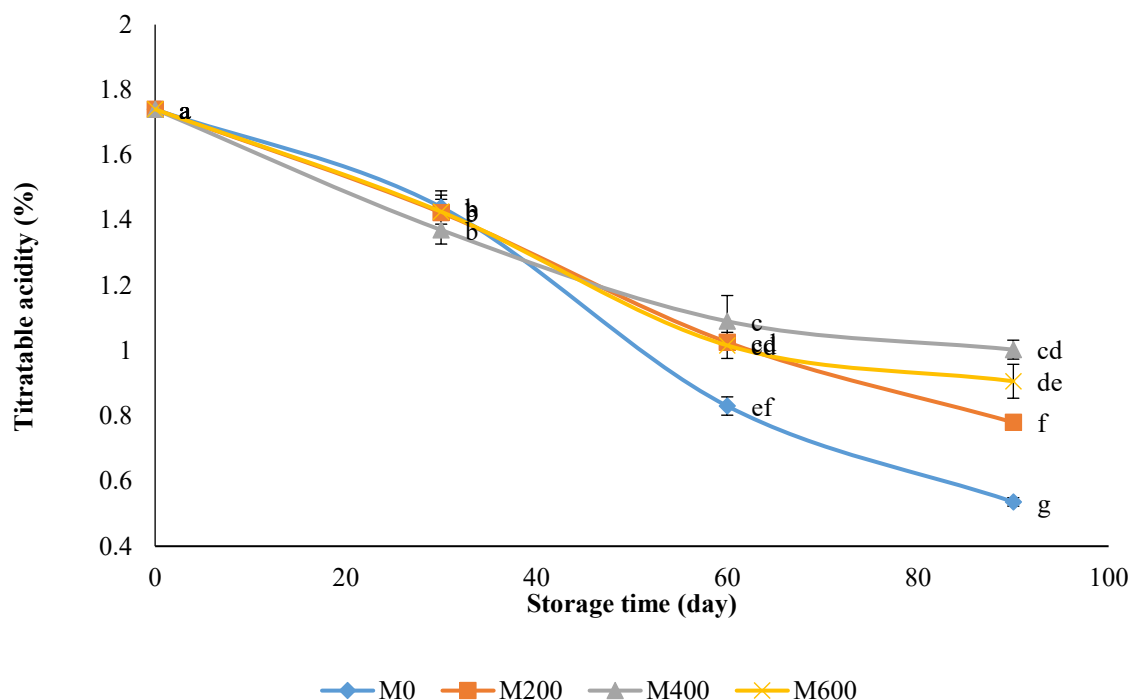


Figure 5. Changes in total phenolic content of orange fruit treated with different concentrations of melatonin during storage (micrograms/kg fresh weight)

Different letters on each day indicate significant differences between the data ($p < 0.05$).

M0: control, M200: containing 200 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M400: containing 200 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M600: containing 600 $\mu\text{mol/L}$ melatonin

۶-۳- فنل کل

از فنل‌های کل را حفظ کرده و میزان کمتری از آسکوربیک اسید و محتوای فلاونوئید را از دست می‌دهند [۳۲]. نتایج مشابهی در مطالعه Bhardwaj و همکاران [۴۳] یافت شد، که در آن خیساندن میوه‌های انبه به مدت ۱۲۰ دقیقه با استفاده از ۱۰۰ میکرومولار ملاتونین از دست دادن آسکوربیک اسید را کاهش داد و سطوح بالایی از غلظت کل فنل و فلاونوئید کل را حفظ کرد. کاربرد ملاتونین پس از برداشت باعث حفظ کیفیت میوه و محتوای ترکیبات فنلی هلو در طی نگهداری سرد شد. ملاتونین نسبت پوسیدگی و کاهش وزن را کاهش داد. و محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و سفتی میوه میوه هلو را حفظ کرد. در گیلان، ملاتونین در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میکرومولار نشان داد که تیمار ۱۵۰ میکرومولار نسبت به سایر دوزها در طول ذخیره‌سازی بر حفظ فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل بالاتر و همچنین فنل کل مؤثرتر بود که همین امر موجب افزایش توانایی مقابله با

ترکیبات فنلی یکی از متابولیت‌های مهم گیاهی هستند که از مسیر شیکمیک اسید سنتز می‌شوند و نقش موثری در مهار رادیکال‌های آزاد دارند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمار ملاتونین روی میزان فنل میوه در زمان برداشت اثر معنی داری نسبت به شاهد داشت. غلظت-های ۴۰۰، ۶۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار (به ترتیب ۳۳۹/۳۵۴، ۳۲۲/۴۳ و ۳۳۹/۳۵۴، ۳۳/۸ میکروگرم بر گرم وزن تر) بیشترین میزان فنل را نسبت به تیمار شاهد در روز ۹۰ انبارمانی نشان دادند. همراستا با مطالعه حاضر سان و همکاران [۴۲] گزارش کردند که ملاتونین از طریق تنظیم مثبت در بیان ژن‌های مهم در مسیر سنتز فنیل پروپانوئید مانند CHS1، CHS2 و PAL باعث تجمع فنل کل و فلاونوئید می‌شود. گزارش شده است که میوه‌های شلیل تیمار شده با ۱۰۰۰ میکرومول در لیتر ملاتونین سطوح بالایی

آسیب اکسیداتیو و در نهایت تاخیر در پیر شدن پس از برداشت است [۳۸].

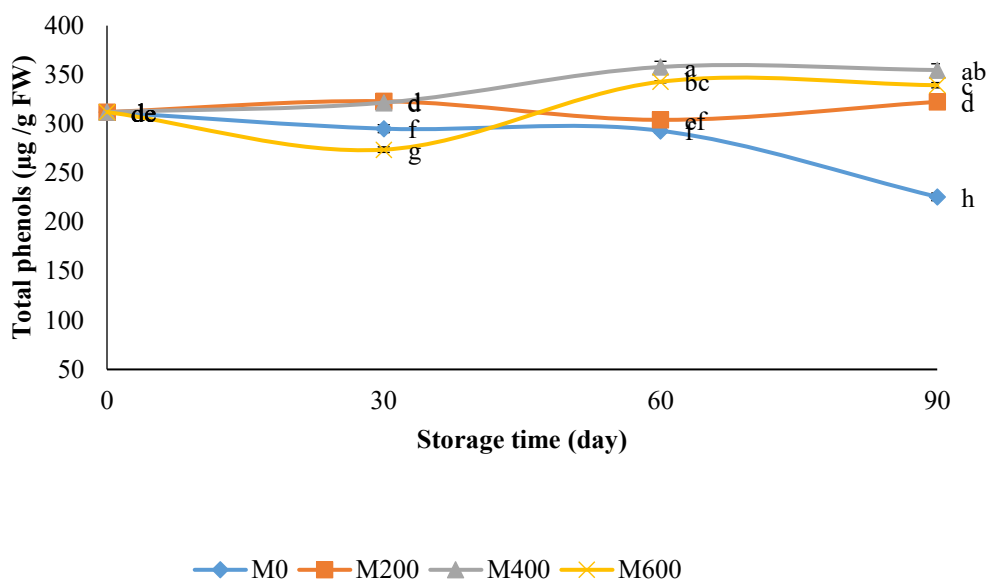


Figure 6. Changes in total phenolic content of orange fruit treated with different concentrations of melatonin during storage (micrograms/g FW)

Different letters on each day indicate significant differences between the data ($p < 0.05$).

M0: control, M200: containing 200 µmol/L melatonin, M400: containing 200 µmol/L melatonin, M600: containing 600 µmol/L melatonin

۶۰ از نگهداری میوه در سردخانه از نظر میزان آنتی اکسیدان کل میوه مشاهده نگردید ($p > 0.05$) و هر دو در یک گروه آماری قرار داشتند. ملاتونین به عنوان یک مهارکننده قوی رادیکال‌های آزاد شناخته شده است و بنابراین فعالیت آنتی اکسیدانی بالایی دارد. ملاتونین به دلیل خواص آنتی اکسیدانی آن به طور گسترده در نگهداری میوه پس از برداشت استفاده شده است [۴۴]. علاوه بر این، ملاتونین به عنوان یک مولکول زیست تخریب پذیر ایمن، تأثیری بر ایمنی مواد غذایی ندارد. همراستا با مطالعه حاضر، Ge و همکاران [۴۵] نشان دادند که ملاتونین با بالابردن مقدار آنتوسیانین و فنل و فلاونوئیدها سبب افزایش مهارکننده رادیکال DPPH میوه-های توت فرنگی در مدت زمان نگهداری در سردخانه شده است. همچنین Cao و همکاران [۴۶] نیز گزارش کردند تیمار میوه هلو با ملاتونین از طریق فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز سبب

۷-۳- آنتی اکسیدان

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمار ملاتونین بر میزان ظرفیت جاروب کنندگی رادیکال آزاد میوه پرتقال در طی مدت نگهداری در انبار اثرگذار بود. بررسی نتایج به دست آمده نشان داد، با گذر زمان میزان فعالیت آنتی اکسیدان کل میوه پرتقال کاهش پیدا کرد. مقایسه میانگین درصد فعالیت آنتی اکسیدان کل میوه تحت تأثیر اثر متقابل زمان و تیمار نشان داد که درصد فعالیت آنتی اکسیدان کل در طول زمان در تمام تیمار به طور معنی داری کاهش یافت؛ به طوری که در پایان دوره نگهداری در سردخانه بیشترین و کمترین درصد میزان آنتی اکسیدان کل به ترتیب در غلظت ۴۰۰ میکرومولار ملاتونین (۳۷/۷۶ درصد) و شاهد (۲۸/۹۵ درصد) مشاهده گردید. اختلاف معنی داری بین غلظت ۴۰۰ میکرومولار ملاتونین و تیمار شاهد در روز

افزایش میزان سنتز آنتی اکسیدان‌ها در انبار شد، که همسو با نتایج مطالعه حاضر است..

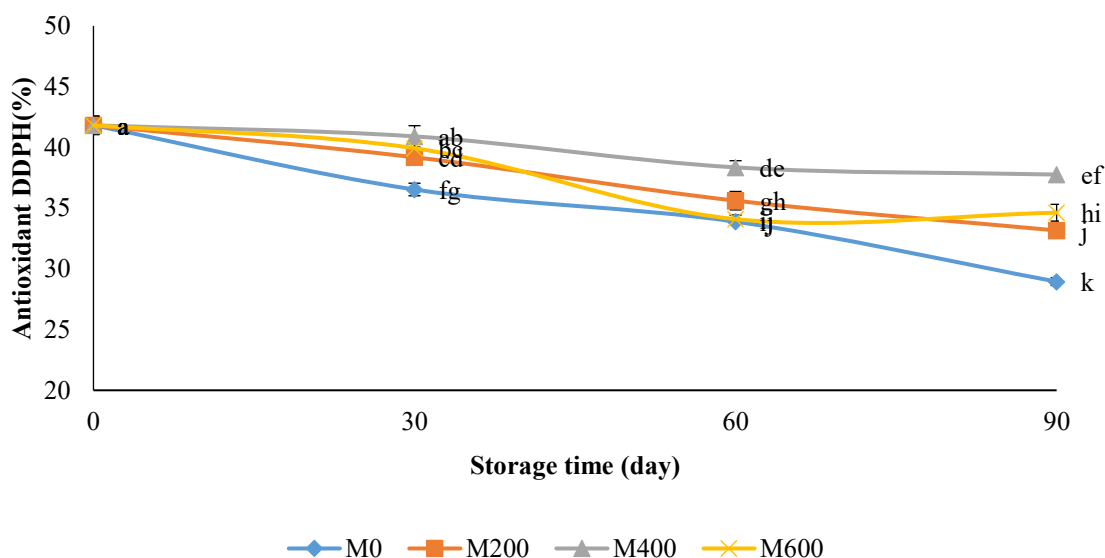


Figure 7. Changes in total antioxidant content of orange fruit treated with different concentrations of melatonin (%) during storage

Different letters on each day indicate significant differences between the data ($p < 0.05$).

M0: control, M200: containing 200 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M400: containing 200 $\mu\text{mol/L}$ melatonin, M600: containing 600 $\mu\text{mol/L}$ melatonin

۴- نتیجه گیری

تیمارهای پس از برداشت با ملاتونین با غوطه وری در پرتقال تأثیر مثبتی بر بهبود کیفیت و تاخیر در رسیدن پرتقال، تعویق در کاهش وزن میوه و همچنین افزایش سفتی، حفظ اسید آسکوربیک در طی انبار و اسیدیته قال تیترا، افزایش آنتی اکسیدان کل و فنل و همچنین کاهش مواد جامد محلول داشت. موثرترین دوز ملاتونین ۴۰۰ میکرومولار بود که نتایج بهتری را نشان داد. بنابراین استفاده از این ترکیب می- تواند به عنوان روشی مناسب و سودمند در انبارمانی میوه پرتقال پیشنهاد گردد.

تضاد منافع

هیچ موردی برای اعلام وجود ندارد.

بیانیه تامین مالی

این پژوهش هیچ گونه حمایت مالی از نهادهای دولتی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرده است

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در طراحی، تحلیل، نگارش و تایید نسخه نهایی به این ترتیب مشارکت داشته اند. محمد پور ابراهیمی : جمع آوری مطالب و داده ها و نگارش متن اولیه مقاله. لیلا جعفری: استاد راهنما، رساله، اصلاح و نهایی سازی مطالب. عبدالمجید میرزا علیان دستجردی : استاد راهنما رساله، اصلاح و نهایی سازی مطالب

۵- منابع

[1] FAO. (2023). FAO. Food And Agriculture Organizations of the United Nations [Internet]. 2023. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. [Accessed: June 2, 2023].

[2] Lu, X., Zhao, C., Shi, H., Liao, Y., Xu, F., Du, H., Xiao, H., & Zheng, J. (2023). Nutrients and bioactives

in citrus fruits: Different citrus varieties, fruit parts, and growth stages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(14), 2018–2041. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1969891>.

[3] Mannucci, C., Calapai, F., Cardia, L., Infrerrera, G., D'Arena, G., Di Pietro, M., Navarra, M.,

- Gangemi, S., Ventura Spagnolo, E., & Calapai, G. (2018). Clinical Pharmacology of *Citrus aurantium* and *Citrus sinensis* for the Treatment of Anxiety. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018(1), 3624094. <https://doi.org/10.1155/2018/3624094>
- [4] Shi, F., Li, X., Meng, H., Wei, W., & Wang, Y. (2020). Reduction in chilling injury symptoms by hot electrolyzed functional water treatment may function by regulating ROS metabolism in Satsuma orange fruit. *Lwt*, 125, 109218. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109218>
- [5] Zhang, W., Cao, J., Fan, X., & Jiang, W. (2020). Applications of nitric oxide and melatonin in improving postharvest fruit quality and the separate and crosstalk biochemical mechanisms. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 531–541. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.024>
- [6] Ma, Q., Zhu, L., Feng, S., Xu, R., Kong, D., Deng, X., & Cheng, Y. (2015). Fluroxypyr—a potential surrogate of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid for retarding calyx senescence in postharvest citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 105, 17–25. DOI:10.1016/j.postharvbio.2015.03.006.
- [7] Baswal, A. K., Dhaliwal, H. S., Singh, Z., Mahajan, B. V. C., & Gill, K. S. (2020). Postharvest application of methyl jasmonate, 1-methylcyclopropene and salicylic acid extends the cold storage life and maintain the quality of 'Kinnow' mandarin (*Citrus nobilis* L. X *C. deliciosa* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 161, 111064. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1860865>
- [8] Wang, Y., Reiter, R. J., & Chan, Z. (2018). Phytomelatonin: a universal abiotic stress regulator. *Journal of Experimental Botany*, 69(5), 963–974. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx473>
- [9] Altaf, M. A., Shahid, R., Ren, M., Mora-Poblete, F., Arnao, M. B., Naz, S., Anwar, M., Altaf, M. M., Shahid, S., & Shakoar, A. (2021). Phytomelatonin: An overview of the importance and mediating functions of melatonin against environmental stresses. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 820–846. <https://doi.org/10.1111/pp.13262>
- [10] Bhardwaj, R., Pareek, S., Mani, S., Domínguez-Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). A melatonin treatment delays postharvest senescence, maintains quality, reduces chilling injury, and regulates antioxidant metabolism in mango fruit. *Journal of Food Quality*, 2022(1), 2379556. <https://doi.org/10.1155/2022/2379556>
- [11] 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. <https://doi.org/10.3390/antiox11050804>
- [12] Tan, X., Zhao, Y., Shan, W., Kuang, J., Lu, W., Su, X., Tao, N., Lakshmanan, P., & Chen, J. (2020). Melatonin delays leaf senescence of postharvest Chinese flowering cabbage through ROS homeostasis. *Food Research International*, 138, 109790. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109790>
- [13] Xie, J., Qin, Z., Pan, J., Li, J., Li, X., Khoo, H. E., & Dong, X. (2022). Melatonin treatment improves postharvest quality and regulates reactive oxygen species metabolism in "Feizixiao" litchi based on principal component analysis. *Frontiers in Plant Science*, 13, 965345. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.965345>
- [14] Gao, H., Zhang, Z. K., Chai, H. K., Cheng, N., Yang, Y., Wang, D. N., Yang, T., & Cao, W. (2016). Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 118, 103–110. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.03.006.
- [15] Onik, J. C., Wai, S. C., Li, A., Lin, Q., Sun, Q., Wang, Z., & Duan, Y. (2021). Melatonin treatment reduces ethylene production and maintains fruit quality in apple during postharvest storage. *Food Chemistry*, 337, 127753. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127753>
- [16] Rastegar, S., Aghaei Dargiri, S., & Mohammadi, M. (2024). Mitigating postharvest chilling injury in Orlando tangelo fruit: potential of melatonin and GABA in enhancing the antioxidant system. *Acta Physiologiae Plantarum*, 46:30, <https://doi.org/10.1007/s11738-024-03653-9>
- [17] Shah, H.M.S., Singh, Z., Afrifa-Yamoah, E., Hasan, M.U., Kaur, J., & Woodward, A. (2023). Insight into the role of melatonin in mitigating chilling injury and maintaining the quality of cold-stored fruits and vegetables. *Food Review International*. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2212042>
- [18] Ehteshami, S., Dastjerdi, A. M., Ramezani, A., Etemadipoor, R., Abdollahi, F., Salari, M., & Shamili, M. (2022). Effects of edible alginate coating enriched with organic acids on quality of mango fruit during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(1), 400–409. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01166-4>

- [19] Baninaiem, E., & Dastjerdi, A. M. (2023). Enhancement of storage life and maintenance of quality in tomato fruits by preharvest salicylic acid treatment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1180243. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1180243>.
- [20] Hashemi, M., Shakerardekani, A., Mirzaalian Dastjerdi, A., & Mirdehghan, S. (2021). Effect of sodium alginate in combination with *Zataria multiflora* Boiss. On phenolic compounds, antioxidant activity, and Browning enzymes of fresh in-Hull pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of Food Quality*, 2021(1), 3193573. <https://doi.org/10.1155/2021/3193573>.
- [21] Yang, L., Wang, X., He, S., Luo, Y., Chen, S., Shan, Y., Wang, R., & Ding, S. (2021). Heat shock treatment maintains the quality attributes of postharvest jujube fruits and delays their senescence process during cold storage. *Journal of Food Biochemistry*, 45(10), e13937. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13937>.
- [22] Li, X., Pei, Z., Meng, L., Jiang, Y., Liu, H., & Pan, Y. (2023). Investigation on epidermal structure and water migration of postharvest passion fruit during storage. *Journal of Food Science*, 88(10), 4046–4058. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16732>.
- [23] Pérez-Llorca, M., Muñoz, P., Müller, M., & Munné-Bosch, S. (2019). Biosynthesis, metabolism and function of auxin, salicylic acid and melatonin in climacteric and non-climacteric fruits. *Frontiers in Plant Science*, 10, 136. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00136>.
- [24] 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. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111582.
- [25] Hu, W., Yang, H., Tie, W., Yan, Y., Ding, Z., , Y., Wu, C., Wang, J., Reiter, R. J., & Tan, D.-X. (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. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03354>.
- [26] Liu, J., Yang, J., Zhang, H., Cong, L., Zhai, R., Yang, C., Wang, Z., Ma, F., & Xu, L. (2019). Melatonin inhibits ethylene synthesis via nitric oxide regulation to delay postharvest senescence in pears. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(8), 2279–2288. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06580>
- [27] Yan, R., Li, S., Cheng, Y., Kebbeh, M., Huan, C., & Zheng, X. (2022). Melatonin treatment maintains the quality of cherry tomato by regulating endogenous melatonin and ascorbate-glutathione cycle during room temperature. *Journal of Food Biochemistry*, 46(10), e14285. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14285>.
- [28] Silva, G. M. C., Silva, W. B., Medeiros, D. B., Salvador, A. R., Cordeiro, M. H. M., da Silva, N. M., Santana, D. B., & Mizobutsi, G. P. (2017). The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. *Food Chemistry*, 237, 372–378. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.123>.
- [29] Mansouri, S., Sarikhani, H., Sayyari, M., & Aghdam, M. S. (2021). Melatonin accelerates strawberry fruit ripening by triggering GAMYB gene expression and promoting ABA accumulation. *Scientia Horticulturae*, 281, 109919. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109919>.
- [30] 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>.
- [31] Carrión-Antolí, A., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Zapata, P. J., Serrano, M., & Valero, D. (2022). Melatonin pre-harvest treatments leads to maintenance of sweet cherry quality during storage by increasing antioxidant systems. *Frontiers in Plant Science*, 13, 863467. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.863467>.
- [32] 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. DOI:10.1007/s11694-020-00636-5.
- [33] Ma, Q., Lin, X., Wei, Q., Yang, X., Zhang, Y., & 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.
- [34] Yao, M., Ge, W., Zhou, Q., Zhou, X., Luo, M., Zhao, Y., Wei, B., & Ji, S. (2021). Exogenous glutathione alleviates chilling injury in postharvest bell pepper by modulating the ascorbate-glutathione (AsA-GSH) cycle. *Food Chemistry*, 352, 129458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129458>.
- [35] Kou, X., He, Y., Li, Y., Chen, X., Feng, Y., & Xue, Z. (2019). Effect of abscisic acid (ABA) and chitosan/nano-silica/sodium alginate composite film on the color development and quality of postharvest

- Chinese winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao). *Food Chemistry*, 270, 385–394. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.151>.
- [36] Nair, M. S., Saxena, A., & Kaur, C. (2018). Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, 240, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.122>.
- [37] Sogvar, O. B., Saba, M. K., & Emamifar, A. (2016). Aloe vera and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 114, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.019>.
- [38] 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125311>.
- [39] Hamedani, M., Moradi, H., & Ghanbari, A. (2014). Effect of Harvest Time and Storage on Moro Blood Orange Fruit Quality (*Citrus sinensis* cv. Moro). *Journal Of Horticultural Science*, 28(2), 252–259. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.39412>.
- [40] Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W., & Zheng, L. (2018). Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 47–55. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2018.01.016>.
- [41] Hussain, I., Rab, A., Khan, S. M., Naveed, K., Ali, S., Hussain, I., & Sajid, M. (2017). Physiochemical changes in oranges during different storage durations and temperatures. *Pure and Applied Biology (PAB)*, 6(1), 394–401. DOI:10.19045/bspab.2017.60039.
- [42] Sun, Q., Zhang, N., Wang, J., Zhang, H., Li, D., Shi, J., Li, R., Weeda, S., Zhao, B., & Ren, S. (2015). Melatonin promotes ripening and improves quality of tomato fruit during postharvest life. *Journal of Experimental Botany*, 66(3), 657–668. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru332>.
- [43] Bhardwaj, R., Pareek, S., Mani, S., Domínguez-Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). A melatonin treatment delays postharvest senescence, maintains quality, reduces chilling injury, and regulates antioxidant metabolism in mango fruit. *Journal of Food Quality*, 2022(1), 2379556. <https://doi.org/10.1155/2022/2379556>.
- [44] Meitha, K., Pramesti, Y., & Suhandono, S. (2020). Reactive oxygen species and antioxidants in postharvest vegetables and fruits. *International Journal of Food Science*, 2020(1), 8817778. <https://doi.org/10.1155/2020/8817778>.
- [45] Ge, C., Luo, Y., Mo, F., Xiao, Y.-H., Li, N.-Y., & Tang, H.-R. (2019). Effects of glutathione on the ripening quality of strawberry fruits. *AIP Conference Proceedings*, 2079(1), 020013. DOI:10.1063/1.5092391.
- [46] Cao, S., Song, C., Shao, J., Bian, K., Chen, W., & 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. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01118>.



Scientific Research

Improving postharvest quality and increasing the storage life of 'March Early' orange using melatonin

M. PourEbrahimi¹, L. Jafari^{2*}, A. Mirzaalian Dastjerdi²

1-Ph.D. student, post-harvest physiology and technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

2-*Associate Professor, Department of Horticulture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

3- Assistance Professor, Department of Horticulture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2025/12/12

Review: 2026/04/11

Accepted: 2026/04/18

Keywords:

Antioxidant,

Ascorbic acid,

Firmness,

Phenol,

Quality

DOI: 10.48311/fsct.2026.118268.82983

*Corresponding Author E-

jafari.leila@hormozgan.ac.ir

Melatonin, a natural hormone with antioxidant properties and growth-regulating effects, has recently gained attention as an effective agent for maintaining the postharvest quality of fruits. The present study aimed to investigate the role of melatonin on the postharvest characteristics of orange fruit during storage through a factorial experiment with a completely randomized design, including three replications, conducted at the Horticultural Science Laboratory, University of Hormozgan, in 2023-2024. After treatment with melatonin at concentrations of 200, 400, and 600 μM , the fruits were stored in a cold chamber at 5 ± 1 °C and $90 \pm 5\%$ relative humidity for 90 days. Sampling was conducted every 30 days to evaluate parameters such as weight loss, titratable acidity, ascorbic acid, firmness, total soluble solids, total antioxidant activity, and phenolic compounds. The results showed that fruits treated with 400 μM melatonin experienced significantly less weight loss (35.80%) compared to other treatments and the control group. Additionally, these fruits exhibited higher levels of phenolic compounds ($354.8 \mu\text{g g}^{-1}$ FW), firmness (49.75 N), ascorbic acid ($61.73 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ FW), total antioxidant activity (37.76%), and titratable acidity (1.03%). The fruits treated with 400 μM melatonin also had the lowest soluble solids content (13.21 °Brix). The combination of melatonin demonstrated strong antioxidant properties and the ability to act as a protective agent, inhibiting free radicals. This study revealed that a 400 μM concentration of melatonin effectively extended the shelf life of orange fruit by preserving antioxidant properties and enhancing quality.