فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۸، مهر و آبان‌ماه ۱۴۰۴ صفحه: ۹۹-۱۱۴
https://doi.org/10.22034/14.68.99

مقاله پژوهشی

اثر پوشش‌های ملاتونین، کیتوزان و نانوکامپوزیت ملاتونین-کیتوزان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه خرمالو (رقم کرج) در طی انبار سرد

بهناز سلیمانی[۱]، ولی ربیعی[۱*]، فرهنگ رضوی[۱]، غلامرضامهدوی نیا[۲] و فهیمه نصر[۱]
[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
[۲] گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۰۶)

چکیده
خرمالو از محصولات مهم باغبانی با فسادپذیری بالا و عمر پس از برداشت بسیار کوتاه است که به دلیل تولید اتیلن و تنفس بالا دچار رسیدگی سریع می‌شود. از دست دادن سفتی، میوه‌های خرمالو را در برابر آسیب‌های مکانیکی آسیب‌پذیر و در نهایت حمل‌ونقل به نقاط دور را محدود می‌کند. بنابراین ارائه راهکارهای مفید و استفاده از مواد طبیعی جهت افزایش ماندگاری این میوه بسیار حائز اهمیت است. با توجه به اثرات مفید پوشش‌های خوراکی این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور پوشش‌های خوراکی شامل کیتوزان (۰/۲ درصد)، ملاتونین (۱۰۰ میکرومولار)، نانوکامپوزیت ملاتونین پوشش‌داده شده با کیتوزان ۰/۲ درصد و شاهد (آب مقطر) و فاکتور زمان انبارمانی (۱۵، ۳۰ و ۴۵) روز بود که میوه‌های تیمارشده در دمای یک درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵-۹۰ درصد به مدت ۴۵ روز در سردخانه نگهداری شدند. نتایج به دست آمده نشان دادند که تیمار نانوکامپوزیت ملاتونین پوشش داده شده با کیتوزان ۰/۲ درصد سبب حفظ سفتی بافت میوه شد. علاوه‌براین بالاترین میزان فنول کل (۲۹۶۶/۶) میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر)، فلاونوئید کل (۵۷۶/ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر)، آسکوربیک اسید (۱۷/۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) و فنیل آلانین آمونیالیاز (۲۱/۹ واحد بر میلی‌گرم وزن تر) در نانوکامپوزیت ملاتونین پوشش داده شده با کیتوزان ۰/۲ درصد مشاهده شد. در نتیجه، نانوکامپوزیت ملاتونین پوشش داده شده با کیتوزان می‌توانند به عنوان پوشش و ترکیب طبیعی و ایمن موجب حفظ خواص کیفی و افزایش عمر انبارمانی میوه خرمالو در طول نگهداری در سردخانه شود.

واژه‌های کلیدی: خرمالو، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، عمر پس از برداشت، فنیل آلانین آمونیالیاز، ملاتونین

مقدمه
شکل ظاهری و کیفیت تغذیه‌ای میوه‌ها در طول نگهداری و حمل‌ونقل به دلیل ادامه‌یافتن فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی که با از دست‌دهی آب همراه است کاهش پیدا می‌کند و از ارزش تجاری محصولات باغی کاسته می‌شود. میوه خرمالو با نام علمی *Diospyros kaki* Thunb. متعلق به خانواده آبنوس (Ebenacea) است و در کشورهای اروپایی و آسیایی به دلیل داشتن ترکیبات فعال زیستی از جمله ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها حائز اهمیت است (Dalvi *et al*., 2018). ایران یکی از تولیدکننده‌های خرمالو در منطقه می‌باشد. قطب

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: rabiei@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]

تولید خرمالو در ایران در استان فارس است و استان مازندران و گلستان در جایگاه دوم و سوم تولید خرمالو کشور قرار دارد (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰). ایران با تولید ۳۰۲۴۴ تن، جز ده کشور مهم تولیدکننده خرمالو در دنیا است (FAO, 2022). کیفیت غذایی آن در طول برداشت با نرم‌شدن، قهوه‌ای‌شدن و از دست‌دادن کیفیت ظاهری افت قابل‌ملاحظه‌ای می‌نماید که ارائه راهکارهای امن و مناسب جهت حفظ سلامتی انسان و محیط زیست که انبارمانی محصول را افزایش دهد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Maulidiani *et al.*, 2018). استفاده از پوشش‌های خوراکی به همراه مواد طبیعی سالم و بهره‌مندی از فناوری نانو و بکارگیری نانوپوششی‌ها از جمله این راهکارها است که در سال‌های اخیر در محصولات باغبانی به‌صورت گسترده استفاده و نتایج چشمگیری به‌همراه داشته است (Wu *et al.*, 2021). کیتوزان از جمله پوشش‌های خوراکی است که در میوه‌های مختلف استفاده شده است، که در حقیقت کیتین دی استیله شده است و از پوسته سخت‌پوستانی چون خرچنگ و میگو به دست می‌آید که با ایجاد یک لایه نیمه‌تراوا در اطراف میوه می‌تواند انبارمانی آن‌ها را افزایش دهد (Ardakani *et al.*, 2012). در پژوهشی، تیمار پس از برداشت توت‌فرنگی با کیتوزان افزایش سفتی بافت میوه را در مقایسه با شاهد موجب شد (Hernandez-Munoz *et al.*, 2008). در پژوهشی دیگر پوشش بذرآریل‌های انار با کیتوزان کاهش فنول کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را در دوره نگهداری در دمای ۷ درجه سانتی‌گراد کاهش داد (Ghasemnezhad *et al.*, 2012). ملاتونین (استیل-۵- متوکسی تریپتامین) که از تنظیم‌کنندگان رشد گیاهی جدید است نقش چشم‌گیری در عمر پس از برداشت محصولات باغی دارد. از این هورمون با تنش‌های اکسیداتیو مقابله نموده و از طرفی به‌دلیل طبیعت دوگانه (خاصیت آبدوستی و آبگریزی) به راحتی از سلول عبور می‌کند و از آسیب سلولی جلوگیری می‌کند. مطالعات اثر تیمار ملاتونین از طریق اثر بر چرخه یانگ و تغییر محتوای اتیلن انبارمانی میوه موز را بهبود بخشید (Hu *et al.*, 2017). همچنین در گیلاس (Zhao *et al.*, 2013)، گوجه‌فرنگی (Liu *et al.*, 2016) و انار (Jannatizadeh, 2019) کیفیت میوه را از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش داد. پیش‌تیمار ملاتونین مقاومت میوه‌های هلو را در مقابل دمای پایین از طریق اثر بر محتوی اسپرمین و اسپرمیدین آزاد افزایش داد (Cao *et al.*, 2018). اخیراً نیز از فناوری نانو به طور وسیعی جهت افزایش انبارمانی استفاده شده که نتایج خوبی به همراه داشت. در سال‌های اخیر ترکیب کیتوزان به همراه مواد دیگر به صورت پوشش نانوکامپوزیت برای حفظ کیفیت، افزایش عملکرد میوه‌ها و سبزی‌ها در پیش و پس از برداشت مورد توجه قرار گرفته است (Arroyo *et al.*, 2020). مطالعات نشان می‌دهد نانوذرات کیتوزان در انبه به دلیل نداشتن اثرات سمی و آسیب‌زا و تجزیه راحت در محیط‌زیست، ترکیب مناسبی برای انواع داروها مانند داروهای ژنی، داروهای پروتئینی، داروهای شیمیایی ضدسرطانی و آنتی‌بیوتیک‌ها است (Wang *et al.*, 2011). فیلم‌های خوراکی جدید شامل افزودن عصاره خرمالو در کیتوزان عمر پس‌ازبرداشت موز را از طریق افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی بهبود می‌دهد (Hu *et al.*, 2022). پوشش‌های نانوذرات در افزایش عمر نگهداری، افزایش آسکوربیک اسید و کاهش پراکسیداز چربی‌ها مؤثر بود (Algarni *et al.*, 2022). تیمار ۰/۲ و ۰/۴ درصد نانوکیتوزان به طور مؤثری موجب حفظ آنتوسیانین، جلوگیری از کاهش وزن و افزایش استحکام میوه توت‌فرنگی طی ۲۱ روز انبارمانی در مقایسه با کیتوزان و شاهد شده است (Nguyen and Nguyen, 2020). از آنجایی‌که تحقیقات در مورد تأثیر نانوکامپوزیت ملاتونین-کیتوزان بر حفظ کیفیت پس از برداشت میوه خرمالو در ایران و جهان کم است، بنابراین هدف از این پژوهش بررسی اثر ملاتونین، کیتوزان و نانوکامپوزیت ملاتونین-کیتوزان بر افزایش انبارمانی خرمالو از طریق افزایش ترکیبات زیستی فعال و بهبود کیفیت طبیعی خرمالو در طی نگهداری در سردخانه است.

مواد و روش‌ها

تهیه میوه‌ها: میوه‌ها در مرحله بلوغ (ابتدای تشکیل رنگ نارنجی) از باغ تجاری واقع در اطراف شهرستان کرج با طول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]

جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۴۰ متر از سطح دریا برداشت شدند (Nasr *et al.*, 2022). پس از حذف میوه‌های صدمه‌دیده و زخمی، میوه‌های سالم و هم اندازه به آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت دانشگاه زنجان منتقل شدند.

آماده‌سازی نانوکامپوزیت ملاتونین-کیتوزان: تیمارها شامل نانوذرات ملاتونین پوشش داده شده با کیتوزان ۰/۲ درصد وزنی، کیتوزان ۰/۲ درصد وزنی، ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار و شاهد (آب‌مقطر) بود. تهیه نانوکامپوزیت ملاتونین-کیتوزان در دانشگاه مراغه و به صورت زیر تهیه شد: مواد اولیه برای این پروژه کاملاً طبیعی بوده و از شرکت نوین شیمیار تهیه شدند. کیتوزان، ملاتونین و تری‌پلی فسفات عمده مواد مصرفی هستند. ابتدا ۲ گرم کیتوزان به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر محلول اسید استیک ۱ درصد وزنی اضافه شد تا یک محلول هموژن در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد بدست آید. پس از انحلال کامل کیتوزان، ۰/۰۲۳ گرم ملاتونین در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد حجمی حل شده و به کیتوزان اضافه و سه ساعت نگهداری شد. سپس ۰/۲ گرم هیدروکسی متیل سلولز در ۲۵ سی‌سی آب‌مقطر حل شده و قطره قطره به مخلوط کیتوزان و ملاتونین اضافه شد و با محلول تری‌پلی فسفات به عنوان یک اتصال‌دهنده متقاطع یونی مخلوط شد و بعد از ۲۴ ساعت با آب‌مقطر جهت حذف مواد غیر واکنشی شستشو داده شده و سپس تحت فرآیند انجماد خشک، پودر آن تهیه شد. برای این منظور، ۰/۴ گرم از تری‌پلی فسفات در ۱۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر حل شده و به محلول کیتوزان/ملاتونین اضافه گردید (Gohari *et al.*, 2023).

تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات در شکل ۱ a نشان داده شده است. تصویر در دستگاه مدل (Philips 400, TEM) گرفته شده است. نانوذرات ملاتونین پوشش داده شده با کیتوزان تقریباً کروی بوده و اندازه نانوذرات در محدوده ۸۰-۱۵۰ nm بدست آمده‌اند. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی که با دستگاهی با مدل MIRA3 TESCAN گرفته شده است در شکل ۱ b نشان داده شده است. همانند میکروسکوپ عبوری، نانوذرات پس از خشک شدن تقریباً کروی بوده و اندازه آنها کمتر از ۱۵۰ nm بودند.

اعمال تیمارها: میوه‌ها بعد از شست‌وشو در آب‌مقطر و خشک‌شدن، با پوشش‌های خوراکی مختلف تیمار شدند. هر یک از تیمارها در سه تکرار و در هر تکرار در هر مرحله نمونه‌برداری پنج میوه مورد مطالعه قرار گرفت. میوه‌ها بعد از ۲۰ دقیقه غوطه‌وری (Nasr *et al.*, 2022) در محلول کیتوزان (۰/۲ درصد)، ملاتونین (۱۰۰ µM)، نانوکیتوزان ملاتونین (۰/۲ درصد) در دمای اتاق ۲۵ (درجه سانتی‌گراد) خشک شدند. سپس میوه‌ها (۵ عدد) داخل ظروف پلی‌اتیلنی قرار داده شد و در انبار با دمای ۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰- ۸۵ درصد به مدت ۴۵ روز انبار شدند. هر ۱۵ روز سه تکرار از هر تیمار از انبار خارج و پس از ۲۴ ساعت قرارگیری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بررسی صفات انجام شد (Zhao *et al.*, 2020).

شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده، سفتی بافت میوه: برای سنجش سفتی بافت میوه از دستگاه سفتی‌سنج مدل (OSK 1618) با قطر پروب ۸ میلی‌متری استفاده شد (Li *et al.*, 2016).

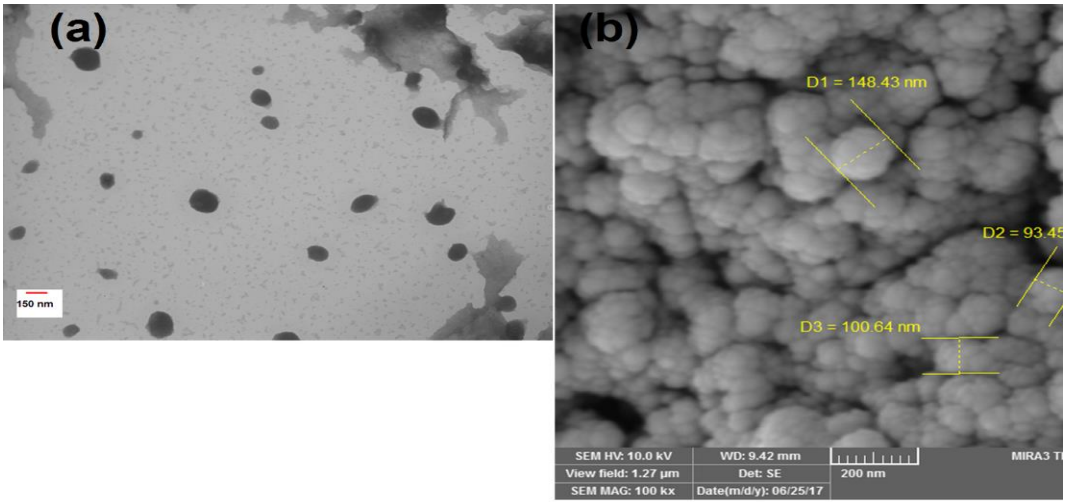
میزان اسید آسکوربیک: اندازه‌گیری اسید آسکوربیک با استفاده از روش یدومتریک انجام و بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد (Jalilimarandi, 2000).

غلظت تانن محلول: اندازه‌گیری غلظت تانن محلول نمونه‌ها پس از عصاره‌گیری نمونه‌ها با متانول ۸۰ درصد، بر طبق روش فولین دنیز انجام و بر حسب واحد پی‌پی‌ام (قسمت در میلیون) محاسبه شد (Khademi *et al.*, 2013).

غلظت فنول و محتوی فلاونوئید کل: میزان فنول کل با روش فولین سیکالتو (Folin-Ciocalteu) اندازه‌گیری شد و میزان جذب در طول‌موج ۷۲۰ نانومتر بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم بیان شد. محتوی فلاونوئید کل عصاره با روش Kaijv و همکاران (۲۰۰۶) اندازه‌گیری و میزان جذب در طول‌موج ۴۱۵ نانومتر خوانده و بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰گرم وزن تر بیان شد (Kaijv *et al.*, 2006).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]



شکل ۱- (a) تصویر میکروسکوپ عبوری و (b) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذرات ملاتونین پوشش‌داده شده با کیتوزان

فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL): جهت سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز ۳۰۰ میلی‌گرم از بافت میوه در ۶/۵ میلی‌لیتر بافر (Tric-Hcl 50 mM) روی یخ سائیده تا حالت همگن ایجاد و سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند و محلول رویی از رسوب با دقت جدا و بر روی یخ قرار گرفت که حاوی آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز بود. فعالیت آنزیم با اندازه‌گیری میزان جذب محلول در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر تعیین و بر حسب واحد بر گرم وزن تر میوه (U/g FW) گزارش شد (Wang *et al.*, 2006).

مقدار کاروتنوئید کل: مقدار کاروتنوئید کل براساس روش وانگ Wang و همکاران (۲۰۰۶) محاسبه و از رابطه (۱) استفاده شد.

رابطه (۱)

کاروتنوئید کل = OD(480nm)×4

OD (480nm): جذب در طول‌موج ۴۸۰ نانومتر، ۴: عدد ثابت

میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز: میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز به روش Aghdam و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از کاتکول به عنوان سوبسترا و افزایش در جذب در طول‌موج ۴۱۰ نانومتر انجام شد. فعالیت آنزیم بر اساس واحد در میلی‌گرم وزن تر میوه بیان شد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر طبق رابطه (۲) بدست آمد (Dehghan and khoshkam, 2012).

رابطه (۲)

آنتی اکسیدان کل٪ = [(OD control-OD sample) / OD control]×100

OD sample: جذب نمونه حاوی عصاره، OD control: جذب شاهد

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام و تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای‌دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر ساده تیمار و زمان در کلیه صفات مذکور معنی‌دار و اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی نیز در کلیه صفات جز تانن محلول، کاروتنوئید کل و پلی‌فنول اکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۳).

سفتی بافت میوه: نتایج نشان داد که سفتی بافت میوه در زمان برداشت ۴/۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بود که در طی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]

جدول ۱- صفات کیفی و بیوشیمیایی میوه خرمالو رقم کرج در زمان صفر (زمان برداشت)

سفتی (kg/cm^2)	ویتامین ث (mg/100gFw)	تانن محلول (PPM)	فلاونوئید کل (mg/100g FW)	فنول کل (mg/kg FW)
۴/۷	۲۵/۷	۶۱۰۰	۶۹۵	۸۴۴۰

جدول ۲- صفات کیفی و بیوشیمیایی میوه خرمالو رقم کرج در زمان صفر (زمان برداشت)

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (٪)	فنیل آلانین آمونیالیاز (U/g FW)	کاروتنوئید کل (mg/100gFw)	پلی‌فنول اکسیداز (U/mg FW)
۸۸/۵	۲۲/۶	۰/۴۵	۲۲/۲

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای کیتوزان، ملاتونین، نانو ملاتونین-کیتوزان بر صفات کیفی و عمر ماندگاری میوه خرمالو

منابع تغییرات	درجه آزادی	سفتی وزن	ویتامین ث	تانن محلول	کاروتنوئید کل	پلی‌فنول اکسیداز
تیمار	۳	۲/۱۲**	۹۶/۴۵**	۲۱۲۲۹۱/۶**	۰/۰۴۸**	۳۴/۲۷**
زمان انبارمانی	۲	۱۱/۶۷**	۴۷۵/۸۳**	۸۳۵۲۱۵۲/۷**	۰/۰۴۴**	۱۰/۴*
تیمار× زمان انبارمانی	۶	۰/۱۲**	۴/۰۶**	۴۷۷۰۸/۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۱/۱۸^{ns}
خطا	۲۴	۰/۰۴۱	۰/۹۲	۴۰۷۰۸/۸	۰/۰۰۱	۲/۱۹
ضریب تغییرات (٪)		۲/۱۲	۵/۴۱	۱۲/۶	۰/۲۵	۳/۹۵

ns، * و ** به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

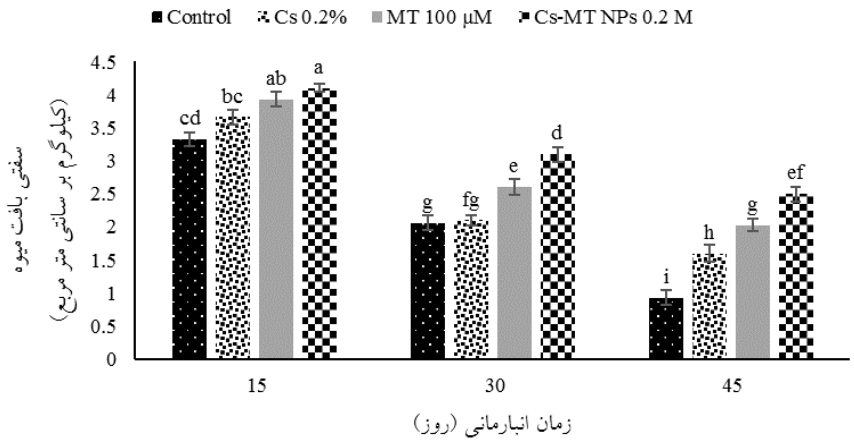
ادامه جدول ۳-

منابع تغییرات	درجه آزادی	فلانوئید کل	فنول کل	فنیل آلانین آمونیالیاز	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل
تیمار	۳	۱۱۴۴۳/۵**	۸۲۸۴۸۳/۴**	۱۰۳/۴**	۱۸۹/۹**
زمان انبارمانی	۲	۵۴۲۶۳/۴**	۴۴۵۳۹۷۳/۷**	۷۴/۸۳**	۱۲۳۴/۳**
تیمار× زمان انبارمانی	۶	۱۱۴۲/۸**	۲۳۶۰۹/۲*	۳/۵۱*	۱۸/۱۹*
خطا	۲۴	۱۶۷/۱	۱۰۴۸۲/۷	۰/۹۵	۲۹/۵
ضریب تغییرات (٪)		۷/۴	۱/۶	۱/۸۴	۱/۳۵

ns، * و ** به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

انبارمانی میزان آن در تمامی نمونه‌ها کاهش یافت (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها در طی ۴۵ روز پس از برداشت، تیمار نانو کامپوزیت ملاتونین -کیتوزان و ملاتونین تأثیر قابل‌توجهی در حفظ سفتی بافت میوه خرمالو داشتند. بیشترین میزان سفتی (۳/۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در تیمار نانو کامپوزیت کیتوزان- ملاتونین مشاهده شد (شکل ۲). تیمار نانو کامپوزیت کیتوزان- ملاتونین روند کاهشی سفتی را به تعویق انداختند که در طی ۱۵ و۳۰ روز نیز تیمار نانوکیتوزان تفاوت قابل‌توجهی با شاهد داشت. کمترین میزان استحکام میوه در شاهد (۰/۹۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) طی ۴۵ روز

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]

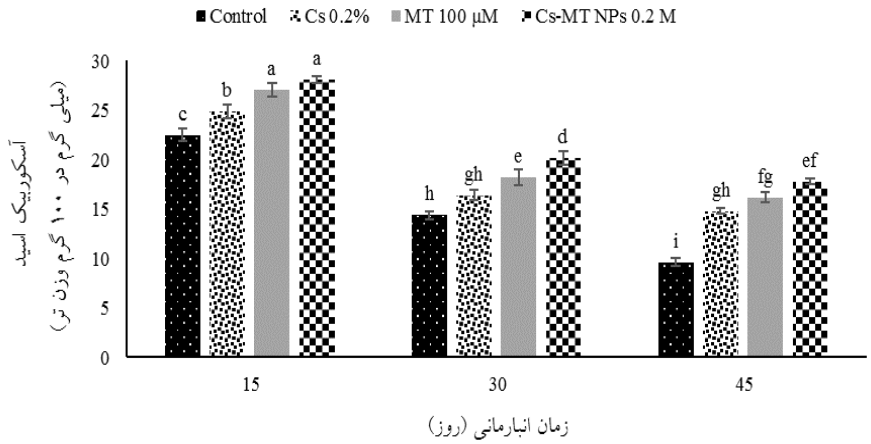


شکل ۲- اثر تیمار پس از برداشت کیتوزان، ملاتونین، نانوکامپوزیت کیتوزان بر سفتی بافت میوه طی انبارمانی. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است. میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

انبارمانی مشاهده شد. سفتی بافت یک معیار مهم و عامل اصلی کیفیت پس از برداشت و افزایش بازار پسندی میوه خرمالو است (Salvador *et al*., 2008). کاهش سفتی ناشی از تجزیه ترکیبات پکتینی و تیغه میانی است که به احتمال زیاد ناشی از فعالیت آنزیم‌های پلی‌گالاکتروناز و پکتین متیل استراز است (Lufu *et al*., 2019). پوشش نانوکیتوزان به عنوان فیلم نفوذپذیر عالی میزان اکسیژن و دی‌اکسید کربن داخلی میوه را کنترل کرده، شدت تنفس را کم و از کاهش سفتی جلوگیری می‌کند (Ali *et al*., 2011). در این مطالعه تیمار نانوکامپوزیت ملاتونین کیتوزان نسبت به سایر تیمارها به طور قابل‌توجهی از کاهش سفتی میوه‌های خرمالو جلوگیری کرد که منطبق با نتایج سایر پژوهش‌ها بود (Zhai *et al*., 2018; Zhao *et al*., 2020). همچنین حفظ سفتی بافت میوه تیمارشده با ملاتونین به وسیله جلوگیری از سنتز اتیلن و کاهش تنفس پس از برداشت گزارش شده است (Zhao *et al*., 2013) و همچنین مطالعه Ma و همکاران (۲۰۲۱) غلظت ۲۰۰ میکرومول بر لیتر ملاتونین را در میوه پرتقال مؤثر در حفظ سفتی میوه دانست (Ma *et al*., 2021).

میزان اسید آسکوربیک: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان‌دهنده روند نزولی میزان اسید آسکوربیک طی ۴۵ روز انبارمانی است. میزان اسید آسکوربیک در زمان برداشت ۲۵/۰۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر بود (جدول ۱) که طی انبارمانی در همه تیمارها و شاهد کاهش یافت. تیمارهای اعمال‌شده کاهش اسید آسکوربیک را در میوه‌های تیمارشده کنترل نمودند و میزان این ماده را در سطوح بالایی حفظ شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در زمان بررسی ۱۵ روز تیمارهای ملاتونین و نانو کامپوزیت ملاتونین-کیتوزان دارای اسید آسکوربیک بالاتری از سایر تیمارها و شاهد بودند. در زمان بررسی ۳۰ و ۴۵ روز، بیشترین اسید آسکوربیک در تیمارهای ملاتونین و نانوملاتونین کیتوزان مشاهده شد که به لحاظ آماری در پایان انبارمانی ۴۵ روز بین تیمارهای کیتوزان و ملاتونین و نانوکامپوزیت ملاتونین- کیتوزان تفاوت قابل ملاحظه دیده نشد. بالاترین میزان اسید آسکوربیک در تیمار نانو کامپوزیت - ملاتونین کیتوزان و کمترین میزان اسید آسکوربیک در شاهد مشاهده شد (شکل ۳). اسید آسکوربیک به عنوان یک ماده آنتی‌اکسیدانی محلول در آب می‌تواند به طور مستقیم در حذف رادیکال‌های آزاد مشارکت کند (Aghdam and Fard, 2017). اسید آسکوربیک نسبت به دیگر مواد مغذی در طی فرآیند مصرف و انبارمانی به دلیل اکسیداسیون خیلی حساس به تجزیه هستند. این ویتامین در طول مدت نگهداری یا رسیدگی میوه بر اثر فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنول اکسیداز و آسکوربات پراکسیداز تجزیه شده و مقدار آن کاهش می‌یابد. جلوگیری از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]

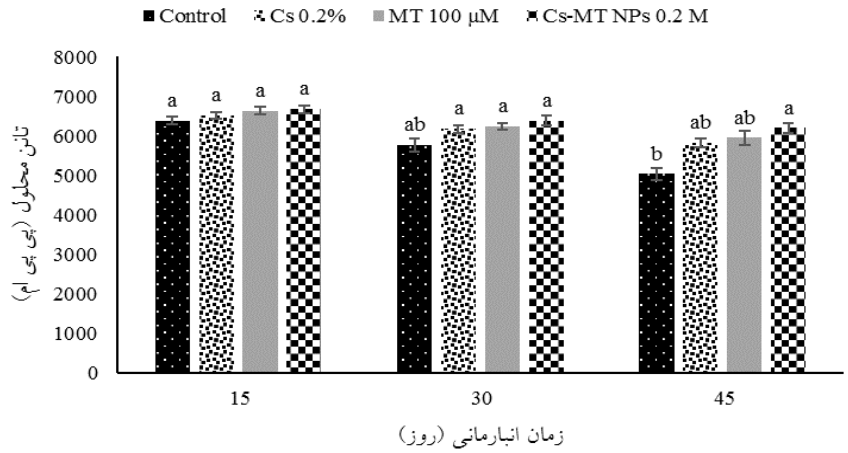


شکل ۳- اثر تیمار پس از برداشت کیتوزان، ملاتونین، نانوکامپوزیت ملاتونین کیتوزان بر اسید آسکوربیک میوه طی انبارمانی. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است. میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

کاهش بیش از حد اسید آسکوربیک در خرمالو تیمارشده با نانوذرات کیتوزان در این مطالعه می‌تواند به دلیل نفوذپذیری کم اکسیژن در پوشش کیتوزان باشد که باعث کاهش تنفس، کاهش فعالیت آنزیم‌های مخرب و جلوگیری از اکسیداسیون اسید آسکوربیک می‌شود (Shi *et al*., 2013). کاربرد ملاتونین از طریق اثر بر چرخه گلوتاتیون- آسکوربیک اسید (ASA-GSH) در میوه هلو با تنظیم بالای بیان ژن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش گونه‌های فعال واکنش‌پذیر میزان آسکوربیک را پس از برداشت افزایش داده است (Cao *et al*., 2018). گزارش شده است که میزان اسید آسکوربیک در میوه‌های تیمارشده با ۵۰ میکرومولار ملاتونین نسبت به تیمارهای دیگر در آزمایش و تیمار شاهد بیشتر بوده است که دلیل آن مربوط به شدت تنفس و تعرق کمتر میوه‌ها و حفظ سفتی میوه که با افزایش کیفیت و مداخله سیستم دفاعی غیرآنزیمی آنتی‌اکسیدانی در این تیمار همراه بوده است (Wang *et al*., 2020). همچنین نتایج این پژوهش با گزارشات تأثیرگذار ملاتونین در افزایش اسید آسکوربیک در میوه آلو (Bal, 2019)، هلو (Gao *et al*., 2016) و میوه شلیل (Bal, 2021) مطابقت دارد.

تانن محلول: نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌داده‌ها نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها و شاهد از نظر تانن محلول وجود نداشت و تیمارها در جلوگیری از تغییرات تانن محلول در این آزمایش تأثیری نداشتند. با این وجود نانوکامپوزیت ملاتونین کیتوزان تانن محلول بیشتری نسبت به بقیه تیمارها داشت و کیتوزان و ملاتونین نیز هم اثر بودند (شکل ۴). طعم گس میوه خرمالو در نتیجه وجود تانن‌های محلول در بافت این میوه است. تانن خرمالو از نوع تانن فشرده است که ساختار پیچیده‌ای داشته و در زمان رسیدن خرمالو به صورت نامحلول درآمده و طعم گس از بین می‌رود. تانن محلول یک ترکیب نسبتاً ناپایدار است که با افزایش دوره نگهداری کاهش می‌یابد. مقدار تانن محلول به عنوان یکی از شاخص‌های اصلی مربوط به کیفیت میوه خرمالو رسیده است. مقدار تانن محلول به دلیل تشکیل کمپلکس بین پکتین آزاد شده از دیواره سلول و تانن، در حین انبارمانی به طور مداوم کاهش می‌یابد. تانن محلول با پکتین آزاد شده ترکیب شده و رسوب می‌کند و نامحلول می‌شود و مقدار تانن محلول کاهش می‌یابد (Nasr *et al*., 2022). پوشش نانوکامپوزیت کیتوزان می‌تواند استحکام دیواره سلولی را حفظ کرده و از تخریب دیواره سلولی جلوگیری کند و در نتیجه از آزادشدن پکتین محلول در دیواره سلولی جلوگیری کرده و باعث جلوگیری از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]

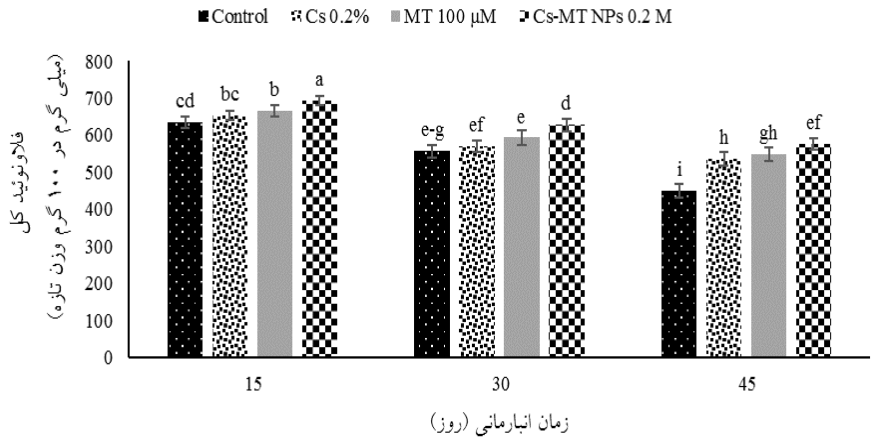


شکل ۴- اثر تیمار پس از برداشت کیتوزان، ملاتونین، نانو کامپوزیت ملاتونین کیتوزان بر تانن محلول میوه طی انبارمانی. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است. میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

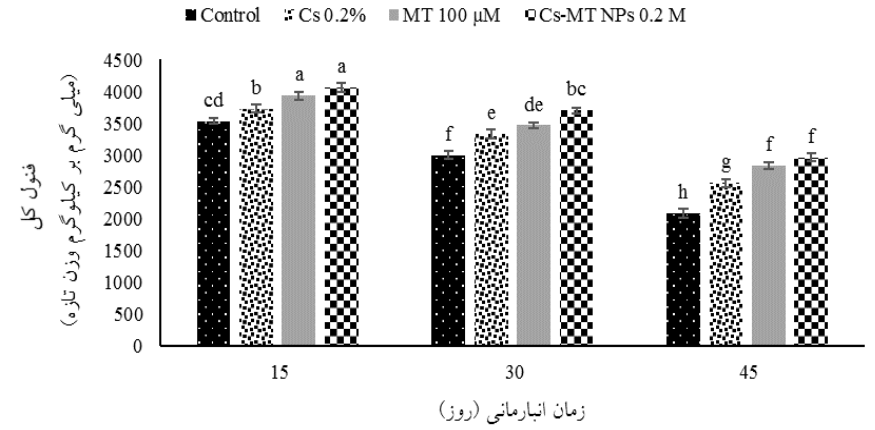
کاهش میزان تانن شود (Xue *et al*., 2020).

محتوی فلاونوئید کل و میزان فنول کل: میزان فنول کل در زمان برداشت ۸۴۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر بود (جدول ۱) که در زمان بررسی ۱۵ روز اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های تیمارشده با شاهد مشاهده شد. طی ۴۵ روز انبارمانی کمترین میزان فنول کل مربوط به شاهد (۷۲۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر) و بیش‌ترین مربوط به نانوکامپوزیت ملاتونین کیتوزان (۹۰۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر) بود (شکل ۶). طی انبارمانی تیمارهای نانوکامپوزیت ملاتونین کیتوزان در حفظ فنول کل تأثیر بیشتری نسبت به کیتوزان و ملاتونین داشتند. همچنین کیتوزان و ملاتونین در حفظ فنول‌ها در مدت ۳۰ روز انبارمانی از اثرات مشابه برخوردار بودند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که همه تیمارها نسبت به شاهد در حفظ فلاونوئید کل در طی انبارمانی مؤثر بودند. طی ۴۵ روز انبارمانی و زمان‌های ۱۵ و ۳۰ روز اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای بین تیمارها از نظر فلاونوئید کل مشاهده شد. نانوکامپوزیت ملاتونین کیتوزان از میزان بیشتر فلاونوئید کل و ملاتونین و کیتوزان هم به لحاظ آماری تفاوتی در میزان فلاونوئید کل نداشتند. ملاتونین و کیتوزان میزان فلاونوئید بیشتری نسبت به شاهد نشان دادند ولی تیمار نانو کامپوزیت ملاتونین کیتوزان در حفظ فلاونوئید کل موفق‌تر بود. در پایان انبارمانی کمترین میزان فلاونوئید کل در شاهد (۶۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر) مشاهده شد (شکل ۵). تغییر در ترکیبات فنولیک میوه به فاکتورهایی مانند ژنوتیپ، واریته، مرحله برداشت، شرایط فصل رشد، زمان و شرایط نگهداری بستگی دارد (Mubarok *et al*., 2023). ترکیبات فلاونوئیدی و فنولی به طور گسترده در گیاهان وجود دارند و فعالیت آنتی‌اکسیدانی از خود نشان می‌دهند. ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها جزء سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی بوده و نقش حفاظتی کلیدی در برابر تنش اکسیداتیو دارند زیرا قادرند تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن را مهار و یا آن‌ها را از بین ببرند. فنول‌ها سوبسترای آنزیم پلی‌فنول اکسیداز هستند و در طی انبارمانی میزان آن‌ها کاهش می‌یابد ولی ملاتونین با کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز و حذف رادیکال‌های آزاد به طور مؤثری موجب جلوگیری از کاهش فنول کل و فلاونوئید کل در پس از برداشت می‌شود (Wang *et al*., 2019). تیمار ملاتونین موجب حفظ فنول و فلاونوئید کل در شرایط انبارمانی از طریق افزایش ملاتونین درونی از مسیر اسید سالسیلیک و توقف فعالیت گونه‌های فعال واکنش‌پذیر و تحریک مسیر فنیل پروپانوئید و افزایش ترکیبات فنولیک و فلاونوئید شده است (Mubarok *et al*., 2023). گزارش شده است که تیمار ملاتونین در حفظ فنول و فلاونوئید کل در انار (Aghdam *et*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]



شکل ۵- اثر تیمار پس از برداشت کیتوزان، ملاتونین، نانو کامپوزیت ملاتونین کیتوزان بر فلاونوئیدکل میوه طی انبارمانی. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است. میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

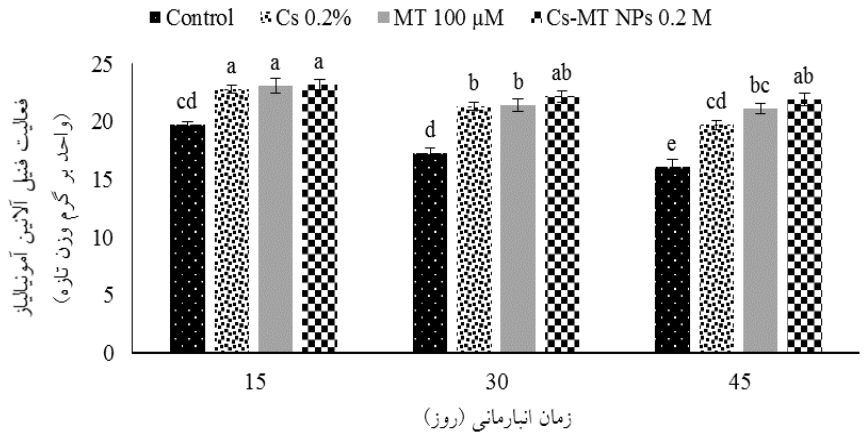


شکل ۶- اثر تیمار پس از برداشت کیتوزان، ملاتونین، نانو کامپوزیت ملاتونین کیتوزان بر فنول کل میوه طی انبارمانی. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است. میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

al., 2020)، توت‌فرنگی (Liu *et al*., 2018)، گیلاس (Xia *et al*., 2020) طی دوره انبارمانی نیز مؤثر بوده است که نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌ها مطابقت دارد.

فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL): نتایج پژوهش نشان داد میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز طی انبارمانی کاهش یافت ولی تیمارها به طور معنی‌داری موجب جلوگیری از کاهش میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز طی دوره انبارمانی شدند. در زمان ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز انبارمانی اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین تیمارها از نظر میزان فعالیت آنزیم مشاهده شد. در طی ۴۵ روز انبارمانی نانوکامپوزیت ملاتونین کیتوزان، اثر مثبتی بر فعالیت آنزیم PAL داشت. کمترین میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۷). میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز با مقدار فنل کل به دست آمده نوعی هماهنگی نشان داد. بنابراین با افزایش فعالیت این آنزیم سنتز و تجمع ترکیبات فنولی افزایش یافته و در نهایت ترکیبات فنولی با خواص آنتی‌اکسیدانی بالا، باعث افزایش مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شود. آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز به عنوان آنزیم کلیدی در متابولیسم فنیل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]

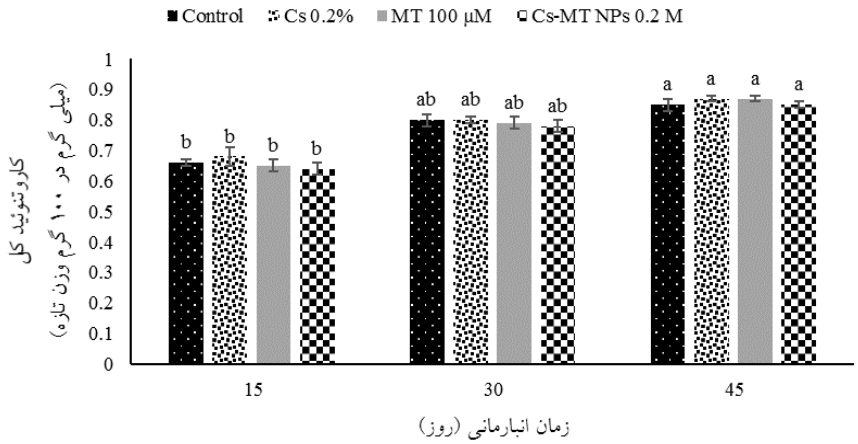


شکل ۷- اثر تیمار پس از برداشت کیتوزان، ملاتونین، نانو کامپوزیت ملاتونین کیتوزان بر فنیل آلانین آمونیالیاز میوه طی انبارمانی. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است. میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

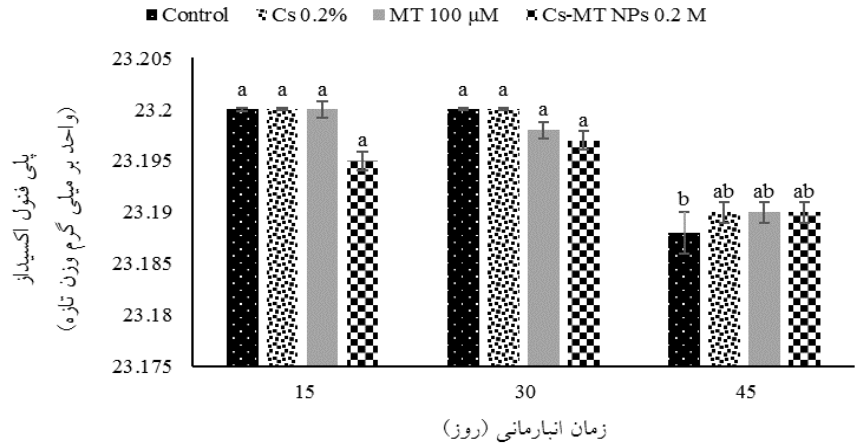
پروپانوئیدی تبدیل فنیل آلانین به ترانس سینامیک اسید را کاتالیز می‌نماید که اولین مرحله در بیوسنتز فنیل پروپانوئیدها بوده و منجر به تولید متابولیت‌های ثانویه مانند لیگنین، فیتوالکسین‌ها و فلاونوئیدها می‌گردد. گزارش شده که تیمار ملاتونین موجب افزایش بیان ژن‌های G6PDH، SKDH و PAL می‌شود که آنزیم‌های ضروری در مسیر سنتز ترکیبات فنولی است (Xu *et al.*, 2018). پال آنزیم کلیدی در مسیر شیکمیک و متابولیسم فنیل پروپانوئید است. مسیر فنیل پروپانوئیدی، مسیر اولیه تولید بسیاری از ترکیبات طبیعی مانند هیدروکسی سینامیک اسیدها و سپس فلاونوئیدها، ایزوفلاونوئیدها، لیگنین، کومارین، استیلبن و طیف وسیعی از سایر مواد فنولی است. محققان نشان دادند که تیمار ملاتونین باعث افزایش فعالیت آنزیم PAL طی انبارمانی شد (Aghdam and Fard, 2017). همچنین Sun و همکاران (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند که ملاتونین باعث تنظیم مثبت در بیان ژن‌های مهم در مسیر ساخت فنیل پروپانوئید مانند PAL می‌گردد که باعث انباشت فنول کل و فلاونوئید می‌شود (Sun *et al.*, 2015). تیمار ملاتونین از طریق رقابت متقابل بین ملاتونین درونی و کلسیم طی انبارمانی میوها را از تخریب حفظ می‌کند (Hu *et al.*, 2018).

کاروتنوئید کل: میزان کاروتنوئید کل در زمان صفر ۰/۴۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر بود (جدول ۱) که میزان آن در طی انبارمانی افزایش یافت. اختلاف معنی‌داری بین تیمارها و شاهد از نظر کاروتنوئید کل وجود نداشت و تیمارها در جلوگیری از تغییرات کاروتنوئید کل در این آزمایش تأثیری نداشتند (شکل ۸). کاروتنوئیدها رنگدانه‌های محلول در چربی هستند که به طور عمده در گیاهان، جلبک‌ها، باکتری‌های فتوسنتزکننده یافت می‌شوند. کاروتنوئیدها به واسطه داشتن پیوندهای دوگانه مزدوج متعدد توانایی آنتی‌اکسیدانی دارند. رنگ کاروتنوئیدها قرمز، زرد یا نارنجی ناشی از حضور یک سیستم از پیوندهای مضاعف است. خرمالو سرشار از کاروتنوئیدها مخصوصاً بتاکاروتن است که می‌تواند به کریپتوسانتین تبدیل شود. در کلروپلاست‌ها کاروتنوئیدها به عنوان رنگیزه‌های کمکی عمل می‌کنند ولی نقش مهم‌ترشان نقش آنتی‌اکسیدانی آن‌ها می‌باشد. شروع ساخت کارتنوئیدها در مرحله اولیه نمو میوه منجر به تجمع و افزایش کارتنوئیدها در مرحله رسیدن در گوشت میوه می‌شود (Alquezar *et al.*, 2008). گزارش‌های متفاوتی از نظر تأثیر ملاتونین در میزان کاروتنوئید کل وجود دارد. Arshad و Haghshenas (۲۰۲۵) گزارش کردند که تیمار ترکیبی کیتوزان و ملاتونین در کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]



شکل ۸- اثر تیمار پس از برداشت کیتوزان، ملاتونین، نانو ملاتونین کیتوزان بر کاروتنوئید میوه طی انبارمانی. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است. میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد است.



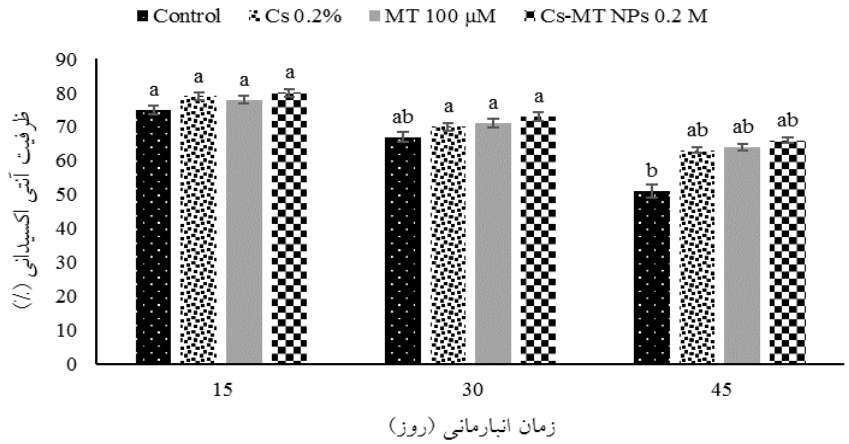
شکل ۹- اثر تیمار پس از برداشت کیتوزان، ملاتونین، نانو کامپوزیت ملاتونین کیتوزان بر پلی‌فنول اکسیداز میوه طی انبارمانی. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است. میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

کلروفیل ۲ و ظهور کاروتنوئید در میوه موز مؤثر است (Arshad and Haghshenas, 2025). Heydarnazhad و همکاران (۲۰۱۹) نیز ملاتونین را در افزایش کاروتنوئید در میوه فیزالیس (عروسک پشت‌پرده) مؤثر دانست.

میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز: بیشترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در طی ۱۵ و ۳۰ روز انبارمانی در شاهد مشاهده شد (شکل ۹). در بررسی زمان‌های انبارمانی طی ۴۵ روز اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین تیمارها از نظر آنزیم پلی‌فنول اکسیداز مشاهده نشد. آنزیم پلی‌فنول اکسیداز عامل مهم قهوه‌ای‌شدن آنزیمی میوه طی انبارمانی و اکسیدشدن و تبدیل فنول‌ها به کینون‌ها است. در نتیجه موجب کاهش میزان کیفیت محصول می‌شود. نتایج پژوهش حاضر با پژوهش Rahmanzadeh-Ishkeh و همکاران (۲۰۲۴) مطابقت نداشت

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل: با گذشت زمان آزمایش مقدار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]
[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]



شکل ۱۰- اثر تیمار پس از برداشت کیتوزان، ملاتونین، نانو کامپوزیت ملاتونین کیتوزان بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه طی انبارمانی. حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن است. میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

فعالیت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تمامی نمونه‌ها یکسان بود. در زمان بررسی، بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار نانوکیتوزان ۰/۲ درصد مشاهده شد که اختلاف قابل ملاحظه‌ای با تیمار ملاتونین نشان نداد (شکل ۱۰). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها و سبزی‌ها شامل ترکیبات آنزیمی مثل آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و همچنین ترکیبات غیرآنزیمی شامل اسید آسکوربیک، ترکیبات فنولی و کارتنوئیدها است (Mwelase *et al.*, 2022). عواملی مانند تنش‌ها و پیری باعث تولید رادیکال‌های آزاد می‌شوند که سلول‌های میوه برای حذف رادیکال‌های آزاد از آنتی‌اکسیدان‌ها کمک می‌گیرند. ترکیبات آنتی‌اکسیدانی با دادن الکترون به رادیکال‌های آزاد، اکسیده شده و ایجاد خسارت توسط گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهند. نانو کامپوزیت ملاتونین کیتوزان با تخریب رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از تولید آن‌ها و کاهش تنفس باعث حفظ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها در طول انبارمانی می‌شود (Zhao *et al.*, 2020). نتایج ما با Wang و همکاران (۲۰۲۲) منطبق بود.

نتیجه‌گیری

استفاده از تیمارهای سالم مانند کیتوزان، ملاتونین، نانوملاتونین پوشش داده شده با کیتوزان، بر افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت میوه خرمالو در دوره انبارمانی سرد کمک می‌کنند. تیمار نانوکامپوزیت ملاتونین پوشش داده شده با کیتوزان به طور معنی‌داری موجب حفظ سفتی بافت میوه، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌اکسیدان کل در مقایسه با شاهد و تیمارهای ملاتونین و کیتوزان در طی انبارمانی شد. همچنین میوه‌های تیمار شده با نانوکامپوزیت ملاتونین پوشش‌داده شده با کیتوزان، بیشترین میزان سفتی، آسکوربیک اسید، فنول و فلاونوئید و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز را نشان دادند. تیمار نانوذرات ملاتونین پوشش داده شده با کیتوزان ۰/۲٪، در حفظ کیفیت و افزایش انبارمانی میوه خرمالو مؤثرتر بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که میوه‌های شاهد پس از ۴۵ روز انبارمانی از نظر اکثر شاخص‌های کیفی مورد بررسی، افت قابل توجهی داشتند، در حالیکه میوه‌های تیمار شده بعد از ۴۵ روز انبارمانی قابل عرضه به بازار بودند. بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، چنین به نظر می‌رسد که کاربرد این تیمارها به صورت تجاری برای افزایش عمر انبارمانی میوه خرمالو قابل توصیه باشد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]

منابع

آمارنامه کشاورزی (۱۴۰۰). محصولات باغبانی و گلخانه ای. وزارت جهاد کشاورزی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

Aghdam, M. S, & Rezapour Fard, J. (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. https://doi.org/ 10.1016/j.foodchem.2016.10.123

Aghdam, M. S., Moradi, M., Razavi, F., & Rabiei, V. (2019). Exogenous phenylalanine application promotes chilling tolerance in tomato fruits during cold storage by ensuring supply of NADPH for activation of ROS scavenging systems. *Scientia Horticulturae*, *246*, 818-825. https://doi.org/ 10.1016/j.scienta.2018.11.074

Aghdam, M. S., Luo, Z., Li, L., & Jannatizadeh, A. (2020). Melatonin treatment maintains nutraceutical properties of pomegranate fruits during cold storage. *Food Chemistry*, *303*, 125385. doi.org/ 10.1016/j.foodchem.2019.125385

Algarni, H. A., Ibrahim, A., Elnaggar, S., & Abd El-wahed, M. (2022). Effect of chitosan nanoparticles as edible coating on the storability and quality of apricot fruits. *Polymers*, *14*, 22-27. https://doi.org/10.3390/polym14112227

Ali, A., Muhammad, M. T. M., Sijam, K., & Siddiqui, Y. (2011). Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika IIpapaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. *Food Chemistry*, *124*, 620-626. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.085

Alquezar, B., Rodrigo, M. J. L., & Zacarias, L. (2008). Regulation of carotenoid biosynthesis uring fruit maturation in the red- fleshed orange mutant Cara. *Phytochemistry*, *69*, 1997-2007. doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.04.020

Ardakani, M. D., Mostofi, Y., & Hedayatnejad, R. (2012). Study on the effects of chitosan in preserving some qualitative factors of table grape (*Vitis vinifera*). *Acta Horticulturae*, *877*, 739-742.

Arroyo, B. J., Bezerra, A. C., Oliveira, L., Arroyo, S., Melo, E. A., & Santos, A. M. (2020). Antimicrobial active edible coating of alginate and chitosan add ZnO nanoparticles applied in guavas (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, 309-312. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125566

Arshad, M, & Haghshenas, M. (2025). Melatonin and chitosan coating effects on banana postharvest life and physiological Traits. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *1*, 31-42. https://doi.org/10.22059/IJHST.2024.364005.687

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. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00088-6

Bal, E. (2021). Effect of melatonin treatments on biochemical quality and postharvest life of nectarines. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*, 288-295. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00636-5

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*, 1-9.

Dalvi, L. T., Moreira, D., Alonso, A., & Hermes-Lima, M. (2018). Antioxidant activity and mechanism of commercial Rama Forte persimmon fruits (*Diospyros kaki*). *Peer J*, *6*, 5223, 1-22. https://doi.org/10.7717/peerj.5223

Dehghan, G, & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)-quercetin complex synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. *Food Chemistry*, *131*, 422-427.

FAO. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO database.

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. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.03.006

Ghasemnezhad, M., Zreh, S., Rassa, M., Hassan, R., & Sajedi, R. (2012). Effect of chitosan coating on maintenance of aril quality. Microbial population and PPO activity of pomegranate (*Punica granatum* L. Var. Tarom) at cold storage temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *93*, 368-378.

Gohari, Gh., Farhadi, H., Panahirad, S., Zareei, S., & Labib, C. (2023). Mitigation of salinity impact in spearmint plants through the application of engineered chitosan-melatonin nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, *224*, 893-907. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.175

Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, *45*(8), 1150-1154. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020

Heydarnazhad, R., Ghahremani, Z., Barzegar, T., & Rabiei, V. (2019). The effects of harvesting stage and chitosan coating on quality and shelf-life of *Physalis angulata* L. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *50*(1), 173-186. https://doi.org/10. 22059/IJHS.2018.250863.1389

Hu, D., Liu, X., Qin, Y., & Qiliang, Y. (2022). A novel edible packaging film based on chitosan incorporated with persimmon peel extract for the postharvest preservation of banana. *Food Quality and Safety*, *6*, 1-13.

Hu, W., Yang, H., Tie, W., Yan, Y., Ding, Z., Liu, 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*, 9987-9994. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03354

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]

Jalilimarandi, R. (2000). Postharvest Physiology (Handling and Storage of Fruits, Vegetables and Ornamental Plants). 2nd Ed. Publishers Jihad Urmia University.

Jannatizadeh, A. (2019). Exogenous melatonin applying confers chilling tolerance in pomegranate fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae, 246*, 544-549. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.027

Kaijv, M., Sheng, L., & Chao, C. (2006). Antioxidation of flavonoids of Green Rhizome. *Food Science and Technology*, *27*, 110-115.

Khademi, O., Salvador, A., Zamani, Z., & Besada, C. (2013). Effects of hot water treatments on antioxidant enzymatic system in reducing flesh browning of persimmon. *Food and Bioprocess Technology*, *6*, 3038-3046. https://doi.org/10. 1007/s11947-012-0959-6

Li, Y., Lu, H., Li, R., He, Sh., & Li, B. (2016). Changes of reactive oxygen species and scavenging enzymes of persimmon fruit treated with CO_2 deastringency and the effect of hydroxyl radicals on breakdown of cell wall polysaccharides in vitro. *Scientia Horticulturae*, *199*, 81-98.

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. doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.016

Liu, J., Zhang, R., Sun, Y., Liu, Z., Jin, W., & Sun, Y. (2016). The beneficial effects of exogenous melatonin on tomato fruit properties. *Scientia Horticulturae*, *207*, 14-20. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.05.003

Lufu, R., Ambaw, A., & Opara, U. L. (2019). The contribution of transpiration and respiration processes in the mass loss of pomegranate fruit (cv. Wonderful). *Postharvest Biology and Technology*, 12-27. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110982

Ma, Q., Lin, X., Wei, Q., Yang, X., & 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*, 36-39. doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110236

Maulidiani, M., Mediani, A., Abas, F., Park, Y. S., & Grinstein, S. (2018). 1H NMR and antioxidant profiles of polar and non-polar extracts of persimmon (*Diospyros kaki* L.)-metabolomics study based on cultivars and origins. *Talanta*, *184*, 277-286.

Mubarok, S., Suminar, E, Husnul, A. A., & Ayu Setyawati, C. (2023). Overview of melatonin's impact on postharvest physiology and quality of fruits. *Horticulturae*, *9*, 586-589.

Mwelase, S., Opara, U. L., Fawole, O. A., Linus, U., & Fawole, O. (2022). Effect of chitosan-based melatonin composite coating on the quality of minimally processed pomegranate aril-sacs during cold storage. *Institute of Food Science and Technology*, *6*, 32-39.

Nasr, F., Rabiei, V., Razavi, F., Formaneck, S., Gohari, G., & Lorenzo, G. (2022). Chitosan-phenylalanine nanoparticles (Cs-Phe Nps) extend the postharvest life of persimmon (*Diospyros kaki*) fruits under chilling. *Coatings*, *11*, 819-827. https://doi.org/10.3390/coatings11070819

Nguyen, D. H, & Nguyen, H. V. (2020). Effects of nano-chitosan and chitosan coating on the quality, polyphenol oxidase activity, malondialdehyde content of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, *3*, 11-24. https://doi.org/10.22077/jhpr.2019.2698.1082

Rahmanzadeh‐Ishkeh, Sh., Shirzad, H., Tofighi, Z., Fattahi, M., & Ghosta, Y. (2024). Exogenous melatonin prolongs raspberry postharvest life quality by increasing some antioxidant enzyme activity and phytochemical contents. *Scientific Reports*, 48-59. https://doi.org/10.1038/s41598-024-62111-1

Salvador, A., Arnal, L., Besada, C., Larrea, V., Hernando, I., & Perez-Munuera, I. (2008). Reduced effectiveness of the treatment for removing astringency in persimmon fruit when stored at 15°C: Physiological and microstructural study. *Postharvest Biology and Technology*, *49*, 340-347. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.01.015

Shi, S., Wang, W., Liu, L., Wu, S., Wei, Y., & Li, W. (2013). Effect of chitosan/nano-silica coating on the physicochemical characteristics of longan fruit under ambient temperature. *Journal of Food Engineering*, *118*, 125-131. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.03.029

Sun, Q., Zhang, N., Wang, J., Zhang, H., Li, D., Shi, J., Li, R., Weeda, S., Zhao, B., Ren, Sh., & Guo, Y. D. (2015). Melatonin promotes ripening and improves quality of tomato fruit during postharvest life. *Journal of Experimental Botany*, *66*, 657-668. https://doi.org/10.1093/jxb/eru332. Epub 2014 Aug 21

Wang, L., Chen, S., Kong, W., Li, S., & Archbold, D. D. (2006). Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and affects the antioxidant system and heat shock protein of peaches during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, *41*, 224-251. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.04.010

Wang, Z., Ying, T., Bao, B., & Huang, X. (2005). Characteristics of fruit ripening in tomato mutant epi. *Journal of Zhejiang University Science*, *6*, 502-207. https://doi.org/10.1631/jzus. 2005.B0502

Wang, B., Tang, C., & Yin, C. (2011). Effects of hydrophobic and hydrophilic 17 modifications on gene delivery of amphiphilic chitosan based nanocarriers. *Biomaterials*, *32*(20), 4630-4638. doi.org/10.1016/j.biomaterials.2011.03.003

Wang, Y., Zhang, J., Ma, Q., & Zhang, X. (2022). Exogenous melatonin treatment on post-harvest jujube fruits maintains physicochemical qualities during extended cold storage. *Peer J*, 16-28. doi.org/10.7717/peerj.14155

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]

Wang, T., Hu, M., Yuan, D., Yun, Z., Gao, Z., Su, Z., & Zhang, Z. (2020). Melatonin alleviates pericarp browning in litchi fruit by regulating membrane lipid and energy metabolisms. *Postharvest Biology and Technology*, 160-165. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111066

Wang, X., Liang, D., Xie, Y., & Lv, L. (2019). Melatonin application increases accumulation of phenol substances in kiwifruit during storage. Emir. *Journal of Agriculture and Food, 31*, 361-367. https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i5.1954

Wu, D., Zhang, M., Bhandari, B., & Guo, Z. (2021). Combined effects of microporous packaging and nano-chitosan coating on quality and shelf-life of fresh-cut eggplant. *Food Bioscience, 43*, 10-12. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101302

Xia, H., Shen, Y., Shen, T., Wang, X., Zhang, X., & Liang, D. (2020). Melatonin accumulation in sweet cherry and its influence on fruit quality and antioxidant properties. *Molecules, 25*, 753-759. https://doi.org/10.3390/molecules25030753

Xu, L., Yue, Q., Xiang, G., Bian, F., & Yao, Y. (2018). Melatonin promotes ripening of grape berry via increasing the levels of ABA, H_2O_2, and particularly ethylene. *Horticulture Research, 5*, 41-45. https://doi.org/10.1038/s41438-018-0045-y

Xue, J., Huang, L., Zhang, Sh., Sun, H., & Gao, T. (2020). Study on the evaluation of carboxymethyl-chitosan concentration and temperature treatment on the quality of "Niuxin" persimmon during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation, 145*, 1-17.

Zhai, R., Liu, J., Liu, F., Zhao, Y., Liu, L., Fang, C., Wang, H., Li, X., Wang, Z., Ma, F., & Xu, L. (2018). Melatonin limited ethylene production, softening and reduced physiology disorder in pear (*Pyrus communis* L.) fruit during senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 38-46. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.017

Zhao, Y., Tan, D. X., Lei, Q., Chen, H., Wang, L., & Li, Q. T. (2013). Melatonin and its potential biological functions in the fruits of sweet cherry. *Journal of Pineal Research, 55*, 79-88. https://doi.org/10.1111/jpi.12044

Zhao, A., Wanga, H., Belwala, L., & Yunhong, J. T. (2020). Chitosan-based melatonin bilayer coating for maintaining quality of freshcut products. *Carbohydrate Polymers*, *45*, 235-271. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115973

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]

The effect of melatonin, chitosan and melatonin coated with chitosan nanocomposite coatings on physicochemical characteristics of persimmon

Behnaz Soleimani[1], Vali Rabiei[1*], Farhang Razavi[1], Gholam Reza Mahdavinia [2] and Fahimeh Nasr [1]

[1] Horticultural Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
[2] Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Maragheh, Maragheh, Iran
(Received: 2024/09/30, Accepted: 2025/02/24)

Abstract

Persimmon is an important horticultural crop with high perishability and a very short postharvest life that undergoes prompt ripening due to ethylene production and accelerated respiration. Loss of firmness makes persimmon fruits vulnerable to mechanical damage and rot, ultimately restricting long-distance shipping. Thus, providing useful solutions to increase the shelf life of the fruit is very important for natural ingredients. Relating to the beneficial effects of edible coatings, this experiment was carried out as a factorial experiment in a completely randomized design with two factors: melatonin coated with chitosan nanocomposite (0.2% w/v), chitosan (0.2% w/v) and melatonin (100 µm), and control (distilled water) and storage time factor (15, 30, and 45 days). Fruit was treated with storage at 1ºC and 85-90% relative humidity for 45 days. The obtained results illustrated that applying melatonin coated with chitosan nanocomposite treatment significantly caused the maintenance of firmness during cold storage. In addition, the highest levels of total phenols (2966.6 mg/kg FW), total flavonoids (576.6 mg/kg FW), ascorbic acid (17.8 mg/100 g FW), and PAL activity (21.9 U/mg FW) were observed in melatonin coated with chitosan nanocomposite treatment. In conclusion, applying melatonin coated with chitosan nanocomposite as some safe and natural coatings to preserve the quality properties and increase the shelf life of persimmon fruit during cold storage.

Keywords: Antioxidant capacity, PAL activity, Persimmon, Postharvest life, Melatonin

Corresponding author, Email: rabiei@znu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-20]

[DOI: DOI: 10.22034/14.68.99]