مقاله پژوهشی

تعدیل فعالیت پلی‌گالاکتوروناز و ارتقای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه هلو رقم آلبرتا با برهمکنش تیمارهای پیش و پس از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک

حمیده محمدی، زهرا پاک‌کیش* و وحید رضا صفاری

بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنرکرمان، کرمان، ایران

چکیده

هلو (*Prunus persica* L.) یکی از میوه‌های هسته‌دار با ارزش غذایی و اقتصادی بالا است که حساسیت بالایی نسبت به سرمازدگی و فساد پس از برداشت دارد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر متیل‌جاسمونات (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و اسید سالیسیلیک (۱ و ۲ میلی‌مولار) و زمان‌های مختلف محلول‌پاشی (نوک‌سبزی جوانه، نوک‌صورتی جوانه و پس از برداشت) بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و آنتی‌اکسیدانی میوه هلو رقم 'آلبرتا' انجام شد. نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای پیش از برداشت و پس از برداشت به‌طور معنی‌دار کیفیت انبارمانی میوه را ارتقا داد. درصد میوه‌های آسیب‌دیده در تیمار شاهد در مرحله نوک‌سبزی جوانه ۴۰/۳۵ درصد بود، درحالی‌که ترکیب متیل جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار در همان زمان این مقدار را به ۹/۲۲ درصد کاهش داد، که بیانگر کاهش حدود ۷۷ درصدی نسبت به شاهد است. استحکام بافت میوه نیز با این ترکیب به ۲/۷۷ kg/cm^2 رسید که تقریباً ۱۵ درصد بیشتر از شاهد بود. فعالیت پلی‌گالاکتوروناز در تیمار شاهد در مرحله نوک‌سبزی ۴/۹۳ unit/g FW بود، درحالی‌که ترکیب متیل جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار میزان فعالیت آنزیم را ۵/۴۹ درصد کاهش داد و بیشترین اثر مهاری را نشان داد. کل مواد جامد محلول در این تیمار به ۲۰/۸۳ درصد رسید که ۷۹ درصد افزایش نسبت به شاهد داشت. ویتامین ث نیز با این تیمار به بیشترین مقدار خود رسید و حدود ۴۶ درصد افزایش نسبت به شاهد ثبت شد. در شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی، فعالیت کاتالاز و پراکسیداز به ترتیب حدود ۱۴ و ۴۳ درصد بیشتر از شاهد بودند، درحالی‌که پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء به ترتیب ۵۴ و ۳۳ درصد کاهش یافتند. این یافته‌ها نشان داد که اعمال پیش‌از برداشت متیل‌جاسمونات در ترکیب با اسید سالیسیلیک به‌ویژه در مرحله نوک‌سبزی جوانه، قادر به مهار استرس اکسیداتیو، کاهش آسیب غشایی و افزایش طول عمر انبارمانی و کیفیت میوه است. به‌طورکلی، ترکیب متیل جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار و اعمال آن در مرحله نوک‌سبزی جوانه به عنوان مؤثرترین استراتژی برای بهبود ماندگاری و کیفیت فیزیکوشیمیایی هلو رقم آلبرتا شناسایی شد و می‌تواند ارزش اقتصادی و کیفیت تغذیه‌ای میوه را به‌طور قابل توجهی ارتقا دهد.

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۰۳، پذیرش: ۱۴۰۶/۱۱/۲۱، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۰۸

* نویسنده مسئول، رایانامه: zahrapakkish@uk.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران است. ۱۴۰۳ ©

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

واژه‌های کلیدی: کیفیت پس از برداشت، تنش اکسیداتیو، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، استحکام بافت میوه، پراکسیداسیون لیپیدها، تعامل هورمون‌های گیاهی

مقدمه

هلو (*Prunus persica* L.) به‌عنوان یکی از میوه‌های هسته‌دار مهم، دارای مورفولوژیک پیچیده‌ای است که از سه لایه متمایز تشکیل می‌شود: اگزوکارپ بسیار نازک و کرک‌دار که نخستین سد فیزیکی در برابر عوامل محیطی محسوب می‌شود، مزوکارپ ضخیم و گوشتی که بخش عمده صفات کیفی و حسی میوه را شکل می‌دهد و اندوکارپ سخت و چوبی که نقش حفاظتی حیاتی برای بذر ایفا می‌کند. از دیدگاه بیوشیمیایی، هلو مخزن گسترده‌ای از متابولیت‌های اولیه و ثانویه مانند فنولیک‌ها، فلاونوئیدها، اسیدهای آلی، قندها و ترکیبات معطر به‌شمار می‌رود؛ از این‌رو، ارقام مختلف آن به‌واسطه تفاوت در الگوهای بیوسنتزی، فعالیت‌های فیزیولوژیک و مسیرهای متابولیکی، تنوع قابل‌توجهی در ترکیب شیمیایی، ویژگی‌های فیزیولوژیک و کیفیت پس از برداشت بروز می‌دهند (Girardi *et al*., 2005). بعد از برداشت میوه، علی‌رغم قطع جریان آب و مواد غذایی از درخت، میوه همچنان به فعالیت‌های متابولیکی ادامه می‌دهد. از این‌رو، دوره پس از برداشت یک مرحله بحرانی محسوب می‌شود که مدیریت بهینه آن می‌تواند سرعت فرایندهای تخریبی و تغییرات متابولیکی نامطلوب را کاهش داده و کیفیت میوه را حفظ نماید (Infante *et al*., 2006). میوه هلو بسیار حساس است و قابلیت نگهداری پس از برداشت آن محدود است؛ طبق گزارش Cao و همکاران (۲۰۲۵)، دمای پیشنهادی برای انبارداری بین صفر تا ۴°C است، ولی معمولاً میوه‌ها فقط یک تا چهار هفته در این شرایط قابل نگهداری هستند. با این وجود، عواملی مانند آسیب سرمایی، لهیدگی و افزایش فسادپذیری کیفیت میوه، محدودکننده اصلی ماندگاری و بازارپسندی آن هستند (Cao *et al*., 2025). تاکنون راهبردهای گوناگونی مانند استفاده از اتمسفر کنترل‌شده، به‌کارگیری تیمارهای حرارتی، روش‌های نوین حمل و نقل و همچنین تیمارهای شیمیایی در راستای افزایش عمر انبارمانی هلو پیشنهاد شده‌اند (Zhou *et al*., 2000; Infante *et al*., 2006). با وجود این، به‌دلیل ارزش غذایی و جایگاه ویژه این میوه در سبد مصرف، پژوهش‌های بیشتر در زمینه توسعه روش‌های کارآمد برای بهبود کیفیت و افزایش عمر پس از برداشت همچنان از اهمیت بالایی برخوردار است.

در سال‌های اخیر، ترکیبات سیگنالینگ گیاهی از جمله اسید سالیسیلیک و متیل‌جاسمونات به‌عنوان ابزارهای نوین در مدیریت پس از برداشت مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند. این دو ترکیب در بسیاری از فرایندهای رشدونمو گیاهی نقش داشته و به‌طور ویژه به‌عنوان فعال‌کننده مسیرهای دفاعی گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی شناخته می‌شوند (Baswal *et al*., 2020). شواهد علمی نشان داده است که کاربرد خارجی این ترکیبات موجب کاهش نرخ تنفس، کاهش اتلاف آب و تأخیر در بروز اوج تنفسی میوه‌های برداشت‌شده می‌شود که در نهایت منجر به تأخیر در پیری و افزایش ماندگاری می‌گردد. علاوه‌براین، تیمار با سالیسیلیک اسید و متیل‌جاسمونات قادر است شدت پوسیدگی را طی انبارمانی در میوه توت‌فرنگی و گوجه‌فرنگی، کاهش دهد (El-Mogy *et al*., 2019; Kumar *et al*., 2021). کاربرد پیش‌برداشت این ترکیبات در طیف وسیعی از محصولات باغبانی نظیر توت‌فرنگی، پرتقال خونی، گوجه‌فرنگی، تره‌فرنگی و گل رز نشان داده است که می‌تواند با تنظیم مسیرهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مرتبط با پیری، کیفیت و عمر پس از برداشت را به شکل معنی‌داری افزایش دهد (رضایی و حاجی‌زاده، ۱۳۹۹؛ رمضانیان و همکاران، ۱۳۹۳؛ Baek *et al*., 2021; Chen *et al*., 2023; Wang *et al*., 2022; Vithana *et al*., 2024)؛ همچنین، مطالعات اخیر تأیید کرده‌اند که این ترکیبات علاوه بر بهبود کیفیت فیزیکوشیمیایی، موجب تحریک سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و تقویت دیواره سلولی میوه‌ها شده و در نتیجه پایداری بافت و مقاومت به تنش را افزایش می‌دهند (Asrey *et al*., 2004; Babalar *et al*., 2007; Krishna *et al*., 2011; Rehman *et al*., 2021; Chen *et al*., 2023).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

بنابراین، هلو به عنوان میوه‌ای هسته‌دار با ارزش اقتصادی و غذایی بالا، پس از برداشت بسیار حساس به کاهش کیفیت و آسیب‌های ناشی از سرما است، که می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بافت میوه را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد (Sen *et al.*, 2024). پژوهش‌های گذشته نشان داده‌اند که متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک پس از برداشت می‌توانند با مهار بیوسنتز اتیلن، تنظیم مسیرهای متابولیکی و فعال‌سازی پاسخ‌های دفاعی، مقاومت میوه در برابر آسیب‌های سرد و کاهش کیفیت پس از برداشت را افزایش دهند. به‌طور مشخص، Sen و همکاران (۲۰۲٤) اثر این ترکیبات را تنها پس از برداشت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کاهش ناهنجاری‌های انبارمانی در میوه شلیل بررسی کردند؛ Zhao و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که جاسمونیک اسید و اسید سالیسیلیک پس از برداشت با افزایش تجمع ساکارز و تنظیم متابولیسم قندها، مقاومت میوه به آسیب‌های سرما را بهبود می‌بخشند و Zhu و همکاران (۲۰۲٤) دریافتند که متیل‌جاسمونات پس از برداشت با مهار مسیر سیگنالینگ اتیلن و فعال‌سازی بازخورد منفی مسیر JA، کیفیت و پایداری میوه را به‌طور مؤثری افزایش می‌دهد. با این حال، تمام این مطالعات محدود به کاربرد پس از برداشت و اثرات تک‌عاملی بوده‌اند و اطلاعات مقایسه‌ای درباره اثر زمان‌های مختلف محلول‌پاشی پیش و پس از برداشت، غلظت‌های متنوع و همکنش بین متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک هنوز موجود نیست. بنابراین، این مطالعه با رویکردی جامع و دقیق، اثرات این دو ترکیب هورمونی را در زمان‌ها و غلظت‌های متفاوت پیش و پس از برداشت، به‌همراه بررسی تعامل آن‌ها بر کیفیت، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و پایداری انبارمانی میوه هلو رقم «آلبرتا» بررسی می‌کند، تا خلأ علمی موجود را پر کرده و راهکارهای مؤثری برای بهبود کیفیت و افزایش طول دوره نگهداری این میوه ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در باغی تجاری از درختان هلو رقم آلبرتا (*Prunus persica* L.) واقع در حومه شهرستان راین، در فاصله حدود ۱۵۰ کیلومتری جنوب‌شرقی مرکز استان کرمان، ایران، اجرا گردید. شهر راین در مختصات جغرافیایی تقریبی عرض جغرافیایی ° ۲۹/۵۹۷۸ شمالی و طول جغرافیایی ° ۵۷/٤۳۸٦ شرقی قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۲۲۰۰ متر گزارش شده است. درختان مورد مطالعه چهارساله بوده و با الگوی کاشت ٤ متر در داخل ردیف و ٦ متر بین ردیف‌ها مستقر بودند. سیستم آبیاری باغ از نوع قطره‌ای با دور آبیاری پنج روزه بوده و عملیات مدیریتی شامل هرس منظم، کنترل آفات و علف‌های هرز و تغذیه متعادل از طریق کودهای آلی پوسیده و محلول‌پاشی عناصر غذایی، به‌ویژه نیتروژن و پتاسیم، انجام می‌گرفت. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد است. میانگین دمای سالانه در این ناحیه حدود ۱٦ درجه سانتی‌گراد گزارش شده و بارندگی سالانه بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر متغیر است که عمدتاً در فصل‌های پاییز و زمستان رخ می‌دهد. علاوه بر این، این منطقه از یک دوره سرمایی مؤثر معادل ٤۰۰ تا ۱۰۰۰ ساعت با دمای کمتر از ۷ درجه سانتی‌گراد برخوردار است که شرایط لازم برای شکستن دوره رکود و رشد بهینه درختان هلو، به‌ویژه رقم آلبرتا، را فراهم می‌سازد. خاک باغ از نوع لومی - شنی با زهکشی مطلوب و pH در محدوده ۷/۵ تا ۸/۵ بود که شرایط ایده‌آلی برای توسعه و عملکرد ریشه‌های درخت هلو فراهم می‌کرد (جدول ۱).

تغذیه درختان هلو شامل مصرف کودهای آلی و شیمیایی به شرح زیر بود:

کود آلی پوسیده: ۲۰ تن/هکتار، یک بار در ابتدای فصل رشد خاکی استفاده شد.

کود نیتروژنه (نیترات آمونیوم): ۱۰۰ کیلوگرم/هکتار در سه نوبت (اوایل بهار، قبل از گلدهی، بعد از برداشت).

کود پتاسیمی (سولفات پتاسیم): ۵۰ کیلوگرم/هکتار در دو نوبت (قبل از گلدهی و بعد از برداشت).

ریزمغذی‌ها: محلول‌پاشی در سه نوبت در طول فصل رشد به منظور جلوگیری از کمبود عناصر و تقویت عملکرد میوه‌ها.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باغ هلو

ویژگی خاک	مقدار
بافت	لومی-شنی
pH در آب (۱:۱)	۷/٦
هدایت الکتریکی (EC, dS/m)	۰/۳۵
مواد آلی (٪)	۱/۳
نیتروژن کل (N, mg/kg)	٤۲
فسفر قابل جذب (P, mg/kg)	۱٤
پتاسیم قابل جذب (K, mg/kg)	۱۷۵
کلسیم (Ca, mg/kg)	٦۲۰
منیزیم (Mg, mg/kg)	۸۵
سدیم (Na, mg/kg)	۱۲
آهک فعال (٪)	۱۰

این مدیریت تغذیه‌ای همراه با شرایط اقلیمی مناسب منطقه، میانگین دمای سالانه حدود ۱٦ °C، بارندگی سالانه ۱۵۰–۲۵۰ میلی‌متر و دوره سرمایی مؤثر ٤۰۰–۱۰۰۰ ساعت با دمای کمتر از ۷°C، محیطی پایدار و ایده‌آل برای بررسی اثر تیمارهای مورد مطالعه بر کیفیت و انبارمانی میوه هلو فراهم نمود.

تیمارها و روش اجرا: تیمارهای مورد استفاده شامل متیل‌جاسمونات در دو غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (Lu *et al*., 2024; Wang *et al*., 2020)، اسید سالیسیلیک در دو غلظت ۱ و ۲ میلی‌مولار (Chen *et al*., 2025; Zhang *et al.,* 2024) و همچنین ترکیبات توأم متیل‌جاسمونات (۱۰۰ یا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به همراه اسید سالیسیلیک (۱ یا ۲ میلی‌مولار) بودند (Sen *et al*., 2024). درختانی که تحت هیچ یک از تیمارهای فوق قرار نگرفتند و فقط با آب‌مقطر محلول‌پاشی شدند، به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند.

آزمایش شامل سه زمان مجزا برای اعمال تیمارها بود: (۱) محلول‌پاشی پیش‌برداشت در مرحله نوک‌سبزی جوانه، (۲) محلول‌پاشی پیش‌برداشت در مرحله نوک‌صورتی جوانه (۳) تیمار پس‌از برداشت که در آن میوه‌ها در مرحله رسیدگی تجاری برداشت.

برداشت میوه‌ها در مرحله رسیدگی تجاری انجام شد، که براساس افزایش محتوای جامدات محلول °Brix(۱۰–۱٤) تعیین شد (Cao *et al*., 2025)، تضمین می‌کنند میوه برای ارزیابی اثرات تیمارهای پس از برداشت از نظر کیفیت فیزیکوشیمیایی و ماندگاری مناسب باشد. (محلول‌پاشی زمان پیش‌برداشت، یعنی مرحله نوک‌سبزی جوانه و مرحله نوک‌صورتی جوانه، انتخاب شدند زیرا این مراحل حساس‌ترین دوره‌های رشد و تقسیم سلولی در جوانه‌ها و آغاز تشکیل گل و میوه هستند. در این زمان‌ها، متابولیسم ترکیبات ثانویه مانند فنول‌ها و فلاونوئیدها فعال بوده و مسیرهای سیگنالینگ دفاعی و آنتی‌اکسیدانی بیشترین پاسخ را به سیگنال‌دهنده‌های خارجی مانند متیل جاسمونات و سالیسیلیک اسید نشان می‌دهند. بنابراین اعمال محلول‌پاشی در این مراحل امکان القای تغییرات فیزیولوژیک مؤثر در طول نمو میوه و بهبود کیفیت پس از برداشت را فراهم می‌کند). زمان پس از برداشت نیز برای تیمار میوه‌ها انتخاب شد تا اثر مستقیم متیل جاسمونات و سالیسیلیک اسید بر بافت میوه و شاخص‌های انبارمانی، بدون تأثیرات مدیریت باغ، مورد ارزیابی قرار گیرد. ترکیب تیمارهای پیش‌برداشت و پس از برداشت امکان مقایسه مستقیم بین تأثیرات سیستمیک القاشده توسط محلول‌پاشی در درخت و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

اثرات موضعی پس از برداشت را فراهم می‌آورد (Shafiq *et al*., 2013; Zhang *et al*., 2024). پس از ضدعفونی با محلول هیپوکلریت سدیم ۲٪ (و آبکشی) به‌صورت غوطه‌وری در محلول‌های تیماری قرار گرفتند. به‌عبارت دقیق‌تر، دو زمان نخست (۱ و ۲) به‌عنوان تیمارهای پیش‌برداشت مستقیماً روی درختان اعمال شدند تا اثر محلول‌پاشی در فاز رشد و تکامل میوه پیش از برداشت ارزیابی گردد، در حالی‌که زمان سوم (۳) به‌منظور بررسی اثر مواجهه مستقیم بافت میوه برداشت‌شده با مواد مورد مطالعه روی ویژگی‌های انبارمانی اجرا شد. برای حذف هر گونه تأثیرات مدیریتی بر نتایج، درختان انتخاب‌شده برای تیمارهای پیش‌برداشت از نظر آبیاری و مدیریت کاملاً همگن بودند و کلیه میوه‌های برداشت‌شده برای تیمارهای پس‌از برداشت بلافاصله پس از تجمع نمونه، ضدعفونی و تیمار شدند. این طراحی زمانی امکان مقایسه مستقیم بین تأثیرات فیزیولوژیک القاشده توسط محلول‌پاشی پیش‌برداشت و اثرات موضعی ناشی از تیمار پس‌از برداشت بر عمر انبارمانی و شاخص‌های فیزیکوشیمیایی میوه را فراهم می‌آورد. پس از اعمال تیمارها، میوه‌ها در مرحله رسیدگی تجاری برداشت شده و بلافاصله به انبار سرد با دمای ثابت ۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰ ± ۵ درصد منتقل شدند.

اندازه‌گیری سرمازدگی و پوسیدگی (درصد میوه‌های آسیب‌دیده) میوه: برای ارزیابی میزان سرمازدگی و پوسیدگی، میوه‌های تیمارشده پس از ۳۰ روز نگهداری در دمای ۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰ ± ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفتند. بروز لکه‌های قهوه‌ای داخلی یا خارجی همراه با فرورفتگی‌های سطحی و تغییر بافت به‌عنوان شاخص‌های اصلی سرمازدگی در نظر گرفته شد. علائم پوسیدگی نیز شامل نرم‌شدگی موضعی، تغییر رنگ، ترشح مایعات و گسترش لکه‌های قهوه‌ای یا سیاه در سطح میوه بودند. برای محاسبه درصد میوه‌های آسیب‌دیده (دارای سرمازدگی یا پوسیدگی)، از فرمول زیر استفاده گردید (Babalar *et al*., 2007).

درصد میوه‌های آسیب‌دیده = (تعداد میوه آسیب‌دیده / تعداد کل میوه) × ۱۰۰

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز: برای تعیین فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز، ابتدا ۱۰ گرم از بافت میوه وزن و در نیتروژن مایع پودر شد. پودر حاصل در ۵۰ میلی‌لیتر بافر استخراج فسفات ۰/۰۱ مولار (pH=۷) حاوی ۰/۱ مولار کلرید سدیم و ۱ درصد (w/v) پلی‌وینیل پلی‌پیرولیدون (PVPP) حل شد. PVPP برای حذف ترکیبات فنولی و جلوگیری از غیرفعال شدن آنزیم استفاده شد. مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد با همزن مغناطیسی به‌آرامی هم زده شد. سپس نمونه‌ها در سانتریفیوژ با سرعت ٤۰۰۰ g × به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند و مایع رویی حاوی عصاره آنزیم با دقت جمع‌آوری گردید. برای سنجش فعالیت آنزیم، ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیم با ۰/۲ میلی‌لیتر بافر استات ۰/۰۵ مولار (pH=٤/۵) و ۰/۳ میلی‌لیتر محلول ۱٪ پلی‌گالاکترونیک اسید در بافر استات ۰/۰۵ مولار (pH=٤/۵) مخلوط شد. این محلول به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوباتور شد و سپس برای توقف واکنش، به مدت ۵ دقیقه در آب جوش قرار گرفت. میزان محصول آزادشده در واکنش با خوانش اپتیکی در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد (Schweikert *et al*., 2002).

میزان فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز با استفاده از فرمول استاندارد محاسبه شد:

$$Activity=\Delta A_{520}\times Vt\times DF/m\times t\times \varepsilon$$

ΔA_{520}: جذب نوری خوانده‌شده، Vt: حجم کل واکنش، DF: فاکتور رقیق‌سازی، m: جرم نمونه، t: زمان واکنش، ε: ضریب خاموشی گالاکتورونیک اسید.

اندازه‌گیری ویتامین ث: برای اندازه‌گیری اسید آسکوربیک، ۱/۲٦۹ گرم ید را با ۱٦/٦ گرم یدید پتاسیم در آب مقطر مخلوط کرده و حجم آن به یک لیتر رسانده شد. در این مخلوط، نرمالیته ید ۰/۰۱ نرمال می‌باشد، اما قبل از آزمایش باید فاکتور آن اندازه‌گیری شود. برای این منظور مخلوط حاضرشده را یک الی دو روز نگهداری کرده، سپس ۲۰ میلی‌لیتر از مخلوط فوق را در یک ظرف دیگر ریخته، روی آن ۲ میلی‌لیتر محلول نشاسته یک درصد اضافه می‌نمایند. این مخلوط را با محلول اسید آسکوربیک خالص تیتر شد. به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

طوری که در نقطه پایان محلول به رنگ خاکستری کم‌رنگ در آید. برای تهیه محلول اسید آسکوربیک ۱۰۰ میلی‌لیتر پودر خالص آن را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر حل شد. برای محاسبه فاکتور مخلوط ید از معادله زیر استفاده شد (Bal and Celik, 2010).

$$F = \frac{A}{B \times N \times 88.1}$$

F- فاکتور مخلوط ید، A- مقدار اسید آسکوربیک خالص (میلی‌گرم)، B- مقدار مخلوط ید مصرف‌شده (میلی‌گرم)، N- نرمالیته مخلوط ید

بعد از تعیین فاکتور ید، ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره میوه را در یک ظرف ریخته و به آن ۲ میلی‌لیتر نشاسته ۱ درصد اضافه می‌شود. سپس مخلوط نشاسته و عصاره میوه با محلول ید، تیتر می‌شود و تا تشکیل رنگ خاکستری روشن عمل تیتراسیون ادامه داده می‌شود. سرانجام با استفاده از رابطه زیر مقدار اسید آسکوربیک در عصاره میوه از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$A = \frac{S \times N \times F \times 88.1}{10} \times 100$$

A – مقدار اسید آسکوربیک در عصاره میوه (میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی لیتر)، S – مقدار محلول ید مصرف‌شده (میلی‌لیتر)

اندازه‌گیری سفتی و کل مواد جامد محلول: برای تعیین کل مواد جامد محلول (TSS)، از رفراکتومتر دیجیتال MyBrix ساخت شرکت METTLER TOLEDO، سوئیس، استفاده شد. نمونه‌های میوه پس از استخراج عصاره، روی صفحه رفراکتومتر قرار داده و مقدار TSS ثبت شد.

سفتی بافت میوه نیز با استفاده از سفتی‌سنج مدل HPE ساخت شرکت Bareiss، آلمان، اندازه‌گیری شد. در این روش پروب با قطر ۸ میلی‌متر به عمق ۸ میلی‌متر وارد بافت میوه شد و نیروی لازم برای نفوذ پروب به کیلوگرم نیرو (kgf) ثبت و به‌عنوان شاخص مقاومت بافت گزارش گردید.

فعالیت آنزیم پراکسیداز: ۱۰ گرم از نمونه بافت میوه (گوشت به همراه پوست آن) وزن و نمونه در نیتروژن مایع پودر شد. نمونه پودرشده را به ۵۰ میلی‌لیتر بافر استخراج (فسفات ۰/۱ مولار، pH=۷) حاوی ۰/۱ مولار کلرید سدیم و ۱٪ (w/v) پلی‌وینیل پلی‌پیرولیدون (PVPP) اضافه شد. PVPP برای حذف ترکیبات فنولی و جلوگیری از غیرفعال شدن آنزیم استفاده می‌شود. مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد با همزن مغناطیسی به‌آرامی هم زده شد. سپس مخلوط را در سانتریفیوژ با سرعت ٤۰۰۰ × g به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ و مایع رویی را که حاوی عصاره آنزیم است، به‌دقت جمع‌آوری شد.

پس از آماده‌سازی عصاره پروتئینی، برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز به معرف‌های زیر نیاز است:

۲ میلی‌لیتر بافر تریس ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷/۵)، ۳۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار و ۲۰۰ میکرولیتر پیروگالل ۱۰ میلی‌مولار، که همگی آنها را در حمام یخ با هم مخلوط نموده و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه نموده و منحنی تغییرات جذب در طول‌موج ٤۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Kochba *et al*., 1977).

$$Activity=\Delta A_{470}\times Vt\times 100/m\times t$$

ΔA_{470}: جذب نوری خوانده شده، Vt: حجم کل واکنش، m: جرم نمونه، t: زمان واکنش

فعالیت آنزیم کاتالاز: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، مواد زیر را با هم مخلوط می‌کنیم:

۲۰۰ میلی‌گرم نمونه تازه، ۵ ملی‌لیتر بافر NaOH، (pH=۸)، ۰/۵ میلی‌مولار EDTA، ۲ درصد PVP(V/W) و ۰/۵ درصد تریتون X-100. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۲۲۰۰۰ سانتریفیوژ کرده، و سپس ۱/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی برای سنجش آنزیم استفاده می‌شود و با مواد زیر مخلوط می‌شود:

۱۰۰۰ میلی‌لیتر بافر KH_2PO_4 ۱۰۰ میلی‌مول با pH=۷، ٤۰۰ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۲۰۰ میلی‌مول. و سپس در طول‌موج ٤۲۵ نانومتر (یک دقیقه)با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Beers and Sizer, 1952).

$$Activity=\Delta A_{425}\times Vt/m\times t\times 0.0394$$

ΔA_{425}: جذب نوری خوانده‌شده، Vt: حجم کل واکنش، m: جرم نمونه، t: زمان واکنش، ۰/۰۳۹٤: ضریب خاموشی H_2O_2

اندازه‌گیری پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء: برای سنجش مقدار پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء، غلظت مالون دآلدئید حاصل از این واکنش به روش Heath و Packer، ۱۹٦۸

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

اندازه‌گیری شد. بر طبق این روش ۰/۲ گرم از بافت تازه گیاهی وزن شده و در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد سائیده شد. عصاره حاصل با استفاده از سانتریفیوژ مدل NAPco2028R به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفیوژ شد، به یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ، ٤ میلی‌لیتر محلول TCA ۲۰ درصد، که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید (TBA) بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حمام آب گرم حرارت داده شد. سپس بلافاصله در یخ سرد شد و دوباره مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ g سانتریفیوژ گردید. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد، ماده مورد نظر در این طول‌موج،کمپلکس قرمز رنگ (MDA-TBA) است، برای حذف ترکیبات اضافی، جذب نمونه‌ها در طول‌موج ٦۰۰ نانومتر خوانده و از جذب نمونه در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر کسر و برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی معادل ۱۵۵ $mM^{-1}cm^{-1}$ و معادله زیر استفاده شد:

$A= \epsilon BC$

A= جذب Absorbance و €= ضریب خاموشی معادل $mM^{-1}cm^{-1}$ و B=۱۵۵ عرض کوویت (۱میلی‌متر)و C= غلظت

اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن: برای سنجش پراکسید هیدروژن ۰/۱ گرم از بافت گیاهی را با ۳ میلی‌لیتر تری‌کلرور استیک اسید (۰/۱ درصد یعنی ۰/۱ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب) در حمام یخ مخلوط، سپس در ۱۲۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ نموده و سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره حاصل با ۰/۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار با pH=۷ و ۱ میلی‌لیتر یدید پتاسیم (KI) یک مولار مخلوط و سپس هر نمونه در طول‌موج ۳۹۰ نانومتر خوانده شد (Velikova *et al*., 2000).

برای محاسبه میزان پراکسید هیدروژن از فرمول زیر استفاده شد:

$C= A-b/m\times W$

C: غلظت پراکسید هیدروژن بر حسب mg/gFW، A: جذب خوانده‌شده، *b*: معادله خط رگرسیون عرض از مبدأ (معادله خط رگرسیون از محلول‌های استاندارد به شکل زیر بود:

$A= 0.005+C\times0.012$، A: جذب نوری خوانده‌شده، C: غلظت H_2O_2 استاندارد (mg/mL)، ۰/۰۱۲: شیب خط رگرسیون، ۰/۰۰۵: عرض از مبدأ)، m: شیب خط رگرسیون، W: وزن بافت میوه (گرم).

تجزیه و تحلیل آماری: این مطالعه به صورت آزمایش فاکتوریل با دو عامل طراحی شد: عامل زمان، شامل سه زمان اعمال تیمار (۱- محلول‌پاشی پیش‌برداشت در مرحله نوک سبزی جوانه، ۲- محلول‌پاشی پیش‌برداشت در مرحله نوک صورتی جوانه، و ۳- تیمار پس‌از برداشت با غوطه‌وری میوه‌ها در محلول‌های تیماری). عامل تیمار: شامل متیل‌جاسمونات با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار، ترکیب متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک در چهار حالت مختلف، و تیمار شاهد.

طرح آزمایش بر اساس فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تیمار و چهار تکرار (در هر تکرار ۱۰ میوه) در سه زمان اعمال شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت، و مقایسه اثرات متقابل تیمار × زمان با نرم‌افزار MSTATC انجام شد. همچنین، نمودارها با استفاده از نرم‌افزارExcel ترسیم و برای نمایش تصویری اثرات تیمارها و زمان‌ها استفاده گردید.

نتایج و بحث

درصد میوه‌های آسیب‌دیده: طبق نتایج حاصل از تحلیل واریانس، هر دو عامل اصلی، یعنی نوع تیمار (متیل‌جاسمونات، اسید سالیسیلیک و ترکیبات توأم) و زمان اعمال تیمار، اثر معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بر درصد میوه‌های آسیب‌دیده در میوه هلو رقم آلبرتا داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار شاهد (بدون اعمال متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک) بیشترین درصد میوه‌های آسیب‌دیده را در تمامی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای قبل و بعد از برداشت متیل جاسمونات و سالیسیلیک اسید برخی از ویژگی‌های انبارمانی هلوی "آلبرتا"

منابع تغییرات	درجه آزادی	میوه‌های آسیب‌دیده	سفتی	پلی‌گالاکتروناز	کل مواد جامد محلول
بلوک	۳	۰/۲۷ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۰۰۹ ns	۰/۴۳ ns
زمان (T)	۲	۶۶/۸۰**	۰/۰۳*	۰/۱۰۸**	۹۸،۸۶**
متیل‌جاسمونات (MJ)	۱	۶۸۶/۹۵**	۰/۳۷**	۵/۱۰**	۴۷/۶۵**
سالیسیلیک اسید (SA)	۱	۵۲۲/۴۱**	۰/۱۶**	۳/۷۰**	۱۶/۵۸**
MJ × T	۲	۰/۲۹ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۱۱ ns	۱۰/۲۶**
SA × T	۲	۰/۹۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱۲ ns	۳/۴۵ ns
MJ × SA	۱	۱۷۲/۱۲**	۰/۰۳۰**	۱/۱۹**	۳۴/۴۰**
MJ × SA × T	۲	۱/۲۸**	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۵/۰۰ ns
خطای آزمایش	۷۲	۰/۳۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۴	۲/۹۶
ضریب تغییرات (٪)	–	۳/۴۷	۳/۴۴	۰/۶۵	۹/۴

****معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ns عدم معنی‌داری**

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	اسید آسکوربیک	کاتالاز	پراکسیداز	پراکسیداسیون لیپیدها	پراکسید هیدروژن
بلوک	۳	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۶ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۱۶ ns
زمان (T)	۲	۰/۱۲ ns	۱۵۳/۹۷**	۶۰/۴۵**	۱۱/۸۴**	۴۳/۵۶**
متیل‌جاسمونات (MJ)	۱	۱/۲۹ ns	۱۱۰/۷۶**	۷۹/۸۲**	۸۳/۱۶**	۱۸۷/۳**
سالیسیلیک اسید (SA)	۱	۰/۸۶**	۸۴/۱۸**	۵۹/۲۵**	۶۸/۷۴**	۱۴۱/۷۹**
MJ × T	۲	۰/۰۳ ns	۲/۶۶**	۲/۴۵**	۰/۲۷**	۱/۳۵**
SA × T	۲	۰/۰۶ ns	۳/۳۸**	۲/۳۷**	۰/۱۷**	۰/۹۳**
MJ × SA	۱	۱/۴۷**	۲۳/۳۲**	۱۸/۸۶**	۱۵/۲۶**	۴۹/۲۷**
MJ × SA × T	۲	۰/۱۰**	۱/۱۳**	۱/۰۲**	۰/۰۳۸**	۰/۷۷**
خطای آزمایش	۷۲	۰/۰۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱۶
ضریب تغییرات (٪)	–	۷/۱۷	۸/۳۱	۳/۲۰	۴/۷۸	۵/۸۶

****معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ns عدم معنی‌داری**

زمان‌های مورد بررسی نشان داد (نوک سبزی: ۴۰/۳۵ درصد نوک صورتی: ۴۳/۳۵ درصد و پس از برداشت: ۱۲/۳۵ درصد) که حساسیت طبیعی هلو به سرمازدگی و پوسیدگی پس از برداشت را آشکار می‌سازد. اعمال متیل جاسمونات به تنهایی منجر به کاهش قابل توجهی در درصد میوه‌های آسیب‌دیده شد؛ به‌طوری‌که افزایش غلظت متیل جاسمونات از ۱۰۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، درصد آسیب در مرحله نوک سبزی از ۱۹/۲۳ درصد به ۱۰/۹۶ درصد کاهش یافت، که بیانگر اثر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

محافظتی این ترکیب از طریق کاهش فعالیت متابولیک و تقویت سیستم دفاعی میوه است. تیمارهای اسید سالیسیلیک نیز به‌طور معناداری میزان آسیب میوه را کاهش دادند و در ترکیب با متیل جاسمونات بیشترین اثر محافظتی مشاهده شد؛ به عنوان نمونه، ترکیب متیل جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار، کمترین درصد آسیب (۹/۲۲ درصد) را در مرحله نوک سبزی ایجاد کرد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که اثر محافظتی تیمارهای شیمیایی نه تنها وابسته به غلظت هر ماده بلکه به تعامل آنها با یکدیگر و زمان اعمال تیمار است. همچنین، محلول‌پاشی پیش از برداشت، به ویژه در مرحله نوک سبزی جوانه، بیشترین کاهش آسیب پس از برداشت را فراهم آورد و اهمیت اجرای تیمارهای پیش از برداشت برای افزایش مقاومت میوه در طول انبارمانی را تأیید کرد. به‌طورکلی، ترکیب متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک با غلظت‌های بالاتر و اعمال در مرحله نوک سبزی منجر به کاهش معنادار آسیب‌های پس از برداشت شد (جدول ۳).

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر معنادار تیمارهای پیش و پس از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر کاهش درصد میوه‌های آسیب‌دیده هلو رقم آلبرتا است؛ کاهشی که عمدتاً از طریق تقویت سیستم دفاعی میوه، حفظ پایداری غشاهای سلولی و ارتقای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی رخ می‌دهد. تحلیل واریانس تأیید کرد که هر دو عامل نوع تیمار و زمان اعمال آن (با سطح احتمال $P \leq 0.01$) بر این پارامتر مؤثر هستند و تیمارهای ترکیبی متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک در مرحله نوک‌سبزی بیشترین محافظت را فراهم آوردند؛ به‌طوری‌که کمترین درصد آسیب (۲۲/۹ درصد) در مقایسه با شاهد (۳۰/۴۰ درصد) مشاهده شد. این نتایج نه‌تنها حساسیت طبیعی هلو به سرمازدگی و پوسیدگی پس از برداشت را برجسته می‌کند، بلکه نقش کلیدی این ترکیبات را در تعدیل پاسخ‌های فیزیولوژیکی میوه در شرایط انبارمانی آشکار می‌سازد. مکانیسم‌های زیربنایی این اثرات را می‌توان به تغییرات در متابولیسم غشا، افزایش سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و القای مقاومت سیستمیک نسبت داد که در ادامه با استناد به شواهد علمی بررسی می‌شود. متیل‌جاسمونات به‌عنوان یک سیگنال‌دهنده گیاهی نقش محوری در کاهش آسیب‌های ناشی از تنش سرمایی دارد. این ترکیب با افزایش استحکام و تعدیل نفوذپذیری غشاهای سلولی، فرآیندهای فیزیولوژیک مخرب مرتبط با سرمازدگی را مهار کرده و از این طریق کیفیت میوه را طی انبارمانی حفظ می‌کند (Wang, 2006). علاوه‌براین، متیل‌جاسمونات با تحریک سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد را خنثی کرده و پایداری غشا را تقویت می‌کند (Kang and Saltveit, 2002; Abbasi *et al.*, 2010). در پژوهش حاضر، افزایش غلظت متیل‌جاسمونات از ۱۰۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، درصد آسیب را در مرحله نوک‌سبزی از ۲۳/۱۹ به ۱۰/۹۶ درصد کاهش داد؛ کاهشی که با فعال‌سازی آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز لیگنین از جمله پراکسیدازها و پلی‌فنل‌اکسیداز همخوانی دارد (Singh and Usha, 2003; Suza *et al.*, 2010). این مکانیسم‌ها در کاهش پوسیدگی پس از برداشت نیز نقش دارند، زیرا متیل‌جاسمونات القاکننده سنتز پروتئین‌های مرتبط با پاتوژن‌ها و پروتئین‌های شوک حرارتی است و مقاومت به عوامل بیماری‌زا را افزایش می‌دهد (Meir *et al.*, 2011; Yao and Tian, 2005; Ding *et al.*, 2002). نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه با گزارش‌های پیشین روی هلو (Yao and Tian, 2005) و گوجه‌فرنگی (Ding *et al.*, 2002) همخوانی دارد، جایی که تیمار پس از برداشت متیل جاسشمونات خسارت سرمازدگی را کاهش داد. همچنین، این نتایج با مطالعات انجام‌شده بر توت‌فرنگی (Ayala-Zavala *et al.*, 2004) و گیلاس شیرین (Pan *et al.*, 2022) مطابقت دارد که در آن‌ها متیل‌جاسمونات موجب افزایش مقاومت به پوسیدگی ناشی از *Alternaria alternata* شد. در میوه‌های دیگر از جمله خرمالو (Bagheri and Esna-Ashari, 2022; Hasan *et al.*, 2024)، متیل‌جاسمونات کیفیت را طی دوره انبارمانی در شرایط سرد، حفظ کرد و در پرتقال خونی (Vithana *et al.*, 2024) موجب بهبود رنگ‌دهی و تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شد. این همخوانی‌ها بیانگر کاربرد گسترده متیل‌جاسمونات در طیف

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

جدول ۳- مقایسه اثر تیمارهای قبل و بعد از برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک روی میوه‌های آسیب‌دیده (درصد) میوه هلوی "آلبرتا"

تیمار		درصد میوه‌های آسیب‌دیده		
		زمان محلول‌پاشی		
متیل جاسمونات (میلی‌گرم بر لیتر)	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	نوک سبزی	نوک صورتی	پس از برداشت
۰	۰	۳۵/۸۵±۰/٤۰^{b}	۳۵/۹۵±۰/٤۳^{a}	۳۵/۳۳±۰/۱۲^{ab}
	۱	۲۰/۱٤±۰/۱۸^{f}	۲۱/۹۱±۰/۰۷^{e}	۲٦/۲۱±۰/۱۱^{c}
	۲	۱۱/۹٤±۰/۰٦^{l}	۱۵/۰٤±۰/۱۲^{j}	۱۸/۵۱±۰/۰۹^{gh}
۱۰۰	۰	۱۹/۲۳±۱/۱۵^{g}	۲۰/٦۹±۰/۱۳^{f}	۲٤/۷٦±۰/۰٤^{d}
	۱	۱۰/۸۸±۰/۰۷^{m}	۱۳/۹۰±۰/۰۲^{k}	۱۷/٦۸±۰/۰٦^{hi}
	۲	۱۰/۸۷±۰/۰۱^{m}	۱۳/۸۹±۰/۰۹^{k}	۱۷/۷۱±۰/۰٦^{i}
۲۰۰	۰	۱۰/۹٦±۰/۱۵^{m}	۱۳/۹۰±۰/۰۹^{k}	۱۷/۵۵±۰/۱۵^{i}
	۱	۰۹/۲۲±۰/۲٦^{n}	۱۰/۸۱±۰/۱۰^{m}	۱۳/۹۸±۰/۱٦^{k}
	۲	۱۰/۳۲±۰/۰۳^{m}	۱۲/۳۵±۰/۰٤^{l}	۱۵/۰۸±۰/۳۰^{j}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اعداد ± خطای استاندارد.

وسیعی از میوه‌ها برای مقابله با تنش‌های پس از برداشت است. اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان کلیدی، در پاسخ‌های گیاهی به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نقش مهمی دارد (El-Tayeb, 2005; Borsani *et al.*, 2001; Tang *et al.*, 2022). در این پژوهش، تیمار اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌داری آسیب میوه را کاهش داد؛ اثری که از طریق فعال‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانی، جلوگیری از تجمع رادیکال‌های آزاد و حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی رخ می‌دهد (El-Tayeb, 2005). همچنین اسید سالیسیلیک با مهار فعالیت پلی‌فنل اکسیداز، بروز نابسامانی‌های فیزیولوژیکی ناشی از سرما را محدود می‌کند (Lu *et al.*, 2011). نتایج نشان داد که ترکیب اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار با متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کمترین آسیب را ایجاد کرد. این اثر سینرژیستیک با گزارش‌های پیشین نیز تطابق دارد: در گریپ‌فروت و پرتقال (Huang *et al.*, 2008)، خیار، برنج و ذرت (Kang and Saltveit, 2002)، موز (Kang *et al.*, 2004)، سیب (Kazemi *et al.*, 2011)، خرمالو (Khademi *et al.*, 2012)، آلو (Lu *et al.*, 2011)، انگور (Marzouk and Kassem, 2011) و انار (Sayari *et al.*, 2009) اسید سالیسیلیک موجب کاهش صدمه سرمایی شد.

علاوه‌براین، اسید سالیسیلیک با القای مقاومت سیستمیک، حساسیت گیاه به پاتوژن‌ها را کاهش داده و شدت بیماری‌ها را کم می‌کند (Asghari *et al.*, 2010; Amborabe, 2002)، که این موضوع با نتایج پژوهش حاضر در کاهش پوسیدگی هم‌خوانی دارد. مطالعات اخیر نیز نقش اسید سالیسیلیک را در مقابله با تنش‌های غیرزیستی تأیید کرده‌اند (Liu *et al.*, 2022; Song *et al.*, 2023). در لیمو (Martinez *et al.*, 2021)، انگور (Hazarika and Marak, 2022; Zebro and Heo, 2024) و گوجه‌فرنگی (Kumar *et al.*, 2021)، اسید سالیسیلیک موجب بهبود کیفیت و افزایش عمر انبارمانی شده است. این هم‌خوانی‌ها اهمیت اسید سالیسیلیک را در ارتقای کیفیت و مقاومت پس از برداشت طیف وسیعی از میوه‌ها برجسته می‌سازد.

اثر ترکیبی متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک که در این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

مطالعه بیشترین میزان محافظت را نشان داد، از طریق تعدیل متابولیسم سوکروز، افزایش سنتز آنتوسیانین‌ها، و تقویت چرخه آسکوربات–گلوتاتیون اعمال می‌شود (Popova *et al.*, 2003; Zhu *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2021). این تعامل سینرژیستیک با گزارش‌های پیشین نیز همخوانی دارد: در گوجه‌فرنگی (Baek *et al.*, 2021)، انار (Garcia-Pastor *et al.*, 2020)، نارنگی 'Kinnow' (Baswal *et al.*, 2020) و توت‌فرنگی (El-Mogy *et al.*, 2019)، تیمارهای پیش‌برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک موجب افزایش بازده، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بهبود کیفیت شدند. در هلو و شلیل (Sen *et al.*, 2024)، این ترکیبات بروز ناهنجاری‌های انبارمانی را کاهش دادند، و در پرتقال خونی (Vithana *et al.*, 2024) رنگ‌دهی را بهبود بخشیدند. علاوه‌براین، مطالعات انجام‌شده روی زغال‌اخته (Wang *et al.*, 2021)، تمشک (Shoaib Shah *et al.*, 2025)، توت (Chen *et al.*, 2021)، گوجه‌فرنگی (Wang *et al.*, 2021)، هلو (Cao *et al.*, 2025) نیز تأیید می‌کنند که متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک موجب ارتقای متابولیسم فنولی و آنتی‌اکسیدانی می‌شوند و بدیت صورت مقاومت به سرما را طی انبارمانی افزایش می دهند.

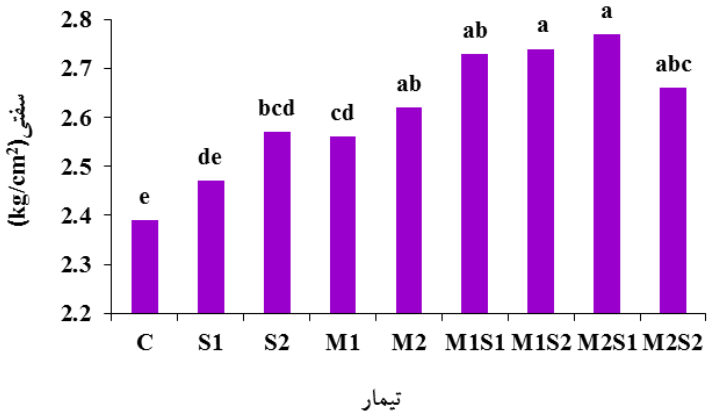
در میوه‌های دیگر از جمله کیوی (Pan *et al.*, 2020)، بلوبرری (Wang *et al.*, 2021) و شاه‌بلوط چینی (Lu *et al.*, 2024)، متیل جاسمونات مقاومت به بیماری را افزایش داده است؛ درحالی‌که اسید سالیسیلیک در هلو (Zhang *et al.*, 2024) صدمه سرمایی را از طریق بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و تقویت متابولیسم انرژی کاهش داده است.

نتایج به‌دست‌آمده کاملاً با مجموعه شواهد گسترده و روزآمد موجود در حوزه فیزیولوژی پس‌ازبرداشت و کاربست اسید سالیسیلیک و مشتقات آن در میوه‌ها و سبزیجات هم‌خوانی دارد (Chen *et al.*, 2023; Martínez *et al.*, 2021). این هم‌راستایی علمی، بار دیگر بر ظرفیت بالای این ترکیبات در بهبود مدیریت پس از برداشت تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که هم‌افزایی بالقوه میان متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک می‌تواند به‌عنوان رویکردی کارآمد برای کاهش خسارات پس از برداشت در میوه‌های حساس به‌ویژه هلو مورد بهره‌برداری قرار گیرد. چنین راهبردی نه‌تنها انسجام و پایداری اقتصادی سیستم‌های تولید باغبانی را تقویت می‌کند، بلکه در حفظ کیفیت تغذیه‌ای و مطلوبیت مصرفی میوه نیز نقشی تعیین‌کننده دارد.

استحکام بافت میوه: براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲)، اگرچه زمان اعمال تیمار اثر معنی‌داری بر استحکام بافت میوه هلو رقم آلبرتا نداشت، اما نوع تیمار موجب تغییرات معنی‌دار در این شاخص فیزیکومکانیکی شد ($P \leq 0.05$). مقدار استحکام بافت در تیمار شاهد ۲/۳۹ kg/cm² بود و همه تیمارهای حاوی متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک به‌صورت منفرد یا ترکیبی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند (شکل ۱). تیمار اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار کمترین بهبود را ایجاد کرده و استحکام بافت را ۳/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در مقابل، کاربرد هم‌زمان متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار، بیشترین افزایش را موجب شد و استحکام بافت را با رسیدن به مقدار ۲/۷۷ kg/cm²، حدود ۱۵/۹ درصد بیشتر از شاهد کرد. این موضوع نشان‌دهنده هم‌افزایی مؤثر دو تنظیم‌کننده رشد در کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی و تأخیر در نرم‌شدگی بافت است. علاوه‌براین، دو تیمار ترکیبی دیگر شامل: متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر + اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر + اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار، به ترتیب باعث افزایش ۱۴/۲ و ۱۴/۶ درصدی نسبت به شاهد شدند. تیمارهای منفرد متیل‌جاسمونات در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیز استحکام بافت را به ترتیب ۷/۱ و ۹/۶ درصد، افزایش دادند که این نتایج با کاهش فعالیت پلی‌گالاکتوروناز و حفظ انسجام بافتی در میوه‌های تیمارشده همخوان است. به‌طورکلی، تیمار ترکیبی متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار مؤثرترین تیمار در افزایش استحکام بافت (kg/cm²) و ارتقای کیفیت انبارمانی میوه هلوبود (شکل ۱).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]



شکل ۱- تأثیر تیمار متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر روی میزان سفتی میوه هلوی رقم آلبرتا. میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. C: شاهد، S1: اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار، S2: اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار، M1: متیل جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، M2: متیل جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، M1S1: متیل جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار، M1S2: متیل جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار، M2S1: متیل جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار، M2S2: متیل جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار.

فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲)، فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع تیمار و زمان محلول‌پاشی قرار گرفت ($P \leq 0.05$). در تمام زمان‌های نمونه‌برداری، بیشترین مقدار فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز، مربوط به تیمار شاهد بود، به‌طوری‌که این مقدار در مرحله نوک سبزی ٤/٩٣ unit/g FW، در مرحله نوک صورتی ٥/٠٠ unit/g FW و پس از برداشت ٥/٠٢ unit/g FW ثبت شد (جدول ۳). در مرحله نوک سبزی جوانه، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار موجب کاهش ٢٩/٦ درصدی در فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز نسبت به شاهد شد. اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار نیز کاهش ٣٦/٣ درصدی را نشان داد. کاربرد متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، بدون اسید سالیسیلیک موجب کاهش ٣٠/٨ درصدی شد. متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیترو ترکیب توأم آن با اسید سالیسیلیک ۱ یا ۲ میلی‌مولار هر دو موجب کاهش مشابه ٣٨/٠ درصدی نسبت به شاهد شدند. تیمار متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ترکیب با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار، کمترین مقدار فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز را داشته و ٤٩/٥ درصد کاهش نسبت به شاهد نشان داد. بیشترین میزان کاهش در کل آزمایش در مرحله نوک صورتی جوانه، اسید سالیسیلیک ۱ و ۲ میلی‌مولار به ترتیب باعث ٢٨/٨ و ٣٥/٨ درصد کاهش شدند. متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به تنهایی موجب کاهش ۳۰ درصدی فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز شد. ترکیب متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با اسید سالیسیلیک ۱ یا ۲ میلی‌مولار کاهش ٣٦/٤- ٣٦/٦ درصدی را ایجاد کرد. مؤثرترین تیمار، متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با ترکیب اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار بود که با رساندن مقدار فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز به ٨/ ٤٧ درصد در مقایسه با تیمار شاهد، کاهش ایجاد کرد. در مرحله پس از برداشت، تیمارهای اسید سالیسیلیک ۱ و ۲ میلی‌مولار به ترتیب موجب کاهش ١٩/٧ و ٢٦/٧ درصدی نسبت به شاهد شدند. تیمار منفرد متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث کاهش ٢١/٧ درصدی شد. کاربرد مشترک متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ترکیب آن با اسید سالیسیلیک ۱ یا ۲ میلی‌مولار باعث کاهش ٢٨/٣ درصدی نسبت به شاهد گردید. کمترین مقدار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز در این مرحله نیز مربوط به ترکیب متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار بود و ۳۱/۹ درصد کاهش نسبت به شاهد نشان داد. کاهش معنادار فعالیت پلی‌گالاکتروناز در تمام تیمارهای حاوی متیل‌جاسمونات یا اسید سالیسیلیک به‌ویژه غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌جاسمونات در ترکیب با ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نشان‌دهنده نقش قوی این ترکیب در مهار تخریب دیواره سلولی، کاهش سرعت نرم‌شدگی بافت و و افزایش ماندگاری میوه است (جدول ٤).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر مثبت برهمکنش تیمارهای پیش و پس از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر استحکام بافت و فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتوروناز در میوه هلو رقم آلبرتا است. مشاهده شد که تیمارهای ترکیبی، به ویژه متیل جاسمونات در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار، بیشترین افزایش استحکام بافت (۱۵/۹درصد نسبت به شاهد) و بیشترین کاهش فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتوروناز (تا ٤۹/۵ درصد در مرحله نوک سبزی) را ایجاد کرد. این یافته‌ها با نقش شناخته‌شده متیل جاسمونات و سالیسیلیک اسید در تعدیل فرآیندهای پس از برداشت همخوانی دارد، جایی که این ترکیبات از طریق مهار سنتز اتیلن و کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی، مانند فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتوروناز، به تأخیر در نرم‌شدگی بافت و افزایش ماندگاری میوه کمک می‌کنند. همان‌طور که در مطالعات قبلی گزارش شده، سالیسیلک اسید با کاهش فعالیت آنزیم‌های ACC سنتتاز و ACC اکسیداز، تولید اتیلن را مهار می‌کند (Babalar *et al*., 2007; Bal and Celik, 2010) که این مکانیسم مستقیماً با کاهش فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتوروناز و حفظ انسجام دیواره سلولی در میوه‌های تیمارشده در این پژوهش مطابقت دارد. افزایش استحکام بافت در تیمارهای ترکیبی متیل جاسمونات و سالیسیلیک اسید، نشان‌دهنده هم‌افزایی این دو تنظیم‌کننده رشد است که احتمالاً از طریق کاهش تخریب پکتین و حفظ ساختار سلولوز- همی‌سلولوز دیواره سلولی عمل می‌کند. این نتایج با یافته‌های Sayari و همکاران (۲۰۰۹) روی انار همخوانی دارد، جایی که اسید سالیسیلیک با مهار فعالیت آنزیم‌های پلی‌گالاکتوروناز، سلولاز و پکتین متیل‌استراز، فرآیند نرم‌شدگی را به تأخیر انداخت. همچنین، Arzani و همکاران (۲۰۱۱) روی گلابی آسیایی گزارش کردند که کاهش محتوای پکتین محلول با حفظ استحکام بافت همراه است، که مشابه با افزایش ۱٤/۲ تا ۱٤/٦ درصدی استحکام در تیمارهای ترکیبی متیل جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر + اسید سالیسیلیک ۱ یا ۲ میلی‌مولار در این مطالعه است. در میوه هلو، که یک میوه فرازگرا با حساسیت بالا به نرم‌شدگی پس از برداشت است، این تیمارها با کاهش سرعت تنفس و تأخیر در اوج اتیلن، کیفیت انبارمانی را ارتقا می‌دهند، همان‌طور که Ding و همکاران (۲۰۰۲) و Girardi همکاران (۲۰۰۵) روی گوجه‌فرنگی و هلو گزارش کرده‌اند که اسید سالیسیلیک و جاسمونات‌ها بیان ژن‌های مرتبط با پاتوژنزیس و مقاومت به آسیب‌های سرمایی را القا می‌کنند. کاهش فعالیت پلی‌گالاکتوروناز در تمام مراحل آزمایش (نوک سبزی، نوک صورتی و پس از برداشت) در تیمارهای حاوی متیل جاسمونات و سالیسیلیک اسید، با بیشترین کاهش در ترکیب متیل جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر + اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار (٤۷/۸ تا ٤۹/۵ درصد)، تأکید بر نقش این ترکیبات در مهار آنزیم‌های هیدرولیتیک دارد. این یافته‌ها با مطالعات Imsabai و همکاران (۲۰۰۲) روی میوه دورین همخوانی دارد، جایی که کاهش فعالیت پلی‌گالاکتوروناز و پکتین استراز با تأخیر در نرم‌شدگی همراه بود. همچنین، Awang و همکاران (۲۰۱۳) روی میوه اژدهای قرمز نشان دادند که درمان با کلسیم که مشابه اسید سالیسیلیک در تقویت دیواره سلولی عمل می‌کند، فعالیت پلی‌گالاکتوروناز را کاهش می‌دهد، که این با کاهش ۲۸/۸تا ۳٦/۸ درصدی در مراحل مختلف در این پژوهش مطابقت دارد. در میوه‌های هسته‌دار مانند هلو، کاهش پلی‌گالاکتوروناز مستقیماً با حفظ استحکام مرتبط است، همان‌طور که Koslanund و همکاران (۲۰۰۵) روی پاپایا گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

جدول ٤- مقایسه اثر تیمارهای قبل و بعد از برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک روی میزان فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز (unit/gr FW) میوه هلوی "آلبرتا" طی انبارمانی

تیمار		میزان فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز (unit/gr FW)		
		زمان محلول‌پاشی		
متیل جاسمونات (میلی‌گرم بر لیتر)	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	نوک سبزی	نوک صورتی	پس از برداشت
۰	۰	٤/۹۳±۰/۰۲^{b}	۵/۰۰±۰/۰۱^{a}	۵/۰۲±۰/۰۲^{a}
	۱	۳/٤۷±۰/۰۰^{i}	۳/۵٦±۰/۰۱^{gh}	٤/۰۳±۰/۰۱^{c}
	۲	۳/۱٤±۰/۰۰^{lm}	۳/۲۱±۰/۰۰^{k}	۳/٦۸±۰/۰۰^{e}
۱۰۰	۰	۳/٤۱±۰/۰۱^{j}	۳/۵۰±۰/۰۱^{i}	۳/۹۳±۰/۰۰^{d}
	۱	۳/۰٦±۰/۰۰^{n}	۳/۱۷±۰/۰۰^{klm}	۳/٦۰±۰/۰۱^{fg}
	۲	۳/۰٦±۰/۰۰^{n}	۳/۱۸±۰/۰۰^{kl}	۳/٦۰±۰/۰۲^{fg}
۲۰۰	۰	۳/۰۷±۰/۰۱^{n}	۳/۱۳±۰/۰۱^{m}	۳/٦۲±۰/۰۰^{f}
	۱	۲/٤۹±۰/۰۰^{r}	۲/٦۱±۰/۰۱^{q}	۳/٤۲±۰/۰۰^{j}
	۲	۲/۸۰±۰/۰۰^{p}	۲/۸۸±۰/۰۱^{o}	۳/۵۵±۰/۰۱^{h}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اعداد ± خطای استاندارد

دیواره سلولی در طول انبارمانی افزایش می‌یابد، اما تیمارهای هورمونی این روند را معکوس می‌کنند. علاوه‌براین، Xu و Tian (۲۰۰۸) روی گیلاس و Bal و Celik (۲۰۱۰) روی کیوی نشان دادند که اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات پس از برداشت، استحکام میوه را حفظ کرده و فعالیت آنزیم‌های مخرب را کاهش می‌دهند، که این نتایج را تأیید می‌کند و نشان‌دهنده کاربرد گسترده این تیمارها در محصولات باغی است.

همخوانی این نتایج با مطالعات روی میوه‌های دیگر، مانند توت‌فرنگی (Babalar *et al.*, 2007; El-Mogy *et al.*, 2019; Kumar and Kaur, 2019)، کیوی (Bal and Celik, 2010; Huang *et al.*, 2008; Vithana *et al.*, 2024)، پرتقال (Pan *et al.*, 2020)، انار (Garcia-Pastor *et al.*, 2020)، انگور (Hazarika and Marak, 2022; Zebro and Heo, 2024)، تمشک (Shoaib Shah *et al.*, 2025)، نارنگی (Baswal *et al.*, 2020)، گلابی (Arzani *et al.*, 2011; Khademi *et al.*, 2012)، هلو و شلیل (Lurie and Crisosto, 2005; Zhao *et al.*, 2021; Sen *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2024)، خرمالو (Bagheri and Esna-Ashari, 2022; Hasan *et al.*, 2024)، توت چینی (Chen *et al.*, 2021)، لیمو (Martinez *et al.*, 2021)، شاه‌توت (Wang *et al.*, 2021)، شاه‌بلوط (Lu *et al.*, 2024) و میوه‌های عمومی (Asghari and Soleimani Aghdam, 2010; Chen *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2021; Cao *et al.*, 2025)، نشان‌دهنده پتانسیل جهانی متیل جاسمونات (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و اسید سالیسیلیک (۱ و ۲ میلی‌مولار) در بهبود کیفیت و کنترل تلفات پس از برداشت است.

Baek و همکاران (۲۰۲۱) و Wang و همکاران (۲۰۲۲) روی گوجه‌فرنگی گزارش کردند که تیمار پیش‌برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک باعث افزایش بازده و فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود، که این نتایج با ارتقای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در هلو در این مطالعه همخوانی دارد. همچنین، Pan و همکاران (۲۰۲۲) و Yao و Tian (۲۰۰۵) نشان دادند که متیل جاسمونات مقاومت به پوسیدگی را افزایش می‌دهد، که

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

این با کاهش پوسیدگی قارچی گزارش‌شده مطابقت دارد (Babalar *et al.,* 2007).

این پژوهش با تأکید بر هم‌افزایی متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک، مکانیسم‌های مولکولی شامل کاهش تولید اتیلن (Girardi *et al*., 2005)، مهار اکسیداتیو استرس (Arora *et al*., 2002; Borsani *et al*., 2001; Liu *et al.,* 2022; Song *et al*., 2023)، و تنظیم متابولیسم پکتین (Hou *et al*., 2022; Schweikert *et al*., 2002) را برجسته می‌کند. این یافته‌ها نه تنها کیفیت انبارمانی هلو را ارتقا می‌دهند، بلکه با مطالعات گسترده روی میوه‌های متنوع، کاربرد عملی این تیمارها را در باغبانی پایدار تأیید می‌کنند و پیشنهاد می‌شود تحقیقات آینده بر ژنومیک بیان ژن‌های مرتبط با فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز تمرکز کند تا مکانیسم‌های دقیق‌تر روشن شود.

کل مواد جامد محلول: بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و مطابق با آزمون چنددامنه‌ای دانکن (جدول ٤)، بین تیمارها و زمان اعمال تیمار از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) مشاهده شد (جدول ۱)، روند تغییرات نشان داد که میوه‌های تیمارشده در اغلب موارد دارای مواد جامد محلول بیشتری نسبت به شاهد بودند. این افزایش کل مواد جامد محلول، به‌ویژه در تیمارهای حاوی متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک، نشان‌دهنده تأثیر مثبت تنظیم‌کننده‌های رشدی بر مسیرهای متابولیکی مرتبط با تجمع قندها و ترکیبات محلول است. مرحله نوک سبزی جوانه، مقدار کل مواد جامد محلول در تیمار شاهد ۱۱/۵۹ درصد ثبت شد. که در مقایسه با شاهد، اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار موجب افزایش چشمگیر ٦۷/۸ درصدی در کل مواد جامد محلول شد. اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار افزایش ٥٦/۷ درصدی ایجاد کرد و متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش ۷۲/۹ درصدی شد. ترکیب متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با اسید سالیسیلیک ۱ یا ۲ میلی‌مولار به ترتیب موجب افزایش ۷۲/۲ و ٦۳/۲ درصدی گردید. بیشترین مقدار کل مواد جامد محلول، در این مرحله مربوط به متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (بدون اسید سالیسیلیک) بود که مقدار ۲۰/۸۳ درصد را ثبت نمود و افزایش ۷۹/۷ درصدی نسبت به شاهد نشان داد (بالاترین مقدار در این زمان). در مرحله نوک صورتی جوانه، در این مرحله مقدار کل مواد جامد محلول در شاهد برابر ۱۱/۱٤ درصد بود. در مقایسه با شاهد، اسید سالیسیلیک ۱ و ۲ میلی‌مولار به ترتیب موجب افزایش ۳۲ و ۳۸/۳ درصد شدند. متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش ۳۳/۱ درصد شد. ترکیب متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار افزایش ٦۳/۳ درصدی را ایجاد کرد (بالاترین مقدار در این مرحله). متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (منفرد) با مقدار ۱۹/٦۱ درصد، افزایش ۷٦ درصدی نسبت به شاهد نشان داد که بیشترین افزایش در این زمان بود. در مرحله پس از برداشت، در مرحله پس از برداشت مقدار کل مواد جامد محلول در تیمار شاهد ۱۷/٦۹ درصد بود. در مقایسه با شاهد، اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار موجب افزایش ۱۱ درصدی و اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار افزایش ۹/۷ درصدی شد. متیل‌جاسمونات ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ترکیبات آن با اسید سالیسیلیک به ترتیب افزایش‌های ۵/۸-۱۳/۱۲ درصدی ایجاد کردند. بالاترین مقدار کل مواد جامد محلول در این مرحله در تیمار متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ثبت شد که ۱۵/٤ درصد افزایش نسبت به شاهد داشت. به‌طورکلی، افزایش کل مواد جامد محلول، در تیمارهای حاوی متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک نشان‌دهنده تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشدی بر تحریک مسیرهای سنتز قند، کاهش تجزیه اسیدهای آلی و و بهبود حفظ ساختار سلولی و غشایی در طی انبارمانی است. غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌جاسمونات چه به‌صورت منفرد و چه همراه با اسید سالیسیلیک در هر سه زمان محلول‌پاشی مؤثرترین نقش را در افزایش کل مواد جام محلول داشت و با افزایش یکپارچه ظرفیت متابولیکی میوه، موجب بهبود مطلوب کیفیت خوراکی میوه شد (جدول ٤).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر مثبت برهمکنش تیمارهای پیش و پس از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر کل مواد جامد محلولدر میوه هلو رقم آلبرتا است که این افزایش به ویژه در غلظت‌های بالا ترتیل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

جاسمونات (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و ترکیب آن با اسید سالیسیلیک مشاهده شد. در مراحل نوک سبزی جوانه، نوک صورتی جوانه و پس از برداشت، تیمارها منجر به افزایش معنی‌دار کل مواد جامد محلول نسبت به شاهد گردیدند، با بیشترین افزایش در مرحله نوک صورتی جوانه (تا ۷۶ درصد) و پس از برداشت (تا ۱۵ درصد). این روند، حاکی از نقش تنظیم‌کننده‌های رشدی در تحریک مسیرهای متابولیکی سنتز قند، کاهش تجزیه اسیدهای آلی و حفظ یکپارچگی ساختار سلولی و غشایی طی انبارداری است، که در نهایت کیفیت خوراکی میوه را ارتقا می‌دهد. چنین یافته‌هایی نه تنها بر اهمیت زمان‌بندی تیمار تأکید دارند، بلکه نشان‌دهنده پتانسیل این ترکیبات در مدیریت پس از برداشت برای میوه‌های حساس به سرما مانند هلو هستند. مکانیسم زیربنایی این افزایش کل مواد جامد محلول را می‌توان به تبدیل نشاسته به قندهای محلول، مهار آنزیم‌های هیدرولیزکننده پلی‌ساکاریدها و تقویت سنتز پلی‌ساکاریدها از قندهای محلول نسبت داد، که این فرآیندها با کاهش آب آزاد سلولی و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی مانند سرما همراه هستند (Gulen *et al*., 2009; Uemura and Steponkus, 2003; Arzani *et al*., 2011). علاوه‌براین، تیمار اسید سالیسیلیک با مهار آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی مانند پلی‌گالاکتوروناز و پکتین متیل‌استراز، به حفظ کل مواد جامد محلول کمک می‌کند، در حالی که متیل جاسمونات با فعال‌سازی مسیرهای آنتی‌اکسیدانی و متابولیسم قند، این اثر را تقویت می‌نماید (Awang *et al*., 2013). این تعاملات، که منجر به غلظت بالاتر کل مواد جامد محلول در تیمارهای ترکیبی می‌شود، با نقش اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات در تنظیم متابولیسم کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها همخوانی دارد، که در نهایت ظرفیت متابولیکی میوه را یکپارچه کرده و کیفیت آن را بهبود می‌بخشد (Gharib, 2007).

یافته‌های این مطالعه با نتایج تحقیقات متعدد بر روی میوه‌های مختلف همخوانی دارد، که نشان‌دهنده کاربرد گسترده این تنظیم‌کننده‌ها در حفظ کیفیت پس از برداشت است. برای مثال، Ayala-Zavala و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کردند که تیمار متیل جاسمونات بر توت‌فرنگی منجر به افزایش کل مواد جامد محلول گردید، که این افزایش به دلیل تقویت ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فرار بود، مشابه با افزایش کل مواد جامد محلول در هلو تحت تیمار متیل جاسمونات در این پژوهش. به‌طور مشابه، Babalar و همکاران (۲۰۰۷) و Kumar و Kaur (۲۰۱۹) در توت‌فرنگی رقم Selva وChandler، افزایش کل مواد جامد محلول را با تیمار پیش و پس از برداشت اسید سالیسیلیک مشاهده کردند، که با کاهش تولید اتیلن و فساد قارچی همراه بود، الگویی که در هلو آلبرتا نیز تکرار شد. در میوه‌های هسته‌دار مانند هلو، Zhao و همکاران (۲۰۲۱)، نشان دادند که اسید سالیسیلیک با تنظیم متابولیسم سوکروز و افزایش محتوای قندهای محلول، آسیب سرمایی را در هلو کاهش داد، که دقیقاً با افزایش کل مواد جامد محلول در مرحله پس از برداشت در این مطالعه همخوانی دارد. همچنین، Baswal و همکارن (۲۰۲۰) در نارنگی Kinnow، ترکیب متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک را مؤثر در افزایش کل مواد جامد محلول و حفظ کیفیت طی انبارداری سرد دانستند، که این اثر به دلیل کاهش نرم‌شدن میوه و حفظ ساختار سلولی بود، مشابه با نقش این تیمارها در هلو در میوه‌های دیگر، مانند پرتقال خونی، Vithana و همکاران (۲۰۲٤) گزارش کردند که تیمار پیش و پس از برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک به‌طور سینرژیستی کل مواد جامد محلول را افزایش داد و رنگ میوه را بهبود بخشید، که با مکانیسم تنظیم متابولیسم فنولی و آنتی‌اکسیدانی همخوانی دارد، الگویی که در هلو آلبرتا نیز مشهود است. همچنین، Baek و همکاران (۲۰۲۱) در گوجه‌فرنگی، افزایش کل مواد جامد محلول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را با تیمار پیش‌از برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک مشاهده کردند، که این افزایش به دلیل تقویت محتوای گابا بود. در انار Mollar de Elche، Garcia-Pastor و همکاران (۲۰۲۰) و Martinez و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که متیل جاسمونات واسید سالیسیلیک پیش از برداشت، کل مواد جامد محلول را افزایش داده و ترکیبات زیستی را حفظ کردند، که با یافته‌های این پژوهش در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

مورد نقش این ترکیبات در حفظ کیفیت طی انبارداری همسو است. علاوه‌براین، Hasan و همکاران (۲۰۲٤) و Bagheri و Esna-Ashari (۲۰۲۲) در ارقام مختلف خرمالو، ا فزایش کل مواد جامد محلول را با تیمار متیل جاسمونات واسید سالیسیلیک گزارش کردند، که این اثر به دلیل پیشرفت رسیدن میوه و بهبود کیفیت آنتی‌اکسیدانی بود، مشابه با افزایش کل مواد جامد محلول در مراحل مختلف رشد هلو در این مطالعه، در میوه‌های هسته‌دار دیگر، مانند زردآلو و آلبالو، Chen و همکاران (۲۰۲۳) و Wang و همکاران (۲۰۲۱) تأکید کردند که کاربرد پیش و پس از برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک، کل مواد جامد محلول را با تنظیم متابولیسم انرژی و کاهش آسیب سرمایی افزایش داد، که این مکانیسم‌ها مستقیماً با نتایج هلو آلبرتا همخوانی دارند. همچنین، Pan و همکاران (۲۰۲۰ و ۲۰۲۲) در کیوی و گیلاس، افزایش کل مواد جامد محلول را با متیل جاسمونات به دلیل القاء مقاومت به بیماری و تنظیم متابولیسم پکتین مشاهده کردند، که با نقش متیل جاسمونات در کاهش فعالیت پلی‌گالاکتوروناز در هلو همسو است. در انگور Thompson Seedless و Cheonghyang، Hazarika و Marak (۲۰۲۲) و Zebro و Heo (۲۰۲٤) گزارش کردند که متیل جاسمونات واسید سالیسیلیک، کل مواد جامد محلول را حفظ کرده و عمر انباری را افزایش دادند، که این یافته‌ها با افزایش کل مواد جامد محلول در تیمارهای ترکیبی در هلو تأیید می‌شود. علاوه‌براین، Tang و همکاران (۲۰۲۲) و Zhu و همکاران (۲۰۲۲ و ۲۰۲٤) در هلو و شلیل، نشان دادند که متیل جاسمونات با تنظیم متابولیسم سوکروز و مسیر JA-signaling، کل مواد جامد محلول را افزایش داد و نرم‌شدن را به تأخیر انداخت، که دقیقاً با بالاترین کل مواد جامد محلول در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل جاسمونات در این پژوهش همخوانی دارد.

در نهایت، این نتایج با مطالعات گسترده‌ای مانند Chen و همکاران (۲۰۲۱) در تمشک چینی، El-Mogy و همکاران (۲۰۱۹) در توت‌فرنگی و همکاران (۲۰۲۲) Wang در سبزیجات همخوانی دارند، که نقش اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات را در افزایش کل مواد جامد محلول از طریق تنظیم متابولیسم فنولی و آنتی‌اکسیدانی برجسته می‌کنند. چنین همخوانی‌هایی نه تنها اعتبار علمی یافته‌های این پژوهش را تقویت می‌کنند، بلکه پتانسیل کاربرد این تیمارها را در طیف وسیعی از میوه‌ها برای بهبود کیفیت پس از برداشت و کاهش ضایعات برجسته می‌سازند، و راهی زیبا و طبیعی برای حفظ طعم و ارزش غذایی میوه‌ها در زنجیره تأمین ارائه می‌دهند.

ویتامین ث: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمارهای متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک و نیز زمان اعمال تیمار اثر معنی‌داری بر میزان ویتامین ث میوه هلو رقم 'آلبرتا' داشتند. مطابق داده‌های جدول ۵، بیشترین مقدار ویتامین ث مربوط به تیمار متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بدون کاربرد اسید سالیسیلیک در مرحله نوک‌سبزی بود را ثبت کرد. این مقدار نسبت به تیمار شاهد در همان زمان حدود ٤۵/٦ درصد افزایش نشان داد. در بین زمان‌های محلول‌پاشی، مرحله نوک‌سبزی مؤثرترین زمان برای افزایش ویتامین ث بود، به‌طوری‌که میانگین تیمارهای اعمال‌شده در این زمان، افزایش قابل‌توجهی نسبت به مرحله نوک‌صورتی و نیز تیمار پس از برداشت داشت. در مقابل، کمترین میزان ویتامین ث در تیمار شاهد (بدون متیل‌جاسمونات و بدون اسید سالیسیلیک) مشاهده شد. به‌طورکلی، نتایج نشان دادند که ترکیب غلظت بالاتر متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و کاربرد در مرحله نوک‌سبزی مؤثرترین راهبرد برای افزایش محتوای ویتامین ث میوه هلو بود (جدول ٦).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر مثبت و معنی‌دار تیمارهای پیش و پس از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر محتوای ویتامین C (اسید آسکوربیک) میوه هلو رقم 'آلبرتا' است، که این افزایش به ویژه در غلظت بالاتر متیل‌جاسمونات (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بدون کاربرد اسید سالیسیلیک و در مرحله نوک‌سبزی به اوج خود می‌رسد و حدود ٤۵/٦ درصد نسبت به شاهد افزایش می‌یابد. این یافته‌ها بر نقش کلیدی این ترکیبات در ارتقای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه تأکید دارند، جایی که اسید آسکوربیک به عنوان یک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

جدول ۵- مقایسه اثر تیمارهای قبل و بعد از برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک روی کل مواد جامد محلول میوه هلوی "آلبرتا" طی انبارمانی

تیمار		کل مواد جامد محلول (٪)		
		زمان محلول‌پاشی		
متیل جاسمونات (میلی‌گرم بر لیتر)	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	نوک سبزی	نوک صورتی	پس از برداشت
۰	۰	۱۱/۵۹±۰/۰۴^{f}	۱۱/۱۴±۰/۳۰^{f}	۱۷/۶۹±۰/۳۷$^{a-d}$
	۱	۱۹/۴۶±۰/۵۱^{a}	۱۴/۷۰±۱/۲۵^{de}	۱۹/۶۳±۰/۷۷^{a}
	۲	۱۸/۱۶±۰/۳۸^{abc}	۱۵/۴۱±۰/۲۰^{cde}	۱۹/۴۱±۰/۶۲^{a}
۱۰۰	۰	۲۰/۰۴±۰/۱۱^{a}	۱۴/۸۳±۱/۶۷^{de}	۱۹/۹۵±۰/۵۰^{a}
	۱	۲۰/۳۰±۰/۷۴^{a}	۱۸/۲۰±۰/۹۵^{abc}	۲۰/۰۷±۰/۹۴^{a}
	۲	۱۸/۹۱±۱/۱۴^{ab}	۱۳/۷۰±۲/۴۱^{ef}	۱۸/۹۷±۱/۰۳^{ab}
۲۰۰	۰	۲۰/۸۳±۰/۳۴^{a}	۱۹/۶۱±۰/۲۳^{a}	۲۰/۴۱1±۰/۴۹^{a}
	۱	۱۹/۵۴±۰/۶۹^{a}	۱۸/۰۳±۱/۱۰^{abc}	۱۸/۸۸±۰/۴۱^{ab}
	۲	۸۰/۱۷±۱/۰۲$^{a-d}$	۱۵/۶۷±۱/۹۷$^{b-e}$	۱۹/۱۵±۰/۷۲^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اعداد ± خطای استاندارد

جدول ٦- مقایسه اثر تیمارهای قبل و بعد از برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک روی اسید آسکوربیک میوه هلوی "آلبرتا"طی انبارمانی

تیمار		ویتامین ث (mg/100ml)		
		زمان محلول‌پاشی		
متیل جاسمونات (میلی‌گرم بر لیتر)	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	نوک سبزی	نوک صورتی	پس از برداشت
۰	۰	۳/۱۶±۰/۰۵^{gh}	۳/۰۹±۰/۰۳^{h}	۳/۲۶±۰/۰۳^{gh}
	۱	۳/۲۶±۰/۱۱^{gh}	۳/۲۴±۰/۰۷^{gh}	۳/۲۹±۰/۱۲^{gh}
	۲	۳/۸۳±۰/۲۲$^{b-e}$	۳/۸۱±۰/۲۳$^{b-e}$	۳/۵۶±۰/۱۳$^{b-h}$
۱۰۰	۰	۴/۰۰±۰/۲۴^{b}	۳/۸۸±۰/۱۹^{bcd}	۳/۶۴±۰/۰۵$^{b-g}$
	۱	۳/۳۶±۰/۰۶$^{e-h}$	۳/۲۲±۰/۰۴^{gh}	۳/۴۱±۰/۰۷$^{d-h}$
	۲	۳/۳۷±۰/۱۴$^{e-h}$	۳/۳۱±۰/۰۴^{fgh}	۳/۴۱±۰/۰۴$^{d-h}$
۲۰۰	۰	۴/۶۰±۰/۲۱^{a}	۴/۴۵±۰/۱۷^{a}	۳/۹۲±۰/۱۴^{bc}
	۱	۳/۹۵±۰/۲۹^{bc}	۳/۷۹±۰/۲۵$^{b-f}$	۳/۶۶±۰/۰۵$^{b-g}$
	۲	۳/۲۹±۰/۱۰^{gh}	۳/۲۰±۰/۱۰^{gh}	۳/۴۷±۰/۰۵$^{c-h}$

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اعداد ± خطای استاندارد

آنتی‌اکسیدان محلول در آب، در خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند پراکسید هیدروژن، رادیکال‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

سوپراکسید و اکسیژن منفرد نقش اساسی ایفا می‌کند و همچنین در باز تولید سایر آنتی‌اکسیدان‌ها مانند آلفا- توکوفرول مشارکت دارد (Burdurla *et al*., 2006). کاهش محتوای اسید آسکوربیک طی انبارداری، یکی از عوامل بحرانی در کیفیت محصولات باغبانی است (Felicetti and Matheis, 2010) و تیمارهای اعمال‌شده در این مطالعه با حفظ و افزایش این ترکیب، کیفیت میوه را بهبود بخشیده‌اند. مکانیسم‌های زیربنایی این اثرات را می‌توان به تنظیم متابولیسم اسید آسکوربیک توسط جاسمونات‌ها نسبت داد، که در غشای داخلی میتوکندری سنتز شده و در بخش‌های مختلف سلولی مانند سیتوسول، دیواره سلولی، کلروپلاست، میتوکندری، واکوئل و آپوپلاست حضور دارد (Wolucka *et al*., 2005; Lurie and Crisosto, 2005; Suza *et al*., 2010) متیل‌جاسمونات با تحریک سنتز اسید آسکوربیک در تعلیق‌های سلولی گیاهی، متابولیسم آن را تنظیم می‌کند (Wolucka *et al*., 2005)، در حالی‌که اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی سلول در برابر تنش‌ها، مانند تنش اکسیداتیو، عمل می‌کند (Xu and Tian, 2008; Ding *et al*., 2002). این ترکیبات همچنین در سنتز هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلیک اسید، گلیکوپروتئین‌های دیواره سلولی و متابولیت‌های ثانویه با خواص آنتی‌اکسیدانی نقش دارند و پایداری دیواره سلولی را تقویت می‌کنند (Burdurla *et al*., 2006; Sofo *et al*., 2005). در نتیجه، کاربرد پیش از برداشت اسید سالیسیلیک و متیل‌جاسمونات می‌تواند ارزش تغذیه‌ای میوه را با افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند اسید آسکوربیک حفظ کند و کیفیت آن را طی انبارداری بهبود بخشد (Ding *et al*., 2002; Kelebek *et al*., 2009; Yao and Tian, 2005).

این نتایج با مطالعات متعددی روی میوه‌های مختلف همخوانی دارد و الگوی مشترکی از اثرات مثبت اسید سالیسیلیک و متیل‌جاسمونات بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و حفظ ویتامین ث را نشان می‌دهد. برای مثال، در هلو کاربرد پیش از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک با افزایش بازده، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای گابا در گوجه‌فرنگی همخوانی دارد (Baek *et al*., 2021)، اما در هلو رقم 'آلبرتا' تمرکز بر ویتامین ث است. همچنین، در هلو و شلیل تیمارهای پیش از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک با کاهش ناهنجاری‌های انباری و حفظ خواص فیزیکی- شیمیایی طی انبارداری سرد همخوانی دارد (Sen *et al*., 2024)، که با افزایش ویتامین ث در مطالعه حاضر سازگار است. در پرتقال خونی کاربرد پیش و پس از برداشت اسید سالیسیلیک و متیل‌جاسمونات با بهبود رنگ قرمز، توسعه فنولیک و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی طی انبارداری سرد همخوانی دارد (Vithana *et al.,* 2024)، که مشابه افزایش ٤٥/٦ درصدی ویتامین ث در هلو است.

در میوه‌های دیگر، مانند توت‌فرنگی کاربرد پیش و پس از برداشت اسید سالیسیلیک کیفیت، ویژگی‌های ذخیره‌سازی و محتوای ترکیبات آنتی اکسیدانی را بهبود می‌بخشد (Kumar and Kaur, 2019; El-Mogy *et al*., 2019)، که با حفظ بهتر ویتامین ث در هلو طی انبارداری همخوانی دارد. در انار 'Mollar de Elche'، کاربرد پیش از برداشت متیل‌جاسمونات با افزایش بازده و کیفیت میوه طی برداشت و انبارداری همخوانی دارد (Garcia-Pastor *et al*., 2020)، که الگوی مشابهی با مرحله نوک‌سبزی در هلو نشان می‌دهد. در کیوی کاربرد پس از برداشت متیل‌جاسمونات با مقاومت به بیماری و حفظ کیفیت همخوانی دارد (Pan *et al*., 2020)، درحالی‌که در خرمالو، متیل‌جاسمونات با پیشرفت رسیدن، توسعه رنگ و بهبود کیفیت آنتی‌اکسیدانی همخوانی دارد (Hasan *et al*., 2024; Bagheri and Esna-Ashari, 2022). علاوه‌براین، در انگور 'Thompson Seedless'، اسید سالیسیلیک و اسید اگزالیک با بهبود کیفیت وافزایش عمر قفسه‌ای همخوانی دارد (Hazarika & Marak, 2022) و در انگور 'Cheonghyang' اسید سالیسیلیک با بهبود عمر قفسه‌ای و کیفیت طی انبارداری سرد همخوانی دارد (Zebro and Heo, 2024).

در گوجه‌فرنگی، کاربرد پیش از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ویتامین ث و حفظ کیفیت لیمو طی انبارداری سرد همخوانی دارد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

(Martinez *et al*., 2021) و اسید سالیسیلیک با کاهش آسیب سرمایی از طریق بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و متابولیسم انرژی همخوانی دارد (Zhang *et al*., 2024) در هلو اسید سالیسیلیک با کاهش آسیب سرمایی و بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی همخوانی دارد (Zhang *et al*., 2024; Cao *et al*., 2025)، که مستقیماً با حفظ ویتامین ث در مطالعه حاضر سازگار است. همچنین، در بلوبری و زغال‌اخته، تیمار متیل‌جاسمونات باعث حفظ کیفیت میوه طی انبار مانی شد و با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (Pan *et al*., 2022; Wang *et al*., 2021).

به‌طورکلی، این یافته‌ها با بررسی‌های مروری همخوانی دارد؛ برای مثال Chen و همکاران (۲۰۲۳)، کاربرد پیش و پس از برداشت اسید سالیسیلیک و مشتقات آن را برای حفظ اسیدهای آلی میوه‌ها و سبزیجات طی انبارداری تأیید می‌کنند (Wang *et al*., 2021)، و اثرات متیل‌جاسمونات بر کیفیت و حفظ میوه‌های پس از برداشت را برجسته می‌کنند. همچنین، Song و همکاران (۲۰۲۳) وLiu و همکاران (۲۰۲۲)، نقش اسید سالیسیلیک در پاسخ‌های تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده را تأکید می‌کنند، که با افزایش ویتامین ث در هلو همخوانی دارد. این همخوانی‌ها نشان‌دهنده پتانسیل گسترده اسید سالیسیلیک و متیل‌جاسمونات در باغبانی پایدار است، جایی که کاربرد بهینه در مراحل رشدی خاص، مانند نوک‌سبزی، می‌تواند کیفیت تغذیه‌ای و عمر انبارداری میوه‌ها را به طور چشمگیری ارتقا دهد.

میزان فعالیت آنزیم کاتالاز: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱)، تیمارهای متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک و همچنین زمان اعمال تیمار اثر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز میوه هلو رقم 'آلبرتا' داشتند. مطابق داده‌های جدول ٦، میزان فعالیت این آنزیم در تمام تیمارها طی فرایند انبارمانی روند افزایشی نشان داد، با این حال شدت این افزایش وابسته به نوع و زمان تیمار بود. بیشترین مقدار فعالیت کاتالاز در تیمار متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مول و در مرحله نوک‌سبزی جوانه مشاهده شد. این مقدار نسبت به تیمار شاهد در همان زمان حدود ١٤ درصد افزایش نشان داد. این یافته نشان داد که کاربرد هم‌زمان غلظت بالاتر متیل‌جاسمونات با سطح متوسط اسید سالیسیلیک، محرک قوی‌تری برای تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی میوه است. در مقابل، کمترین میزان فعالیت کاتالاز مربوط به تیمار شاهد در مرحله نوک‌صورتی بود که نسبت به تیمار برتر حدود ۵۹/۸ درصد کمتر بود. این اختلاف قابل‌توجه، نشان‌دهنده نقش محوری هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد در فعال‌سازی سازوکارهای دفاعی میوه طی انبارمانی است. همچنین، مقایسه زمان‌های محلول‌پاشی نشان داد که مرحله نوک‌سبزی جوانه بهترین زمان اعمال تیمار بود؛ به‌طوری‌که غالب تیمارهای اعمال‌شده در این مرحله، مقادیر بالاتری از فعالیت کاتالاز را ثبت کردند. این نتیجه نشان داد که اعمال پیش‌رس هورمون‌ها در ابتدای رشد زایشی، کارایی بیشتری در ارتقای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه دارد. به‌طورکلی، نتایج نشان دادند که تیمار ترکیبی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌جاسمونات + ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کاربرد آن در مرحله نوک‌سبزی مؤثرترین راهبرد برای افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در میوه هلو طی انبارمانی بود (جدول ۷).

میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱)، تیمارهای متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک و نیز زمان اعمال تیمار تأثیر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز میوه هلو رقم 'آلبرتا' طی انبارمانی داشتند. مطابق داده‌های جدول ۷، فعالیت این آنزیم در همه تیمارها روند افزایشی نشان داد، اما شدت این افزایش به‌شدت تحت تأثیر نوع تیمار و زمان محلول‌پاشی بود. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مول و در مرحله نوک‌سبزی جوانه ثبت شد. این مقدار نسبت به تیمار شاهد در همان زمان حدود ٤٣/٧ درصد افزایش نشان داد. این اختلاف قابل‌توجه بیانگر نقش تقویت‌کننده و هم‌افزای متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک در تحریک سیستم آنزیمی ضداکسایشی میوه است. در مقابل، کمترین میزان فعالیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

جدول ۷- مقایسه اثر تیمارهای قبل و بعد از برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک روی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (Unit/mg protein) میوه هلوی "آلبرتا"طی انبارمانی.

تیمار		میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (Unit/mg protein)		
		زمان محلول‌پاشی		
متیل جاسمونات (میلی‌گرم بر لیتر)	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	نوک سبزی	نوک صورتی	پس از برداشت
۰	۰	۲۸/۴۷±۰/۰۸^{o}	۲۸/۲۴±۰/۰۱^{p}	۲۷/۸۰±۰/۰۴^{q}
	۱	۳۵/۰۷±۰/۱۸^{f}	۳۱/۴۸±۰/۰۱^{l}	۳۰/۷۷±۰/۰۱^{n}
	۲	۳۷/۹۲±۰/۰۰^{cd}	۳۳/۵۰±۰/۱۳^{i}	۳۲/۹۱±۰/۰۱^{k}
۱۰۰	۰	۳۵/۰۷±۰/۰۲^{f}	۳۱/۶۵±۰/۰۶^{l}	۳۱/۰۴±۰/۰۵^{m}
	۱	۳۸/۰۷±۰/۰۰^{c}	۳۳/۷۱±۰/۰۱^{h}	۳۲/۹۶±۰/۰۲^{k}
	۲	۳۸/۱۰±۰/۰۲^{c}	۳۳/۷۲±۰/۰۱^{h}	۳۲/۹۵±۰/۰۲^{k}
۲۰۰	۰	۳۷/۸۶±۰/۱۶^{d}	۳۳/۸۲±۰/۰۶^{h}	۳۳/۰۲±۰/۰۰^{k}
	۱	۴۰/۵۹±۰/۰۴^{a}	۳۵/۹۷±۰/۰۴^{e}	۳۵/۰۷±۰/۰۱^{f}
	۲	۳۸/۶۷±۰/۰۲^{b}	۳۴/۲۰±۰/۰۱^{g}	۳۳/۲۶±۰/۰۰^{j}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اعداد ± خطای استاندارد

پراکسیداز مربوط به تیمار شاهد در مرحله نوک‌صورتی بود که نسبت به تیمار برتر حدود ۳۹/۹ درصد کمتر بود. این تفاوت گسترده تأکید می‌کند که عدم استفاده از هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد، موجب کاهش کارایی سیستم دفاعی میوه در برابر تنش اکسیداتیو طی انبارمانی می‌شود. ارزیابی زمان‌های محلول‌پاشی نشان داد که مرحله نوک‌سبزی جوانه بهترین زمان اعمال تیمار بود؛ به‌گونه‌ای که تقریباً همه تیمارهای اعمال‌شده در این مرحله، مقادیر بالاتری از فعالیت پراکسیداز را نسبت به مراحل نوک‌صورتی و پس از برداشت داشتند. این یافته نشان داد که کاربرد پیش‌رس هورمون‌ها در ابتدای تمایز زایشی، توان بیشتری در فعال‌سازی مسیرهای دفاعی اکسیداتیو میوه دارد. به‌طورکلی، نتایج نشان دادند که تیمار ترکیبی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌جاسمونات + ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و اعمال آن در مرحله نوک‌سبزی مؤثرترین راهبرد برای افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز طی انبارمانی هلو 'آلبرتا' بود (جدول ۸).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تیمارهای پیش و پس از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز در میوه هلو رقم 'آلبرتا' طی انبارمانی است. این تیمارها با افزایش روند فعالیت این آنزیم‌ها، ظرفیت دفاعی میوه در برابر تنش اکسیداتیو را ارتقا می‌دهند، که این امر با نقش کلیدی این ترکیبات در تحریک مسیرهای متابولیکی مرتبط با پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی همخوانی دارد. به‌طور خاص، بیشترین فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در تیمار ترکیبی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل جاسمونات همراه با ۱ میلی‌مول اسید سالیسیلیک در مرحله نوک‌سبزی جوانه مشاهده شد، که نسبت به تیمار شاهد افزایشی به ترتیب حدود ۱۴ و ۷/۴۳ درصد نشان داد. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که برهمکنش هم‌افزای متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک، به ویژه در مراحل اولیه رشد زایشی، محرک قوی‌تری برای فعال‌سازی سیستم آنزیمی ضداکسیدانی است، که این امر می‌تواند به کاهش تنش سرما و حفظ کیفیت میوه طی انبارمانی کمک کند.

از دیدگاه بیوشیمیایی، پراکسیدازها به عنوان آنزیم‌های چندمنظوره در سیتوسول، واکوئل، کلروپلاست و فضای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

جدول ۸- مقایسه اثر تیمارهای قبل و بعد از برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک روی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (Unit/mg protein) میوه هلوی "آلبرتا"طی انبارمانی

تیمار		میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (Unit/mg protein)		
		زمان محلول‌پاشی		
متیل جاسمونات (میلی‌گرم بر لیتر)	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	نوک سبزی	نوک صورتی	پس از برداشت
۰	۰	۲٤/۹۲±۰/۰٦^{r}	۲۵/۵٦±۰/۰۱^{q}	۲۵/۷٤±۰/۰۳^{p}
	۱	۳۰/۹۸±۰/۰۰^{h}	۲۹/٦۲±۰/۱۰^{j}	۲۷/۹۸±۰/۰۱^{d}
	۲	۳۲/٦۲±۰/۰۱^{d}	۳۱/۲۲±۰/۰۲^{g}	۲۹/۳۸±۰/۰۱^{l}
۱۰۰	۰	۳۱/۱۵±۰/۰۲^{g}	۲۹/۷۰±۰/۰۳^{ij}	۲۸/۱۰±۰/۰۳^{n}
	۱	۳۲/۷۷±۰/۰۲^{c}	۳۱/۳۹±۰/۰۳^{f}	۲۹/۱۵±۰/۰۳^{m}
	۲	۳۲/۷۷±۰/۰٤^{c}	۳۱/٤٦±۰/۰۰^{f}	۲۹/۲۰±۰/۰۲^{m}
۲۰۰	۰	۳۲/۷۳±۰/۰٤^{c}	۳۱/۳۹±۰/۰۲^{f}	۲۹/۵۱±۰/۰۲^{k}
	۱	۳۵/۸۰±۰/۰۳^{a}	۳۳/۲۸±۰/۰۱^{b}	۳۱/۳٦±۰/۰۵^{f}
	۲	۳۳/۲۸±۰/۰۳^{b}	۳۱/۷٦±۰/۰۳^{e}	۲۹/۷٤±۰/۰۰^{i}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اعداد ± خطای استاندارد

آپوپلاستی گیاهان عمل می‌کنند و نقش حیاتی در تجزیه پراکسید هیدروژن از طریق اکسیداسیون ترکیبات همراه ایفا می‌نمایند (Zhu *et al*., 2022). این آنزیم‌ها همچنین در فرآیندهای متابولیکی مانند کاتابولیسم اکسین، سنتز لیگنین و سوبریین شرکت دارند و در حضور ترکیبات فنلی و اسید آسکوربیک، به عنوان حذف‌کننده‌های مؤثر رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند (Liu *et al*., 2022; Shoaib Shah *et (al*., 2025). نتایج ما نشان می‌دهد که کاربرد متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک باعث افزایش سنتز آنزیم پراکسیداز می‌شود، که این امر با کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از سرما همخوانی دارد. به‌طور مشابه، کاتالاز به عنوان یک آنزیم کلیدی آنتی‌اکسیدانی، پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن مولکولی تجزیه می‌کند و از اکسیداسیون مواد آلی در سلول جلوگیری می‌نماید (Kaur *et al*., 2022). این آنزیم در تنش‌های اکسیداتیو نقش محوری دارد و تحت شرایط نرمال، به عنوان محافظ در برابر گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) عمل می‌کند (Bagheri *et al*., 2022; Chen *et al*., 2021). افزایش فعالیت کاتالاز در میوه‌های تیمار شده طی انبارمانی، نشان‌دهنده نقش متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک در تقویت این سیستم دفاعی است، که می‌تواند به تأخیر در پیری میوه کمک کند (Kolton *et al*., 2022). این نتایج با یافته‌های پژوهشگران دیگر بر روی میوه‌های مختلف همخوانی دارد و الگوی مشترکی از تأثیر مثبت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر سیستم آنتی‌اکسیدانی را تأیید می‌کند. برای مثال، Bagheri و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاربرد پس از برداشت متیل جاسمونات بر روی خرمالو، فعالیت کاتالاز را افزایش داد و کیفیت میوه را طی انبارمانی سرد حفظ کرد، که مشابه افزایش فعالیت کاتالاز در هلو 'آلبرتا' در تیمارهای ما است. Garcia-Pastor همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که کاربرد پیش‌برداشت متیل جاسمونات بر روی انار 'Mollar de Elche'، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله پراکسیداز و کاتالاز را ارتقا داد و کیفیت میوه را طی انبارمانی بهبود بخشید، که با افزایش هم‌افزایی فعالیت این آنزیم‌ها در تیمار ترکیبی متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک در پژوهش ما همخوانی دارد. در مطالعه Hasan و همکاران

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

(۲۰۲٤) بر روی خرمالوهای 'Yoho' و 'Jiro'، متیل جاسمونات باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود کیفیت آنتی‌اکسیدانی شد، که این امر با نقش متیل جاسمونات در کاهش تنش اکسیداتیو در هلو ما مطابقت دارد. همچنین، Baek و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که کاربرد پیش‌برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر روی گوجه‌فرنگی، فعالیت کاتالاز و پراکسیداز را افزایش داد و محتوای گابا را ارتقا بخشید، که الگویی مشابه با افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در مراحل نوک‌سبزی در هلو 'آلبرتا' را نشان می‌دهد.

علاوه‌براین، نقش اسید سالیسیلیک در حفاظت غشایی و کاهش نشت یونی تحت تنش سرما، همانند آنچه در انگور توسط Nia و همکاران (۲۰۲۲) و در پسته توسط Gharibiyan و همکاران (۲۰۲۳) گزارش شد، با نتایج ما همخوانی دارد؛ جایی که اسید سالیسیلیک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و پراکسیداز را تغییر داد و مقاومت به تنش را افزایش داد Hazarika و Marak (۲۰۲۲)، نیز نشان دادند که اسید سالیسیلیک بر روی انگور 'Thompson Seedless' فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز را افزایش داد و کیفیت میوه را حفظ کرد، که با کاهش استرس اکسیداتیو در هلو تیمار شده ما مطابقت دارد. در مطالعه Zebro و Heo (۲۰۲٤) روی انگور 'Cheonghyang'، اسید سالیسیلیک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داد و عمر انبارمانی را بهبود بخشید، که این یافته با افزایش فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در تیمارهای ترکیبی ما همخوانی دارد. همچنین، Martinez و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که کاربرد پیش‌برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر روی لیمو، سیستم آنتی‌اکسیدانی را تقویت کرد و کیفیت میوه را طی ذخیره‌سازی سرد حفظ نمود، که الگویی مشابه با نتایج ما بر روی هلو است.

از سوی دیگر، مطالعات بر روی میوه‌های هسته‌دار مانند هلو و شلیل نیز این الگو (افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز طی انبار مانی)را تأیید می‌کنند (Sen *et al*., 2024). Zhao و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که اسید سالیسیلیک بر روی هلو، متابولیسم سوکروز را تنظیم کرد و آسیب سرمایی را کاهش داد، که این امر با نقش اسید سالیسیلیک در تقویت سیستم دفاعی در نتایج ما مطابقت دارد. همچنین، Tang و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که کاربرد پس از برداشت متیل جاسمونات بر روی هلو، متابولیسم آنتوسیانین را تنظیم کرد و رنگ میوه را بهبود بخشید، که با تأثیر متیل جاسمونات بر سیستم آنتی‌اکسیدانی در پژوهش ما همخوانی دارد. در مطالعه Zhang و همکاران (۲۰۲٤) بر روی هلو، اسید سالیسیلیک ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را با بهبود متابولیسم انرژی افزایش داد و آسیب سرمایی را کاهش داد، که دقیقاً با افزایش فعالیت کاتالاز و پراکسیداز در تیمارهای ما مطابقت دارد.

به‌طورکلی، این پژوهش نشان می‌دهد که تیمار ترکیبی متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک در مرحله نوک‌سبزی، راهبردی مؤثر برای ارتقای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی هلو 'آلبرتا' است، که این یافته‌ها با مطالعات گسترده بر روی میوه‌هایی مانند خرمالو (Bagheri *et al*., 2022; Hasan *et al*., 2024)، انار (Garcia-Pastor *et al*., 2020)، گوجه‌فرنگی (Baek *et al*., 2021)، انگور (Hazarika and Marak, 2022; Nia *et al*., 2022; Zebro and Heo, 2024)، پسته (Gharibiyan *et al*., 2023)، لیمو (Martinez *et al*., 2021)، nectarine (Sen *et al*., 2024) و هلو (Tang *et al*., 2022; Zhang *et al*., 2024; Zhao *et al*., 2021) همخوانی دارد. این همخوانی‌ها تأکید می‌کنند که متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک به عنوان سیگنال‌دهنده‌های چندمنظوره، می‌توانند در مدیریت پس از برداشت میوه‌های حساس به سرما، نقش کلیدی ایفا کنند و پتانسیل کاربردی در صنعت باغبانی داشته باشند.

میزان پراکسید هیدروژن: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمارهای متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک و نیز زمان اعمال تیمار تأثیر معنی‌داری بر میزان محتوای پراکسید هیدروژن میوه هلو رقم 'آلبرتا' طی انبارمانی داشتند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان پراکسید هیدروژن میوه‌های هلو رقم 'آلبرتا' طی دوره انبارمانی در تمامی تیمارها و شاهد، روند افزایشی داشت، با این حال

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

جدول ۹- مقایسه اثر تیمارهای قبل و بعد از برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک روی میزان پراکسید هیدروژن (mg/gFW) میوه هلوی "آلبرتا"طی انبارمانی

تیمار		میزان پراکسید هیدروژن (mg/gFW)		
		زمان محلول‌پاشی		
متیل جاسمونات (میلی‌گرم بر لیتر)	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	نوک سبزی	نوک صورتی	پس از برداشت
۰	۰	۲۳/۳۲±۰/۱٤^{b}	۲۳/٦۲±۰/۰٦^{a}	۲۳/۱۹±۰/۲۱^{b}
	۱	۱٥/۷۷±۰/۰۰^{e}	۱٥/۳۲±۰/۰٦^{g}	۱۷/۸۹±۰/۰۰^{c}
	۲	۱۳/۲۷±۰/۰۸^{k}	۱۳/۱۲±۰/۱٥^{kl}	۱٥/٥۱±۰/۰۲^{fg}
۱۰۰	۰	۱٥/٥۷±۰/۰۲^{ef}	۱٤/۹۰±۰/۰۳^{h}	۱۷/٦۰±۰/۱۰^{d}
	۱	۱۳/۱۰±۰/۰۲^{kl}	۱۲/۷٥±۰/۰۳^{m}	۱٥/۲۸±۰/۰۲^{g}
	۲	۱۳/۱۸±۰/۰٥^{kl}	۱۲/٦٥±۰/۰۳^{mn}	۱٥/۳۷±۰/۰۰^{fg}
۲۰۰	۰	۱۳/۰۱±۰/۰٤^{l}	۱۲/٤۹±۰/۰۱^{n}	۱٥/۲۹±۰/۰۸^{g}
	۱	۱۰/۷۳±۰/۰٤^{p}	۱۰/٦٥±۰/۰۲^{p}	۱۳/٥۹±۰/۰٦^{j}
	۲	۱۲/۰٥±۰/۰۳^{o}	۱۱/۹۰±۰/۱۲^{o}	۱٤/٦٥±۰/۰۲^{i}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح ٥ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اعداد ± خطای استاندارد

شدت این افزایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع تیمار و زمان محلول‌پاشی بود ($P \leq 0.05$؛ جدول ۹). در بین تیمارها، بیشترین سطح H_2O_2 در تیمار شاهد ثبت شد، به‌ویژه در مرحله نوک‌صورتی جوانه، که بیانگر تجمع رادیکال‌های فعال و تنش اکسیداتیو بالاتر در غیاب تنظیم‌کننده‌های رشدی است. در مقابل، کمترین میزان پراکسید هیدروژن مربوط به تیمار متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مول بود که در مرحله نوک‌سبزی جوانه، مقدار ۱۰/۷۳ mg/g FW را نشان داد و در مقایسه با شاهد، حدود ٥٤/٦ درصدی کاهش را ایجاد کرد. ارزیابی زمان‌های محلول‌پاشی نشان داد که اعمال تیمار در مرحله نوک‌سبزی و نوک‌صورتی جوانه عملکرد مؤثرتری در کاهش تجمع پراکسید هیدروژن داشت، به‌طوری‌که میانگین کاهش H_2O_2 نسبت به تیمار شاهد در این زمان‌ها قابل توجه و آماری معنی‌دار بود. این یافته‌ها تأکید می‌کند که استفاده پیش‌رس از متیل‌جاسمونات در ترکیب با اسید سالیسیلیک، توان مقابله با استرس اکسیداتیو و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن در میوه را بهبود می‌بخشد.

به‌طور خلاصه، بهترین استراتژی برای کنترل پراکسید هیدروژن در میوه هلو طی انبارمانی، استفاده از متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به همراه اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار در مرحله نوک‌سبزی و نوک‌صورتی جوانه است که اثر محافظتی قوی بر غشاهای سلولی و سیستم آنتی‌اکسیدانی میوه اعمال می‌کند (جدول ۹).

میزان پراکسید اسیون لیپیدهای غشا: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمارهای متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک و نیز زمان اعمال تیمار تأثیر معنی‌داری بر میزان محتوای پراکسید اسیون لیپیدهای غشا میوه هلو رقم 'آلبرتا' طی انبارمانی داشتند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء در میوه‌های هلو رقم 'آلبرتا' طی دوره انبارمانی در همه تیمارها و شاهد افزایش یافت (جدول ۹). با این حال، شدت این افزایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع تیمار و زمان محلول‌پاشی بود. در میان تیمارها، بیشترین سطح پراکسیداسیون لیپیدهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

غشاء در تیمار شاهد مشاهده شد، به‌ویژه در مرحله نوک‌صورتی جوانه، که نشان‌دهنده آسیب اکسیداتیو بالاتر و تخریب غشاهای سلولی در غیاب تنظیم‌کننده‌های رشدی است. در مقابل، کمترین میزان پراکسیداسیون لیپید مربوط به تیمار متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار بود که در مرحله نوک‌سبزی جوانه نسبت به شاهد در همان زمان حدود ۳۳ درصد کاهش داشت. ارزیابی اثر زمان محلول‌پاشی نشان داد که مرحله نوک‌سبزی جوانه بهترین زمان اعمال تیمار برای کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء بود؛ به‌طوری‌که در این زمان، تمام تیمارهای متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک نسبت به مرحله نوک‌صورتی و پس از برداشت، کاهش قابل توجهی در میزان پراکسیداسیون داشتند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که اعمال هورمون‌ها در مراحل اولیه رشد زایشی می‌تواند سازوکارهای دفاعی غشایی میوه را تقویت کرده و تخریب لیپیدهای غشایی ناشی از استرس اکسیداتیو را به حداقل برساند. به‌طور خلاصه، نتایج حاکی از آن است که بهترین استراتژی برای کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء میوه هلو طی انبارمانی، استفاده از متیل‌جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در ترکیب با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و اعمال آن در مرحله نوک‌سبزی جوانه است که اثر محافظتی قوی بر غشاهای سلولی اعمال می‌کند و کیفیت فیزیکوشیمیایی میوه را حفظ می‌کند (جدول ۱۰).

در این پژوهش، اثرات برهم‌کنشی تیمارهای پیش از برداشت و پس از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتوروناز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه هلو رقم 'آلبرتا' بررسی شد، با تمرکز ویژه بر میزان پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی. نتایج نشان داد که این تیمارها به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.05$) سطوح پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدهای غشا را طی دوره انبارمانی کاهش می‌دهند، که این امر با تقویت سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو همراه است. بیشترین کاهش پراکسید هیدروژن (حدود ٥٤/٦ درصد و پراکسیداسیون لیپیدهای غشا (حدود ۳۳ درصد) در تیمار ترکیبی متیل جاسمونات ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار، در مرحله نوک‌سبزی جوانه مشاهده شد، در حالی که تیمار شاهد بالاترین سطوح این شاخص‌ها را نشان داد. این یافته‌ها تأکید می‌کند که اعمال زودهنگام این تنظیم‌کننده‌های رشد، از طریق مدولاسیون متابولیسم گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، مانند سوپراکسید (O_2^{-})، هیدروژن پراکسید و رادیکال هیدروکسیل ($OH^{\bullet}$)، به حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی و بهبود کیفیت فیزیکوشیمیایی میوه کمک می‌کند. مکانیسم‌های زیربنایی این اثرات را می‌توان به نقش متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک به عنوان سیگنال‌دهنده‌های کلیدی در پاسخ‌های دفاعی گیاه نسبت داد. اسید سالیسیلیک با جذب رادیکال‌های آزاد، مانع از واکنش آنها با لیپیدهای غشایی می‌شود و از پراکسیداسیون لیپیدها، نشت یون‌ها و از دست رفتن آب سلولی جلوگیری می‌کند (Liu *et al*., 2022; Song *et al*., 2023). این ترکیب با کاهش تولید ROS از طریق مهار واکنش‌های زنجیره‌ای پراکسیداسیون، تعادل بین سیستم آنتی‌اکسیدانی و لیپواکسیژناز را برقرار می‌سازد (El-Tayeb *et al*., 2006; Kaur *et al*., 2022). به‌طور مشابه، متیل جاسمونات با فعال‌سازی مسیرهای بیوسنتزی فنل‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها، مانند ویتامین ث و ترکیبات فنلی، به نابودی رادیکال‌های آزاد کمک می‌کند (Wolucka *et al*., 2005; Suza *et al*., 2010; Hasan *et al*., 2024). این دو ترکیب در برهمکنش سینرژیستی، تولید مالون دآلدهید را که محصول نهایی پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع است کاهش می‌دهند، زیرا تولید مالون دآلدهید به عنوان شاخص زیستی تنش اکسیداتیو شناخته می‌شود (Eraslan *et al*., 2008; Heath and Packer, 1969; Pan *et al*., 2022). علاوه‌براین، اعمال پیش از برداشت در مراحل اولیه رشد زایشی (مانند نوک‌سبزی جوانه) مؤثرتر است، زیرا فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند متابولیسم آنتی‌اکسیدان‌ها و سنتز قندها را در میوه در حال رشد تحت تأثیر قرار می‌دهد (Chen *et al*., 2023; Baek *et al*., 2021)، درحالی‌که تیمارهای پس از برداشت بیشتر بر کاهش نرخ تنفس و تأخیر پیری تمرکز دارند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

جدول ۱۰- مقایسه اثر تیمارهای قبل و بعد از برداشت متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک روی پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء (mM/gFW) میوه هلوی "آلبرتا"طی انبارمانی

تیمار		پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء (mM/gFW)		
		زمان محلول‌پاشی		
متیل جاسمونات (میلی‌گرم بر لیتر)	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار)	نوک سبزی	نوک صورتی	پس از برداشت
۰	۰	۲۳/۶۰±۰/۱۲^{c}	۲۴/۱۵±۰/۱۶^{a}	۲۳/۸۶±۰/۰۷^{b}
	۱	۱۷/۷۶±۰/۰۷^{g}	۱۸/۲۵±۰/۰۳^{f}	۲۰/۰۵±۰/۰۰^{d}
	۲	۱۶/۳۰±۰/۰۲^{k}	۱۷/۳۶±۰/۰۳^{h}	۱۸/۲۰±۰/۰۵^{f}
۱۰۰	۰	۱۷/۳۲±۰/۰۷^{h}	۱۸/۲۶±۰/۱۱^{f}	۱۹/۷۰±۰/۱۴^{e}
	۱	۱۵/۱۲±۰/۰۳^{m}	۱۶/۳۸±۰/۰۳^{jk}	۱۷/۲۰±۰/۰۲^{h}
	۲	۱۵/۱۶±۰/۰۲^{n}	۱۶/۵۴±۰/۰۱^{j}	۱۷/۲۴±۰/۰۹^{h}
۲۰۰	۰	۱۶/۱۹±۰/۱۶**k**	۱۶/۹۵±۰/۰۴^{i}	۱۸/۰۷±۰/۱۱^{f}
	۱	۱۴/۲۳±۰/۰۲^{p}	۱۵/۲۱±۰/۰۷^{n}	۱۵/۸۰±۰/۰۵^{l}
	۲	۱۴/۵۵±۰/۰۵^{d}	۱۵/۵۴±۰/۰۱^{m}	۱۶/۲۸±۰/۰۴^{k}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند. اعداد ± خطای استاندارد

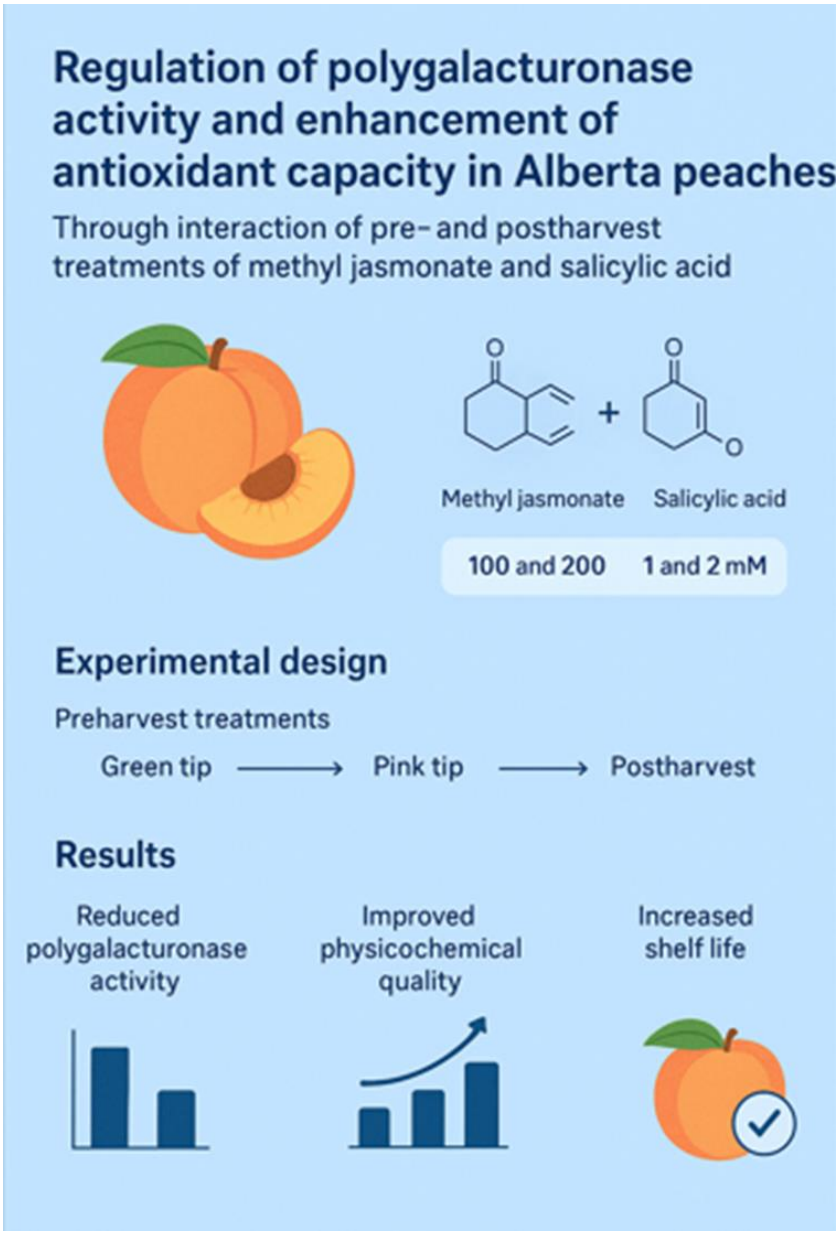
(Wang *et al*., 2021; Baswal *et al*., 2020).

این نتایج با مطالعات متعددی بر روی میوه‌های مختلف همخوانی دارد، که نشان‌دهنده اثربخشی گسترده متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک در کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ کیفیت پس از برداشت است. برای مثال، در میوه هلو، Zhu و همکاران (۲۰۲۲)، گزارش کردند که اعمال تیمار متیل جاسمونات پس از برداشت با بهبود چرخه آسکوربات- گلوتاتیون، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده و سطوح پراکسید هیدروژن و مالون دآلدهید را کاهش می‌دهد، که با کاهش ۳۳ درصدی مالون دآلدهید در تیمار ترکیبی ما مطابقت دارد. همچنین، Zhao و همکاران (۲۰۲۱)، نشان دادند که اسید سالیسیلیک با تنظیم متابولیسم ساکارز، آسیب سرمایی را در هلو کاهش می‌دهد و سطوح ROS را پایین می‌آورد، مشابه با کاهش میزان پراکسید هیدروژن در این پژوهش. در انگور، Nia و همکاران (۲۰۲۲) و Zebro و Heo (۲۰۲۴) گزارش کردند که تیمار پیش از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک عمر انبارمانی را با کاهش فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو و پراکسیداسیون لیپیدهای غشا بهبود می‌بخشد، که با نتایج ما در کاهش تنش اکسیداتیو همخوانی دارد. Hazarika و Marak (۲۰۲۲) نیز در انگور 'Thompson Seedless'، کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش کیفیت را با اسید سالیسیلیک و اسید اگزالیک مشاهده کردند، که مکانیسم مشابهی با تیمارهای ما نشان می‌دهد. در پسته، Gharibiyan و همکاران (۲۰۲۳) اثرات اسید سالیسیلیک را در بهبود وضعیت فیزیولوژیکی تحت تنش شوری گزارش کردند، که با نقش اسید سالیسیلیک در کاهش ROS در میوه هلو ما سازگار است. Yoshihiko و همکاران (۲۰۰۳)، در گلابی ژاپنی 'Kousui'، تحمل سرمایی را با مشتقات جاسمونات افزایش دادند، که با کاهش آسیب غشایی در تیمارهای ما همخوانی دارد. علاوه‌براین، Bagheri و Esna-Ashari (۲۰۲۲) در خرمالو، کاهش کیفیت ناشی از سرما را با متیل جاسمونات پس از برداشت مهار کردند، که با کاهش میزان پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدهای غش در هلو آلبرتا مطابقت دارد.

در میوه‌های دیگر مانند توت‌فرنگی (Babalar *et al.,*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]



شکل ۲- خلاصه گرافیکی تعدیل فعالیت پلی‌گالاکتوروناز و ارتقای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه هلو رقم آلبرتا با برهمکنش تیمارهای پیش و پس از برداشت متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک

(2007; El-Mogy *et al.*, 2019) کاهش تولید اتیلن و تنش اکسیداتیو را با اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات، گزارش کردند، که با حفظ یکپارچگی غشایی در پژوهش ما همسو است. در پرتقال خونی، برهمکنش پیش از برداشت و پس از برداشت اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات را در بهبود رنگ و کاهش ROS مشاهده کردند (Vithana *et al.*, 2024). مشابه با اثرات سینرژیستی در هلو رقم آلبرتا در تحقیق حاضر، در انار، افزایش کیفیت و ترکیبات آنتی اکسیدانی را با تیمار متیل جاسمونات پیش از برداشت گزارش شد (Garcia-Pastor *et al.*, 2020)، که با ارتقای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای ما همخوانی دارد. همچنین، Pan و همکاران (۲۰۲۰) و (۲۰۲۲) در کیوی و گیلاس، کاهش بیماری‌های پس از برداشت را با متیل جاسمونات نسبت دادند، که مکانیسم مشابهی با کاهش تنش اکسیداتیو در هلو نشان می‌دهد. این همخوانی‌ها تأکید می‌کند که تیمار اسید سالیسیلیک و متیل جاسمونات، از طریق تغییر مسیرهای سیگنالینگ مانند JA-signaling (Zhu *et al.*,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

2024) و پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی (Martinez *et al*., 2021; Wang *et al*., 2022)، ابزارهای مؤثری برای مدیریت کیفیت میوه‌ها هستند.

در نهایت، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استراتژی ترکیبی اعمال متیل‌جاسمونات به میزان ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر همراه با اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار در مرحله نوک‌سبزی جوانه، مؤثرترین رویکرد برای مهار تنش اکسیداتیو و حفظ کیفیت میوه هلو طی دوره انبارمانی است. این یافته‌ها علاوه بر ارائه بینشی روشن از مکانیسم‌های مولکولی مرتبط با پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی، کاربردهای عملی قابل توجهی برای باغبانی پایدار و مدیریت پس از برداشت ارائه می‌کند و پتانسیل تعمیم به سایر گونه‌های میوه‌ای را دارد. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی بر ژن‌های کلیدی مرتبط با آنتی‌اکسیدان‌ها مانند Amani و همکاران (۲۰۲۳)، تأثیرات طولانی‌مدت این تیمارها در شرایط میدانی متمرکز شود تا کارایی این استراتژی‌ها در عمل بهینه گردد.

نتیجه‌گیری

در نهایت، یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده یک پیشرفت چشمگیر در دنیای باغبانی است: تیمارهای پیش و پس از برداشت با متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک، مانند دو همراه قدرتمند، عمر انبارمانی میوه‌های هلو را به‌طور قابل ملاحظه‌ای طولانی‌تر می‌کنند و به کشاورزان و مصرف‌کنندگان کمک می‌کنند تا از میوه‌های تازه‌تر و با کیفیت‌تر لذت ببرند. در میان ترکیب‌های مورد آزمایش، ترکیب همزمان متیل‌جاسمونات در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسید سالیسیلیک در ۱ میلی‌مولار، همچون یک فرمول جادویی، برترین عملکرد را از خود نشان داد و بیشترین افزایش در ماندگاری را رقم هلوی آلبرتا البته سایر تیمارها نیز، نسبت به گروه کنترل، بهبودهای قابل توجهی ایجاد کردند و هیچ‌کدام را نباید دست‌کم گرفت. جالب‌تر اینکه، محلول‌پاشی در مرحله نوک‌سبزی جوانه‌ها در مقایسه با مرحله نوک‌صورتی جوانه‌ها یا تیمارهای پس از برداشت، به عنوان بهترین زمان اصلی ظاهر شد و بیشترین کارایی را در افزایش عمر انبارمانی هلوهای رقم آلبرتا به نمایش گذاشت. این نتایج نه تنها یک دستاورد علمی است، بلکه دریچه‌ای به سوی کاربردهای تجاری باز می‌کند: استفاده از متیل‌جاسمونات و اسید سالیسیلیک می‌تواند عمر قفسه‌ای میوه‌ها را به‌طور مؤثری افزایش دهد، ضایعات را کاهش دهد، سود اقتصادی را برای تولیدکنندگان بالا ببرد و در نهایت، کیفیت محصولات باغبانی را به سطحی بالاتر برساند جایی که تازه‌گی و طعم، بیش از همیشه، در دسترس همگان قرار گیرد.

منابع

رضایی، اشکان، و حاجیزاده، حنیفه (۱۳۹۹). تأثیر تیمارهای پس از برداشت گابا و اسید سالیسیلیک در کیفیت آنتی‌اکسیدانی و بازارپسندی توت‌فرنگی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۹(۳۸).

رمضانیان، اصغر، میردهقان، سیدحسین، و روشن ضمیر، نجمه (۱۳۹۳). بررسی کاربرد قبل از برداشت سالیسیلیک اسید و متیل جاسمونات بر ویژگی‌های کمی و کیفی گل رز شاخه بریده. *مجله به‌زراعی گیاهی*، ۱۶(۳)۵۷۳-۵۸۳.

Abbasi, N. A., Hafeez, S., & Tareen, M. J. (2010). Salicylic acid prolongs shelf life and improves quality of "Mari Delicia" peach fruit. *Acta Horticulturae, 880*, 191-197. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.880.21

Amani, G., Shamili, M., Imani, A., Mousavi, A., Rezai, H., & Daneshvar, S. (2023). Overexpression of genes related to the antioxidant responses and salt tolerance of almond (*Prunus dulcis*) scions. *Erwerbs-Obstbau, 65*, 1545-1555. https://doi.org/10.1007/s10341-023-00905-9

Amborabe, B. E. (2002). Antifungal effects of salicylic acid and benzoic acid derivatives towards *Eutypa lata*: Structure activity relationship. *Plant Physiology and Biochemistry, 40*, 1051-1060. https://doi.org/10.1016/S0981-9428(02)01470-5

Arora, A., Sairam, R. K., & Srivastava, G. C. (2002). Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current Science, 82*, 1227-1238. http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/40013

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

Arzani, K., Khoshghalb, H., Malakouti, M. J., & Barzegar, M. (2011). Total oxalate-soluble pectin concentration in Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.) fruit in relation to ripening, storage and internal browning disorder. *Journal of Agricultural Science and Technology, 13*, 611-627. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2011.13.4.1.0

Asghari, M, & Soleimani Aghdam, M. (2010). Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. *Trends in Food Science and Technology, 21*, 502-509. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.07.009

Asrey, R., Jain, R. K., & Singh, R. (2004). Effect of pre-harvest chemical treatment on shelf life of Chandler strawberry. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, *74*(9), 485-487. https://www.indianjournals.com

Awang, Y. B., Chuni, S. H., Mohamed, M. T. M., Hafiza, Y., & Mohamad, R. B. (2013). Polygalacturonase and pectin methylesterase activities of $CaCl_2$ treated red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) harvested at different maturity. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 8*(2), 167-172. https://doi.org/10.3844/ajabssp.2013.167.172

Ayala-Zavala, J. F., Wang, S. Y., Wang, C. Y., & Gonzalez-Aguilar, G. A. (2004). Methyl jasmonate in conjunction with ethanol treatment increases antioxidant capacity, volatile compounds and postharvest life of strawberry fruit. *LWT - Food Science and Technology, 37*, 687-695. https://doi.org/10.1007/s00217-005-0069-z

Babalar, M., Asghari, M., Talaei, A., & Khosroshahi, A. (2007). Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of Selva strawberry fruit. *Food Chemistry, 105*, 449-453. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.021

Baek, M. W., Choi, H. R., Yun, J. L., Kang, H. M., Lee, O. H., Jeong, C. S., & Tilahun, S. (2021). Preharvest treatment of methyl jasmonate and salicylic acid increase the yield, antioxidant activity and GABA content of tomato. *Agronomy*, *11*(11), 2293. https://doi.org/10.3390/agronomy11112293

Bagheri, M, & Esna-Ashari, M. (2022). Effects of postharvest methyl jasmonate treatment on persimmon quality during cold storage. *Scientia Horticulturae*, *294*, Article 110756. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110756

Bal, E, & Celik, S. (2010). The effect of postharvest treatments of salicylic acid and postharvest permanganate on the storage of kiwifruit. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *16*, 576-584. https://doi.org/12.1119/A.00251-0125.2010.05

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 maintains the quality of 'Kinnow' mandarin (*Citrus nobilis* L. × *C. deliciosa* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *161*, 1064. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111064

Beers, R. F, & Sizer, I. W. (1952). Colorimetric method for estimation of catalase. *Journal of Biological Chemistry*, *195*, 133-139. https://www.elsevier.com/support

Borsani, O., Valpuesta, V., & Botella, M. A. (2001). Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Physiology*, *126*, 1024-1030. https://doi.org/10.1104/pp.126.3.1024

Burdurla, H. S., Nuray, K., & Feryal, K. (2006). Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering*, *74*, 211-216. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.026

Cao, S., Zhang, G., Luo, Y., Qiu, J., Ba, L., Xu, S., Zhao, Z., Luo, D., Dong, G., & Ren, Y. (2025). Recent advances in postharvest physiology and preservation technology of peach fruit: A systematic review. *Horticulturae, 11*(9), 1007. https://doi.org/10.3390/horticulturae11091007

Chen, C., Sun, C., Wang, Y., Gong, H., Zhang, A., Yang, Y., Guo, F., Cui, K., Fan, X., & Li, X. (2023). The preharvest and postharvest application of salicylic acid and its derivatives on storage of fruit and vegetables: A review. *Scientia Horticulturae*, *312*, 111858. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111858

Chen, D., Liu, L., Gao, Z., Zhao, J., Yang, Y., & Shen, Z. (2025). Preservation of fruit quality at postharvest through plant-based extracts and elicitors. *Horticulturae, 11*(10), 1186. https://doi.org/10.3390/horticulturae11101186

Chen, Z., Jiang, J., Li, X., Xie, Y., Jin, Z., Wang, X., & Yang, W. (2021). Bioactive compounds and fruit quality of Chinese raspberry (*Rubus chingii* Hu) varied with genotype and phenological phase. *Scientia Horticulturae*, *281*, Article 109951. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109951

Ding, C. K., Wang, C. Y., Gross, K. C., & Smith, D. L. (2002). Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. *Planta*, *214*, 895-901. https://doi.org/10.1007/s00425-001-0698-9

El-Mogy, M. M., Rashad Ali, M., Saleh Darwish, O., & Roger, 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*(1), 1-11. https://doi.org/10.3233/JBR-180349

El-Tayeb, M. A. (2005). Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*, 45, 215-225. https://doi.org/10.1007/s10725-005-4928-1

El-Tayeb, M. A., EL-Enany, A. E., & Ahmed, N. L. (2006). Salicylic acid-induced adaptive response to copper stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant Growth Regulation*, *50*, 191-199. https://doi.org/10.1007/s10725-006-9118-2

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

Eraslan, F., Inal, A., David, J., & Gunes, A. (2008). Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Matador) grown under boron toxicity and salinity. *Plant Growth Regulation*, *55*, 207-219. https://doi.org/10.1007/s10725-008-9277-4

Felicetti, E. P, & Matheis, J. (2010). Quantification and histochemical localization of ascorbic acid in "Golden Delicious" and "Fuji" apple fruit during on-tree development and cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, *56*, 56-63. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.12.002

Garcia-Pastor, M. E., Serrano, M., Guillen, F., Gimenez, M. J., Martinez-Romero, D., Valero, D., & Zapata, P. J. (2020). Preharvest application of methyl jasmonate increases crop yield, fruit quality and bioactive compounds in pomegranate 'Mollar de Elche' at harvest and during postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *100*(1), 145-153. https://doi.org/10.1002/jsfa.10007

Gharib, A. E. L. (2007). Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *International Journal of Agricultural and Biology*, *2*, 294-301. https://doi.org/10.1001/j.1365-2621.1999.b15057

Gharibiyan, P., Roozban, M. R., Rahemi, M., & Vahdati, K. (2023). Exogenous salicylic acid improves growth and physiological status of two *Pistacia* species under salinity stress. *Erwerbs-Obstbau*, *65*, 1441-1452. https://doi.org/10.1007/s10341-023-00841-8

Girardi, C. L., Corrent, A. R., & Lucchetta, L. (2005). Effect of ethylene, intermittent warming and controlled atmosphere on postharvest quality and the occurrence of woolliness in peach (*Prunus persica* cv. Chiripa) during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, *38*, 25-33. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.05.007

Gulen, H., Consev, A., & Eris, A. (2009). Cold hardiness of olive (*Olea europaea* L.) cultivars in cold-acclimated and non-acclimated stages: Seasonal alteration of antioxidative enzymes and dehydrin-like proteins. *Journal of Agricultural Science*, 51-61. https://doi.org/10.1017/S0021859608008058

Hasan, M. U., Singh, Z., Shah, H. M. S., Woodward, A., & Afrifa-Yamoah, E. (2024). Methyl jasmonate advances fruit ripening, colour development, and improves antioxidant quality of 'Yoho' and 'Jiro' persimmon. *Food Chemistry*, 140360. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140360

Hazarika, T, & Marak, T. (2022). Salicylic acid and oxalic acid in enhancing the quality and extending the shelf life of grape cv. Thompson seedless. *Food Science and Technology International*, *28*(6), 463-475. https://doi.org/10.1177/10820132211020612

Heath, R. L, & Packer, L. (1969). Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archive of Biochemistry and Biophysiology*, *125*, 189-198. https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

Hou, J., Yan, D., Huang, M., Zeng, K., & Yao, S. (2022). Alteration of pectin metabolism in blood orange fruit (*Citrus sinensis* cv. Tarocco) in response to vesicle collapse. *Food Quality and Safety*, *6*, fyac050. https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac050

Huang, R., Xia, R., Yunmei, L., Liming, H., & Yongjie, X. (2008). Effect of pre-harvest salicylic acid spray treatment on post-harvest antioxidant in the pulp and peel of Cara navel orange (*Citrus sinensis* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *88*, 229-236. https://doi.org/10.1002/jsfa.3076

Imsabai, W., Ketsa, S., & Van Doorn, W. G. (2002). Effect of temperature on softening and the activities of polygalacturonase and pectinesterase in durian fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *26*, 347-351. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00067-4

Infante, R., Meneses, C., & Byrne, D. (2006). Present situation of peach breeding programs: Post-harvest and fruit quality assessment. *Acta Horticulturae*, *713*, 121-124. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.713.14

Kang, G. Z., Zhu, G. H., Peng, X. X., Sun, G. C., & Wang, Z. X. (2004). Isolation of salicylic acid-induction-expressed genes in chilling-stressed banana seedlings leaves using mRNA differential display. *Plant Physiology and Molecular Biology*, *30*, 225-228. https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0277

Kang, H. M, & Saltveit, M. E. (2002). Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedling leaves and roots are differentially affected by salicylic acid. *Physiology of Plant*, *115*, 571-576. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150411.x

Kaur, G., Tak, Y., & Asthir, B. (2022). Salicylic acid: A key signal molecule ameliorating plant stresses. *Cereal Research Communications*, *50*, 617-626. https://doi.org/10.1007/s42976-021-00236-z

Kazemi, M., Ran, M., & Zamani, S. (2011). Effect of salicylic acid treatments on quality characteristics of apple fruits during storage. *American Journal of Plant Physiology*, *6*(2), 113-119. https://doi.org/10.3923/ajpp.2011.113.119

Kelebek, H., Selli, S., Canbas, A., & Cabaroglu, T. (2009). HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic composition and antioxidant capacity of orange wine made from a Turkish cv. Kozan. *Microchemical Journal*, *91*, 187-192. https://doi.org/10.1016/j.microc.2008.10.008

Khademi, O., Zamani, Z., Mostofi, Y., Kalantari, S., & Ahmadi, A. (2012). Extending storability of persimmon fruit cv. Karaj by postharvest application of salicylic acid. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *14*, 1067-1074. http://doil.net/dor/20.1001.1.16807073.2012.14.5.15.3

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

Kochba, J., Lavee, S., & Spiegel-Roy, P. (1977). Differences in peroxidase activity and isoenzymes in embryogenic and non-embryonic "Shamouti" orange ovular callus lines. *Plant and Cell Physiology*, *18*, 463-497. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a075455

Kołton, A., Długosz-Grochowska, O., Wojciechowska, R., & Czaja, M. (2022). Biosynthesis regulation of folates and phenols in plants. *Scientia Horticulturae*, *291*, Article 110561. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110561

Koslanund, R., Archbold, D. D., & Pomper, K. W. (2005). Pawpaw (*Asimina triloba* L.) fruit ripening. Activity of selected cell-wall degrading enzymes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *130*(4), 643-648. https://doi.org/10.21273/JASHS.130.4.638

Krishna, H., Das, B., Attri, B. L., Kumar, A., & Ahmed, N. (2011). Interaction between different pre and postharvest treatments on shelf life expansion of "Oregon Spur" apple. *Fruits*, *67*(1), 31-40. DOI: 10.1051/fruits/2011068

Kumar, N., Tokas, J., Raghavendra, M., & Singal, H. R. (2021). Impact of exogenous salicylic acid treatment on the cell wall metabolism and ripening process in postharvest tomato fruit stored at ambient temperature. *International Journal of Food Science and Technology*, *56*, 2961-2972. https://doi.org/10.1111/ijfs.14936

Kumar, S, & Kaur, G. (2019). Effect of pre and post harvest applications of salicylic acid on quality attributes and storage behaviour of strawberry cv. Chandler. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *8*(4), 516-520. https://www.phytojournal.com/archives/2019/vol8issue4

Liu, J., Qiu, G., Liu, C., Li, H., Chen, X., Fu, Q., Lin, Y., & Guo, B. (2022). Salicylic acid, a multifaceted hormone, combats abiotic stresses in plants. *Life*, *12*(6), 886. https://doi.org/10.3390/life12060886

Lu, Z., Chen, C., & Xie, J. (2011). Effect of salicylic acid treatment on alleviating postharvest chilling injury of Qingnai plum fruit. *Postharvest Biology and Technology, 62*, 115-120. https://doi 10.1016/j.postharvbio.2011.05.012

Lu, K., Wu, X., Yuan, R., Yi, Y., Wang, L., Ai, Y., Wang, H., & Min, T. (2024). Mechanism of exogenous methyl jasmonate in regulating the quality of fresh-cut Chinese water chestnuts. *Frontiers in Plant Science, 15,* 1435066. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1435066

Lurie, S, & Crisosto, C. H. (2005). Chilling injury in peach and nectarine. *Postharvest Biology and Technology*, *37*, 195-208. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.04.012

Martinez, S., Valero, D., & Zapata, P. J. (2021). Enhancing antioxidant systems by preharvest treatments with methyl jasmonate and salicylic acid leads to maintain lemon quality during cold storage. *Food Chemistry*, *338*, 128044. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128044

Marzouk, H. A, & Kassem, H. A. (2011). Improving yield, quality and shelf life of Thompson seedless grapevine by preharvest foliar application. *Scientia Horticulturae*, *130*, 425-430. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.013

Meir, S., Philosoph-Hadas, S., Lurie, S., Droby, S., Akerman, M., Zauberman, G., Shapiro, B., Cohen, E., & Fuchs, Y. (2011). Reduction of chilling injury in stored avocado, grapefruit, and bell pepper by methyl jasmonate. *Canadian Journal of Botany*, *74*, 870-874. https://doi.org/10.1139/b96-108

Nia, A. E., Taghipour, S., & Siahmansour, S. (2022). Effects of salicylic acid preharvest and aloe vera gel postharvest treatments on quality maintenance of table grapes during storage. *South African Association of Botanists*, *147*, 1136-1145. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.05.010

Pan, L., Chen, X., Xu, W., Fan, S., Wan, T., Zhang, J., & Cai, Y. (2022). Methyl jasmonate induces postharvest disease resistance to decay caused by *Alternaria alternata* in sweet cherry fruit. *Scientia Horticulturae*, *292*, Article 110624. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110624

Pan, L., Zhao, X., Chen, M., Fu, Y., Xiang, M., & Chen, J. (2020). Effect of exogenous methyl jasmonate treatment on disease resistance of postharvest kiwifruit. *Food Chemistry*, *305*, Article 125483. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125483

Popova, L., Ananieva, E., Hristova, V., Christov, K., Georgieva, K., Alexieva, V., & Stoinova, Zh. (2003). Salicylic acid and methyl jasmonate-induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 133-152.

Rehman, M., Singh, Z., Khurshid, T., Malekipoor, R., & Tokala, V. Y. (2021). Preharvest spray application of methyl jasmonate promotes fruit colour and regulates quality in M7 Navel orange grown in a Mediterranean climate. *Australian Journal of Crop Science*, *15*(3), 387-393. https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.03.p2995

Sayari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Serrano, S., & Valero, D. (2009). Effect of salicylic acid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranate. *Postharvest Biology and Technology*, *53*, 152-154. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.03.005

Schweikert, C., Liszkay, A., & Schopfer, P. (2002). Polysaccharides degradation by Fenton reaction or peroxidase generated hydroxyl radicals in isolated plant cell walls. *Phytochemistry*, *61*, 31-35. https://doi.org/10.1016/s0031-9422(02)00183-8

Sen, F., Yilmaz, E., & Ozturk, B. (2024). Effects of 1-methylcyclopropene, methyl jasmonate and salicylic acid on physicochemical properties and wooliness of nectarine fruit during cold storage. *BMC Plant Biology*, *24*, 1205. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05939-z

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

Shafiq, M., Singh, Z., & Khan, A. S. (2013). Time of methyl jasmonate application influences the development of 'Cripps Pink' apple fruit colour. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 93*(3), 611-618. https://doi.org/10.1002/jsfa.5851

Shoaib Shah, H. M., Singh, Z., Hasan, M. U., Woodward, A., & Afrifa-Yamoah, E. (2025). Preharvest methyl jasmonate application delays cell wall degradation and upregulates phenolic metabolism and antioxidant activities in cold stored raspberries. *Food Chemistry*, *462*, 214-226. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141020

Singh, B, & Usha, K. (2003). Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulator*, *39*, 137-141. https://doi.org/10.1023/A:1022556103536

Sofo, A., Tuzio, A. C., Dichio, B., & Xiloyannis, C. (2005). Influence of water deficit and rewatering on the components of the ascorbate–glutathione cycle in four interspecific *Prunus* hybrids. *Plant Science*, *169*, 403-412. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.04.004

Song, W., Shao, H., Zheng, A., Zhao, L., & Xu, Y. (2023). Advances in roles of salicylic acid in plant tolerance responses to biotic and abiotic stresses. *Plants*, *12*(19), 3475. https://doi.org/10.3390/plants12193475

Suza, W. P., Avila, C., Carruthers, K., Kulkarni, S., Goggin, S. L., & Lorence, A. (2010). Exploring the impact of wounding and jasmonates on ascorbate metabolism. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*, 337-350. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.02.004

Tang, T., Zhou, H., Wang, L., Zhao, J., Ma, L., Ling, J., Huang, W., Li, P., & Zhang, Y. (2022). Post-harvest application of methyl jasmonate or prohydrojasmon affects colour development and anthocyanins biosynthesis in peach by regulation of sucrose metabolism. *Frontiers in Nutrition*, *9*, 871467. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.871467

Uemura, M. G. W, & Steponkus, P. L. (2003). Freezing sensitivity in the SFR4 mutant of *Arabidopsis* is due to low sugar content and is manifested by loss of osmotic responsiveness. *Plant Physiology*, *131*, 1800-1807. https://doi.org/10.1104/pp.102.013227

Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant system in acid rain treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, *151*, 59-66. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1

Vithana, M. D. K., Singh, Z., & Hasan, M. U. (2024). Pre- and post-harvest elicitation with methyl jasmonate and salicylic acid followed by cold storage synergistically improves red colour development in blood oranges. *Journal of Plant Growth Regulation*, *43*, 1657-1671. https://doi.org/10.1007/s00344-023-11212-8

Wang, C. Y. (2006). Reducing chilling injury and maintaining quality of horticultural crops with natural products and their derivatives. *Acta Horticulturae*, *712*, 285-290. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.712.31

Wang, C., Zhang, J., Xie, J., Yu, J., Li, J., Lv, J., Gao, Y., Niu, T., Pa, B., & Patience, E. (2022). Effects of preharvest methyl jasmonate and salicylic acid treatments on growth, quality, volatile components, and antioxidant systems of Chinese chive. *Crop and Product Physiology*, *12*, 767335. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.767335

Wang, H., Cheng, X., Wu, C., Fan, G., Li, T., & Dong, C. (2020). Retardation of postharvest softening of blueberry fruit by methyl jasmonate is correlated with altered cell wall modification and energy metabolism. *Scientia Horticulturae, 270*, 109752. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109752

Wang, J., Allan, A. C., Wang, W. Q., & Yin, X. R. (2022). The effects of salicylic acid on quality control of horticultural commodities. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *50*(2-3), 99-117. https://doi.org/10.1080/01140671.2022.2037672

Wang, S. Y., Shi, X. C., Liu, F. Q., & Laborda, P. (2021). Effects of exogenous methyl jasmonate on quality and preservation of postharvest fruits: A review. *Food Chemistry*, *353*, 129482. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129482

Wolucka, B. A., Goossens, A., & Inze, D. (2005). Methyl jasmonate stimulates the de novo biosynthesis of vitamin C in plant cell suspensions. *Journal of Experimental Botany*, *56*, 2527-2538. https://doi.org/10.1093/jxb/eri246

Xu, X, & Tian, S. (2008). Salicylic acid alleviated pathogen-induced oxidative stress in harvested sweet cherry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *49*, 379-385. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.02.003

Yao, H. J, & Tian, S. P. (2005). Effects of a biocontrol agent and methyl jasmonate on postharvest diseases of peach fruit and the possible mechanisms involved. *Journal of Applied Microbiology*, *98*, 941-950. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02531.x

Yoshihiko, S., Sugaya, S., Gemma, H., & Iwahori, S. (2003). Cold tolerance in 'Kousui' Japanese pear and possibility for avoiding frost injury by treatment with n-propyl dihydrojasmonate. *HortScience*, *38*(2), 288-292. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.2.288

Zebro, B. M, & Heo, J. Y. (2024). Salicylic acid treatment improves the shelf life and quality of ‘Cheonghyang’ grapes during cold storage. *South African Journal of Enology and Viticulture*, *45*(2), 58-68. https://doi.org/10.21548/45-2-6234

Zhang, G., Zhang, Y., Kou, X., Li, J., Luo, D., Huang, T., Wang, X., & Cao, S. (2024). Salicylic acid mitigates chilling injury to peaches by improving antioxidant capacity and energy metabolism. *Scientia Horticulturae, 338,* 113841.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113841

Zhang, K., Zhang, J., Zheng, T., Gu, W., Zhang, Y., Li, W., Zhou, P., Fang, Y., & Chen, K. (2024). Preharvest application of MeJA enhancing the quality of postharvest grape berries via regulating terpenes biosynthesis and phenylpropanoid metabolisms. *Food Chemistry, 438,* 137958. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137958

Zhao, Y., Song, C., Brummell, D. A., Qi, S., Lin, Q., Bi, J., & Duan, Y. (2021). Salicylic acid treatment mitigates chilling injury in peach fruit by regulation of sucrose metabolism and soluble sugar content. *Food Chemistry*, *358*, 129867. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129867

Zhao, Y., Song, C., Qi, S., Lin, Q., & Duan, Y. (2021). Jasmonic acid and salicylic acid induce the accumulation of sucrose and increase resistance to chilling injury in peach fruit. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, *101*(10), 4250-4255. https://doi.org/10.1002/jsfa.11064

Zhou, H. W., Lurie, S., Lers, A., Khatchitski, A., Sonego, L., & Ben Arie, R. (2000). Delayed storage and controlled atmosphere storage of nectarines: Two strategies to prevent woolliness. *Postharvest Biology and Technology*, *18*, 133-141. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00072-1

Zhu, L., Yu, H., Dai, X., Yu, M., & Yu, Z. (2022). Effect of methyl jasmonate on the quality and antioxidant capacity by modulating ascorbate-glutathione cycle in peach fruit. *Scientia Horticulturae*, *303*, Article 111216. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111216

Zhu, L., Yu, H., Xu, X., & Yu, Z. (2024). Postharvest application of methyl jasmonate inhibited ethylene biosynthesis and signaling in peach through activating the negative feedback of JA-signaling pathway. *Postharvest Biology and Technology*, *213*, 112965. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112965

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]

Modulation of polygalacturonase activity and enhancement of antioxidant capacity in 'Elberta' peach fruit by the interaction of preharvest and postharvest methyl jasmonate and salicylic acid treatments

Hamideh Mohammadi[1], Zahra Pakkish*[2] and Vahid Reza Saffari[3]

Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Abstract

Peach (*Prunus persica* L.) is a stone fruit with high nutritional and economic value, yet it is highly susceptible to chilling injury and postharvest decay. This study aimed to evaluate the effects of methyl jasmonate (100 and 200 mg L^{-1}), salicylic acid (1 and 2 mM), and different spraying timings (green tip, pink tip, and postharvest) on the physiological and antioxidant characteristics of 'Elberta' peaches. Results demonstrated that both pre- and postharvest treatments significantly improved fruit storability. The percentage of damaged fruits in the control at the green tip stage was 40.35%, whereas the combination of 200 mg L^{-1} methyl jasmonate and 1 mM salicylic acid reduced this to 9.22%, representing a 77% decrease compared to the control. Fruit firmness also increased to 2.77 kg cm^{-2}, approximately 15% higher than the control. Polygalacturonase activity in the control at the green tip stage was 4.93 units/g FW, while the same combined treatment reduced enzyme activity by 49.5%, showing the strongest inhibitory effect. Total soluble solids reached 20.83%, reflecting a 79% increase over the control, and vitamin C content increased by approximately 46%. Antioxidant enzyme activities, including catalase and peroxidase, increased by 14% and 43%, respectively, whereas hydrogen peroxide levels and membrane lipid peroxidation decreased by 54% and 33%. These findings indicate that preharvest application of methyl jasmonate in combination with salicylic acid, especially at the green tip stage, effectively mitigates oxidative stress, reduces membrane damage, and enhances postharvest longevity and fruit quality. Overall, the combination of 200 mg L^{-1} methyl jasmonate and 1 mM salicylic acid applied at the green tip stage was identified as the most effective strategy to improve both physicochemical quality and storability of 'Alberta' peaches, with significant implications for nutritional value and economic returns.

Keywords: Postharvest quality, Oxidative stress, Antioxidant enzymes, Fruit firmness, Lipid peroxidation, Plant hormone interactions

Received: Sep. 21, 2025; Revised: Nov. 24, 2025; Accepted: Feb. 10, 2026; Published Online: Oct. 30, 2026
*Corresponding Author: zahrapakkish@uk.ac.ir

Copyright © 2025 Iranian Society of Plant Physiology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.61]