

تأثیر اسیدسالیسیلیک و محلول فروت‌ست بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفیت انباری میوه هلو رقم اسپرینگ

لیلا عالی‌خاوی^۱، اصغر استاجی^{۲*}، علیرضا قنبری^۳ و علی سبحانی‌زاده^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۲۲)

چکیده

هلو از میوه‌های با ارزش مناطق معتدله است که به‌صورت تازه‌خوری و فرآوری مصرف می‌شود. ترکیبات بیوشیمیایی این میوه تحت تأثیر شرایط اقلیمی، رقم و تیمارهای مختلف تغییر می‌کند. در این پژوهش، اثر دو تیمار اسیدسالیسیلیک (در چهار سطح صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار) و محلول فروت‌ست (در دو سطح صفر و ۳ در هزار) بر کیفیت میوه هلو رقم اسپرینگ بررسی شد. آزمایش در سال ۱۴۰۲ در باغی واقع در مشکین‌شهر و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. محلول‌پاشی در سه مرحله پیش از تورم جوانه، اواسط گلدهی و تشکیل میوه انجام شد. پس از رسیدگی میوه‌ها، صفات فیزیکوشیمیایی آن‌ها ارزیابی گردید. همچنین برای بررسی کیفیت انباری، میوه‌ها در دمای ۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰ درصد تا ۲۰ روز نگهداری شدند. نتایج نشان داد تیمار اسیدسالیسیلیک در غلظت پایین و محلول فروت‌ست ۳ در هزار باعث افزایش سفتی بافت میوه شد. تیمار ۲ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک بیشترین وزن (۳۰۷/۸ گرم)، قطر (۶۰/۳ میلی‌متر)، قند کل (۱/۸۷ میلی‌گرم بر گرم) و فلاونوئید (۱/۸۳ میلی‌گرم بر گرم) را به همراه داشت. همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک افزایش یافت. در شرایط انباری، بیشتر صفات تا روز دهم روند افزایشی نشان دادند. تیمارهای اسیدسالیسیلیک و به‌ویژه فروت‌ست تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ماندگاری میوه‌ها داشتند و قابلیت بررسی بیشتر در پژوهش‌های آتی را دارند.

کلمات کلیدی: اسیدسالیسیلیک، فروت‌ست، کیفیت میوه، میوه هلو

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۴- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

* پست الکترونیک: aestaji@yahoo.com

مقدمه

هلو (*Prunus persica* L.) یکی از محصولات مهم مناطق معتدل جهان است که علاوه بر مصرف تازه‌خوری، در صنایع فرآوری نیز کاربرد گسترده دارد و از نظر اقتصادی و تغذیه‌ای ارزش بالایی دارد (کلی^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). میوه هلو از نوع شفت بوده و دارای سه لایه اندوکارپ (پوشش سخت دانه)، مزوکارپ (بخش خوراکی گوشتی) و اگزوکارپ (پوست) است. رشد میوه شامل دو مرحله رشد سریع اولیه، نهایی و یک مرحله رشد کند در زمان سخت‌شدن هسته می‌باشد (پی^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین شکل و اندازه میوه با تقسیم و بزرگ شدن سلولی کنترل می‌شود (هایدن^۳ و همکاران، ۱۹۹۷) و در ارقام مختلف به‌صورت گرد یا مسطح دیده می‌شود که اساس سلولی آن تفاوت در تعداد سلول‌ها در محور عمودی می‌باشد (لزلی^۴، ۱۹۳۹). گائو^۵ و همکاران (۲۰۱۲) اساس سلولی هلوهای مسطح و گرد را رنگ گوشت و پوست از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی هلو بوده که تحت تأثیر رنگدانه‌هایی مانند کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها قرار دارد. شرایط محیطی از جمله ارتفاع نیز می‌تواند موجب تغییر در تجمع این رنگدانه‌ها و افزایش رنگ‌پذیری میوه شود (آگیولار^۶ و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر رنگ، طعم و مزه نیز شاخص اصلی پذیرش مصرف‌کنندگان محسوب می‌شود که هم از نظر ژنتیکی کنترل‌شده و هم تحت عوامل محیطی و پس از برداشت دچار تغییر می‌گردد (براندی^۷ و همکاران، ۲۰۱۱). محیط‌های مرتفع، سرخ شدن پوست هلو و افزایش همزمان کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها را دو برابر می‌کنند (کاراگیانیس^۸ و همکاران، ۲۰۱۶). در فرآیند رشد میوه هلو، ویژگی‌های طعم و مزه بسیار مهم است. رسیدن به‌طور ژنتیکی تنظیم‌شده است هر چند که عوامل بیرونی سبب تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی میوه می‌شوند (سی‌مور^۹، ۲۰۱۳). با این حال، میوه هلو به‌دلیل رسیدن سریع و حساسیت به سرمازدگی در

شرایط نگهداری، دچار مشکلاتی چون کاهش عطر و طعم، آردی شدن بافت و کاهش بازارپسندی می‌شود (بروولی^{۱۰} و همکاران، ۱۹۹۸). بنابراین، یافتن راهکارهایی برای افزایش عمرانباری و حفظ کیفیت این میوه ضروری است.

در صنعت، برداشت معمولاً در بلوغ تجاری (بیش از ۵۰ درصد رنگ سرخ مایل به قرمز) صورت می‌گیرد که ماندگاری و قابلیت حمل و نقل بالاتری دارد. اما برداشت در بلوغ فیزیولوژیکی اگرچه ماندگاری کوتاه‌تری دارد، ولی از نظر ویژگی‌های حسی مانند شیرینی، آبداری و طعم، برای مصرف‌کننده مطلوب‌تر است (سالاری^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۲). این چالش، ضرورت بررسی راهکارهای مدیریتی مؤثر برای بهبود کیفیت و افزایش عمرانباری میوه‌های برداشت شده را دوچندان می‌سازد.

یکی از این راهکارها، استفاده از اسیدسالیسیلیک (SA) است که یک ترکیب فنلی و تنظیم‌کننده رشد در گیاهان بوده و در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نقش کلیدی دارد (چن^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۹؛ وانی^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۷). این ترکیب با کاهش سنتز اتیلن، حفظ سفتی بافت، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود مقاومت در برابر تنش‌ها، توانسته اثرات مثبتی بر ویژگی‌های پس از برداشت میوه‌ها داشته باشد (هیات^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۷). تیمار اسیدسالیسیلیک سیستم دفاعی میزبان را تقویت می‌کند و می‌تواند در برابر آسیب سرمایی نقش حفاظتی داشته باشد (زانگ^{۱۵} و همکاران، ۲۰۲۳؛ زائو^{۱۶} و همکاران، ۲۰۲۰). استفاده از تیمار اسیدسالیسیلیک قبل از انبارمانی در میوه‌های هلو با کاهش میزان پراکسیداسیون لیپیدها و نشت یون‌ها، سبب حفظ سلول‌ها بافت شده که به حفظ کیفیت و جلوگیری از خسارت‌های تنش در طی مدت انبارمانی میوه کمک می‌کند (اراسلان^{۱۷} و همکاران، ۲۰۰۸). تیمار میوه هلو با این ماده سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند

10. Brovelli
11. Salyari
12. Chen
13. Wani
14. Hayat
15. Zhang
16. Zhao
17. Eraslan

1. Kelley
2. Pei
3. Heyden
4. Lesley
5. Gao
6. Aguilar
7. Brandi
8. Karagiannis
9. Seymour

۵٪ روی کلاته، ۲٪ آمینو اسید، ۵٪ درصد فولویک اسید و ۵٪ درصد عصاره جلبک) در دو سطح (صفر و ۳ در هزار) بودند. محلول‌پاشی در سه مرحله قبل از تورم جوانه، گلدهی و تشکیل میوه انجام شد. سپس میوه‌های حاصل از هر تیمار طی یک مرحله برداشت شده و به سردخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی انتقال یافتند و پس از آن برای انجام آزمایشات به آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت منتقل شدند.

پس از انتقال به آزمایشگاه، پژوهش در قالب دو آزمایش مجزا انجام شد: آزمایش اول به منظور بررسی اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیوشیمیایی میوه‌ها بلافاصله پس از برداشت (زمان صفر انبارمانی) انجام گرفت. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد و صفات زیر اندازه‌گیری گردیدند: سفتی بافت، وزن میوه، قطر میوه، مواد جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیتراسیون، شاخص طعم، قند کل، فنل کل پوست و گوشت، فلاونوئید کل پوست و گوشت، پروتئین کل، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل آسکوربات‌پراکسیداز (APX)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POD) و کاتالاز (CAT) و نیز شاخص‌های رنگی. آزمایش دوم به منظور بررسی کیفیت انباری میوه‌ها در طول دوره‌ی نگهداری در سردخانه طراحی گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل تیمارهای محلول‌پاشی (همان ۸ ترکیب تیماری شامل چهار سطح اسیدسالیسیلیک و دو سطح فروت‌ست) و فاکتور دوم شامل زمان انبارمانی در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ روز) بود. میوه‌های مربوطه در سردخانه با دمای ۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ درصد نگهداری شدند و در زمان‌های مذکور، صفات شیمیایی (مواد جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیتراسیون و شاخص طعم)، بیوشیمیایی (فنل کل گوشت و پروتئین کل گوشت)، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و نیز تغییرات شاخص‌های رنگی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های کمی و کیفی

وزن و قطر میوه

آسکوربات‌پراکسیداز و گلوکاتینون ردوکتاز می‌شود (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۶). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تیمار میوه هلو با اسیدسالیسیلیک می‌تواند باعث کاهش افت وزن، کاهش فساد قارچی، افزایش سفتی بافت، بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی شود. برای نمونه، مطالعات انجام شده روی رقم Elberta نشان داد که غوطه‌وری میوه‌ها در محلول ۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک پس از برداشت، به‌طور معنی‌داری موجب بهبود ویژگی‌های انباری و کاهش فساد در مدت نگهداری شد (محمدی و همکاران، ۲۰۲۴).

محلول فروت‌ست به عنوان ترکیبی از ریزمغذی‌ها (کلسیم، بور، روی) و اسیدهای آمینه با نقش تغذیه‌ای خود می‌تواند در افزایش تشکیل میوه، بهبود رنگ‌پذیری، افزایش مواد جامد محلول و کاهش ضایعات انباری مؤثر باشد (ال-مگید و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات نشان داده است که فروت‌ست سبب کاهش ریزش برگ‌ها، میوه‌ها و افزایش میوه‌دهی می‌شود. همچنین استفاده از این محلول می‌تواند با بهبود تغذیه سلولی، نقش مؤثری در افزایش سفتی میوه، بهبود رنگ‌پذیری، افزایش مواد جامد محلول (TSS) و کاهش درصد پوسیدگی در انبار داشته باشد (ال-مگید و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به اهمیت تأمین عناصر غذایی و تقویت ساختار میوه، استفاده از فروت‌ست در کنار تیمار اسید سالیسیلیک می‌تواند رویکردی تلفیقی برای بهبود کیفیت و افزایش عمر انباری هلو داشته باشد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر این محلول‌ها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفیت انباری میوه هلو انجام شد تا علاوه بر تکمیل پیشینه موجود، راهکارهای کاربردی برای کاهش ضایعات پس از برداشت و افزایش ماندگاری این محصول ارزشمند ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲ روی رقم هلو اسپرینگ در باغی در مشکین‌شهر با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه شمالی و ۴۸ درجه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۱ متر انجام گرفت. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارها شامل اسیدسالیسیلیک در چهار سطح (صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌مولار) و محلول تجاری فروت‌ست (۷٪ نیتروژن،

اکی‌والان‌های کوئرتستین بر گرم وزن عصاره خشک بیان شد (چانگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۲).

استخراج پروتئین کل

استخراج پروتئین کل با استفاده از روش برادفورد صورت گرفت. برای تهیه معرف پروتئین برادفورد ۱۰۰ میلی گرم کوماسی برلیانت بلوجی را در ۵۰ میلی لیتر اتانول ۹۵٪ به مدت حداقل یک ساعت حل کرده، سپس ۱۰۰ میلی لیتر اسیدفسفریک ۸۵ درصد را قطره قطره اضافه و حجم محلول با آب مقطر به ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانده شد. محلول حاصل با کاغذ صافی صاف گردید. سپس پنج میلی لیتر معرف برادفورد را به همراه ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی مخلوط کرده و به خوبی ورتکس گردید و جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. غلظت بر اساس میلی گرم پروتئین در گرم وزن تر گیاهی بیان شد (برادفورد^۴، ۱۹۷۶).

اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

روش استخراج عصاره کل

برای سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ابتدا ۰/۲ گرم نمونه تر میوه در هاون چینی در مجاورت نیتروژن مایع پودر شد و با یک میلی لیتر بافر تریس-کلریدریک ۰/۰۵ مولار با pH=۷/۵ هموزن گردید. محلول حاصل را به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتیفریوژ کرده و محلول شناور رویی برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربیک پراکسیداز مورد استفاده قرار گرفت (اسچیاچی^۵ و همکاران، ۲۰۱۸).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، ۲/۵ میلی لیتر بافر تریس (۵۰ میلی مولار، pH=۷) و ۰/۳ میلی لیتر آب اکسیژنه (۵ میلی مولار) تهیه شده و سپس ۶۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حمام یخ به آن اضافه شد و میزان جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت شد. برای مقایسه فعالیت آنزیم نیز یک نمونه به‌عنوان شاهد استفاده شد که در این نمونه به

پس از اتمام دوره آزمایش، میوه‌ها از درختان چیده و سپس وزن و قطر میوه‌ها با ترازوی دیجیتالی و کولیس اندازه‌گیری شد.

سفتی میوه

برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه‌ها از دستگاه پنترومتر رومیزی و مجهز به پروپ با قطر ۱۰ میلی‌متر استفاده شد.

مواد جامد محلول کل و اسیدیت قابل تیتراسیون

برای اندازه‌گیری اسیدیت قابل تیتراسیون (TA) بعد از گرفتن عصاره میوه، اسیدیت میوه با استفاده از دستگاه pH متر تعیین گردید، شاخص طعم میوه یا نسبت قند به اسید که تعیین‌کننده طعم و مزه میوه‌ها است از طریق نسبت مواد جامد محلول کل به اسیدیت قابل تیتراسیون، ارزیابی شد. برای محاسبه میزان مواد جامد محلول کل، پس از له کردن گوشت میوه و صاف کردن عصاره حاصل، یک تا دو قطره از عصاره روی منشور دستگاه رفاکترومتر قرار داده و میزان انکسار نور به‌صورت درصد مواد جامد محلول (°Brix) بیان شد (حیدرنژاد و همکاران، ۲۰۲۳).

قند محلول

میزان قندهای محلول گیاه با استفاده از روش فنل اسید سولفوریک، اندازه‌گیری شد. از محلول‌هایی با غلظت صفر، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ میلی گرم بر ۱۰۰ میلی لیتر گلوکز برای تهیه منحنی استاندارد استفاده شد، مقدار قند محلول بر اساس میلی گرم بر گرم وزن خشک نمونه‌ها محاسبه گردید (گرزسزوک^۱ و همکاران، ۲۰۱۸).

محتوای فنل کل

مقدار کل ترکیبات فنلی موجود در عصاره گیاهی بر اساس روش موکرانی^۲ و همکاران (۲۰۱۶) اندازه‌گیری شد. جذب نمونه‌ها با منحنی استاندارد (بر حسب گالیک اسید) مقایسه و مقدار فنل کل هر محاسبه گردید.

فلانوئید کل

محتوای فلافانوئید کل بر اساس روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلراید انجام شد. از غلظت‌های مختلف کوئرتستین جهت رسم منحنی استاندارد استفاده شد و محتوای فلافانوئید به‌صورت

4. Bradford
5. Schiassi

1. Grzeszczuk
2. Mokrani
3. Chang

(کروما)، و H (هیو)، L (شاخص روشن و تیره بودن)، a (شاخص رنگ از سبز به قرمز) و b (شاخص رنگ آبی تا زرد) بودند. در فضای CIE LAB، دو مختصات a و b همراه با شاخص روشنائی L اندازه‌گیری شدند. مقدار a جزء قرمز-سبز رنگ را نشان می‌دهد، در حالی که پارامتر b تمایل به زرد و تمایل به آبی دارد. L مقدار تقریبی نور است که رنگ‌های روشن را از ۰ (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) متمایز می‌کند. H یک شاخص کیفیت رنگ است که یک رنگ را از رنگ دیگر بر اساس رنگ طبیعی رایج متمایز می‌کند (حیدرنژاد و همکاران، ۲۰۲۳)، (شکل ۱).

آنالیز آماری

داده‌های حاصل از این پژوهش توسط نرم‌افزار SPSS (نسخه 16) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای رسم نمودارها از برنامه اکسل استفاده گردید. مقایسات میانگین‌ها نیز از طریق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی

بررسی اثرات تیمارهای مورد استفاده بر میزان سفتی بافت میوه نشان داد که تیمار اسیدسالیسیلیک تا غلظت دو میلی مولار باعث افزایش سفتی میوه و در غلظت بالاتر، کاهش سفتی مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان شاخص سفتی بافت در میوه‌های هلو تیمار شده با تیمار فروت‌ست (FS) مشاهده شد. نتایج نشان داد استفاده از اسیدسالیسیلیک در غلظت دو میلی مولار تأثیر مثبتی بر میزان وزن و قطر میوه که بیشترین میزان وزن (۳۰۷/۸۶ گرم) و قطر میوه (۶۰/۳۰ میلی‌متر) در نمونه‌های تیمار شده با اسیدسالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۱). طی پژوهش حاضر تیمار با اسیدسالیسیلیک در غلظت‌های پایین و محلول فروت‌ست بالاترین سفتی را نشان دادند. اسیدسالیسیلیک به‌عنوان یک هورمون گیاهی، فرایندهای متابولیکی را تحت تأثیر قرار داده و موجب بهبود رشد میوه‌ها می‌گردد (زانگ و همکاران، ۲۰۲۲). تحقیقات نشان داده‌اند که این هورمون می‌تواند به بهبود کیفیت میوه‌ها

جای ۶۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی از بافر تریس-کلریدریک ۰/۰۵ مولار استفاده شد. فعالیت آنزیم بر اساس میزان تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه محاسبه گردید (اسچیاچی و همکاران، ۲۰۱۸).

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز ابتدا ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به ۲/۵ میلی‌لیتر محلول واکنش شامل تریس-کلریدریک ۱۰۰ میلی‌مولار، آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار و پیروگللال ۱۰ میلی‌مولار در حمام یخ اضافه شد و میزان تغییرات جذب در طول موج ۴۲۵ نانومتر قرائت شد. برای مقایسه فعالیت آنزیم نیز یک نمونه به‌عنوان شاهد استفاده شد که در این نمونه به جای ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی از بافر تریس-کلریدریک ۰/۰۵ مولار استفاده شد. فعالیت آنزیم بر اساس میزان تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه محاسبه گردید (اسچولز^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

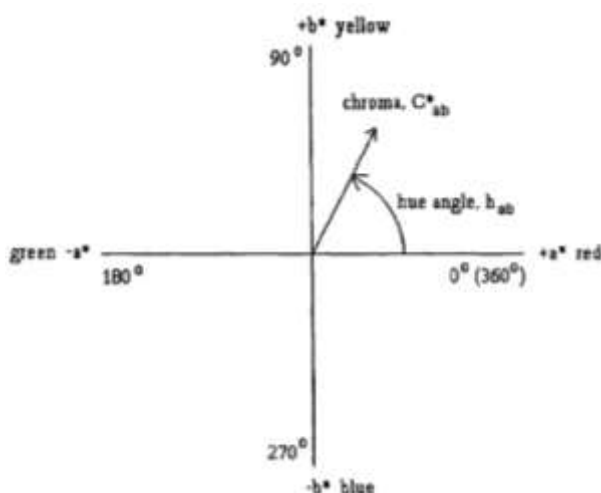
برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از روش شی^۲ و همکاران (۲۰۰۹) استفاده شد. اندازه‌گیری براساس توانایی آنزیم SOD در متوقف کردن احیاء فتو شیمیایی نیتروبلوترازولیوم (NBT) توسط رادیکال‌های سوپر اکسید در حضور ریبوفلاوین در نور صورت گرفت (شی و همکاران، ۲۰۱۵).

اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز

برای اندازه‌گیری این آنزیم، ۵۰ میکرولیتر از عصاره استخراج را با یک میلی‌لیتر محلول اندازه‌گیری آسکوربیک پراکسیداز که شامل ۵۰ میلی‌مول بافر فسفات پتاسیم pH=7، یک میلی‌مولار EDTA، ۰/۵ میلی‌مولار اسیدآسکوربیک (ASA) و ۰/۱۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن (H₂O₂) است مخلوط شد. سپس جذب آن را در طول موج ۲۹۰ نانومتر بعد از مدت یک دقیقه با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد (شی و همکاران، ۲۰۱۵).

رنگ‌سنجی

رنگ میوه‌های هلو از طریق رنگ‌سنج (Konica Minolta Inc., CR-10 plus, Tokyo, Japan) بلافاصله پس از برداشت میوه اندازه‌گیری شد. در این رنگ‌سنج ΔE (تفاوت رنگ)، C



شکل ۱- مختصات رنگ در سیستم CI با توجه به فاکتورهای مانند: L^* , a^* , b^* , C^* و H° (Marcus and Nassau, 1998)

جدول ۱- اثرات تیمارهای مورد استفاده بر خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی میوه‌های هلو رقم اسپریگ

تیمار	سفتی بافت (نیوتون)	وزن میوه (گرم)	قطر میوه (میلی‌متر)	مواد جامد محلول کل (درصد بریکس)	اسیدیته قابل تیتراسیون (%)	شاخص طعم
شاهد	۱۱/۲۶d	۲۵۳/۵۵c	۴۳/۲۳c	۷a	۰/۵۳۲b	۱۳/۲۱a
SA 1mM	۱۶/۲۶ab	۲۸۹/۲۰ab	۵۵/۳۶b	۶/۲۰ab	۰/۸۴۳a	۷/۳۷b
SA 2mM	۱۴/۴۰bc	۳۰۷/۸۶a	۶۰/۳۰a	۶/۰۲۰ab	۰/۶۳۶b	۹/۴۷b
SA 3mM	۱۲/۴۶cd	۲۶۶/۳۷bc	۵۷/۵۱ab	۵/۰۳۳b	۰/۵۹۱b	۸/۶۳b
FS	۱۷/۲۶a	۲۴۰/۹۷c	۵۵/۵۸b	۶/۲۱ab	۰/۶۲۰b	۱۰/۳۲ab

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند. SA (اسید سالیسیلیک)، FS (محلول فروت‌ست).

درصد) در نمونه‌های تیمار شده با اسیدسالیسیلیک در غلظت یک میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۱).

استفاده از تیمارهای اسیدسالیسیلیک و فروت‌ست تأثیر قابل توجهی بر میزان شاخص‌های بیوشیمیایی میوه‌های هلو داشت. افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک سبب افزایش میزان شاخص‌های قند کل، فنل و فلاونوئید در پوست میوه‌های هلو شد. بیشترین میزان قند کل (۱/۸۷ میلی‌گرم)، فنل (۱/۶۷ میلی‌گرم در گرم) و فلاونوئید (۰/۸۳ میلی‌گرم در گرم) در میوه‌های هلو تیمار شده با اسیدسالیسیلیک در غلظت دو میلی‌مولار مشاهده شد. این در حالی بود که بیشترین میزان قند کل و فنل تفاوت معنی‌داری با میزان این شاخص در نمونه‌های تیمار شده با اسیدسالیسیلیک در غلظت یک میلی‌مولار نداشت. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان فلاونوئید گوشت (۰/۵۲ میلی‌گرم در گرم) و فنل کل

و افزایش غلظت مواد مغذی در آنها کمک کند (تارین^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین، نتایج نشان می‌دهد که تیمار با فروت‌ست بالاترین سفتی بافت را در میوه‌ها ایجاد می‌کند که این امر به دلیل تأثیرات مثبت فروت‌ست بر توسعه ساختارهای سلولی می‌باشد (سوها^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین، استفاده از اسیدسالیسیلیک و فروت‌ست می‌تواند به بهبود کیفیت میوه‌های هلو کمک کند (جدول ۱).

صفات بیوشیمیایی

استفاده از اسیدسالیسیلیک و محلول فروت‌ست تأثیر زیادی بر میزان TSS و شاخص طعم در میوه‌های هلو نداشت، اما میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) تحت تأثیر غلظت پایین اسیدسالیسیلیک قرار گرفت. بیشترین میزان مواد جامد محلول (TSS) (۷ درصد) و شاخص طعم (۱۳/۲۱) در نمونه‌های شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان TA (۰/۸۴۳)

گوشت (۰/۷۰۳ میلی گرم در گرم) در میوه‌های تیمار شده با فروت‌ست مشاهده شد (جدول ۲). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تیمار میوه‌های هلو با اسیدسالیسیلیک و فروت‌ست تأثیر مثبت بر ویژگی‌های بیوشیمیایی آنها داشت. افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک منجر به بالاترین مقادیر قند، فنل و فلاونوئید در پوست میوه‌ها شد. اسیدسالیسیلیک ممکن است از طریق القای

آنزیم‌های کلیدی PAL و SOD روی مسیر فنیل پروپانویید تأثیر بگذارد که منجر به تجمع فنل می‌شود. مطالعات متعدد سطوح بالاتری از ترکیبات فنلی کل و فلاونوئیدها را در میوه‌های مختلف تیمار شده با اسیدسالیسیلیک، مانند گیلاس (زانگ و همکاران، ۲۰۲۳)، هلو (چن و همکاران، ۲۰۰۹) و سیب (سی مور و همکاران، ۲۰۱۳) گزارش کرده‌اند. تیمارهای اسیدسالیسیلیک همچنین سطوح آنتوسیانین را در سیب (سی مور و همکاران، ۲۰۱۳)، گیلاس (تووان^۱ و همکاران، ۲۰۱۵) و تمشک (آگیولار و همکاران، ۲۰۲۳) و سطح فلاونوئیدها را افزایش می‌دهند (جدول ۲).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

غلظت‌های مختلف اسیدسالیسیلیک و محلول فروت‌ست سبب تغییراتی در میزان پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی داشت. به‌طوری که افزایش غلظت سالیسیلیک اسید سبب افزایش میزان پروتئین و فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پروکسیداز (APX) و سوپراکسیددسموتاز (SOD) در میوه‌های هلو شد. این در حالی بود که افزایش میزان اسیدسالیسیلیک و استفاده از محلول فروت‌ست میزان فعالیت آنزیم‌های پروکسیداز (POD) و کاتالاز (CAT) را کاهش داشت (جدول ۳). از این رو بیشترین میزان پروتئین (۱/۰۷۹) در نمونه‌های تیمار شده با سالیسیلیک‌اسید در غلظت سه میلی‌مولار مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با میزان این شاخص در نمونه‌های تیمار شده با اسیدسالیسیلیک در غلظت سه میلی‌مولار نداشت (جدول ۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم SOD (۰/۰۳۶۹) و آنزیم APX (۰/۲۷۲) به‌ترتیب در نمونه‌های تیمار شده با سالیسیلیک‌اسید در غلظت یک و دو میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم POD

تغییرات رنگ میوه

نتایج حاصل از اثرات اسیدسالیسیلیک و محلول فروت‌ست بر میزان تغییرات رنگ میوه‌های هلو نشان داد که با وجود افزایش میزان شاخص‌های رنگی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف اسیدسالیسیلیک، بیشترین میزان شاخص‌های رنگی ΔL° (۳۵/۵۷۰)، Δa° (۱۹/۶۱۰)، Δb° (۳۰/۰۰۳)، ΔC° (۳۲/۹۸۰) و ΔH° (۴/۶۴۰) در نمونه‌های شاهد مشاهده شد (جدول ۴).

بررسی کیفیت انبارمانی

نتایج آزمایش نشان داد که میزان مواد جامد محلول در هر دو تیمار اسیدسالیسیلیک و فروت‌ست تا روز دهم انبارمانی افزایش یافته و سپس در روز بیستم اندکی کاهش داشت. شاخص طعم میوه نیز طی دوره انبارداری روند افزایشی نشان داد که این تغییر در تیمار فروت‌ست برجسته‌تر بود. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی APX و POD تا روز دهم افزایش داشت و بیشترین شدت افزایش در میوه‌های تیمار شده با اسیدسالیسیلیک ۲ میلی‌مولار مشاهده شد. شاخص‌های رنگ میوه نیز به‌ویژه در تیمار اسیدسالیسیلیک افزایش داشت و تیمار یک میلی‌مولار بهترین نتیجه را در شاخص کرومای رنگ به همراه داشت. همچنین میزان پروتئین و فنل کل در میوه‌ها تا روز دهم افزایش یافته و سپس کاهش یافت. در مجموع هر دو تیمار تأثیر مثبتی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی داشتند، اما تیمار فروت‌ست در افزایش شاخص طعم و فنل و اسید سالیسیلیک در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و شاخص رنگ برتری نشان دادند (شکل ۴).

نتایج آزمایش نشان داد که میزان مواد جامد محلول کل در هر دو تیمار اسیدسالیسیلیک و فروت‌ست تا روز دهم انبارمانی روند افزایشی داشته و سپس در روز بیستم کاهش جزئی یافته است (شکل ۴). این الگو نشان‌دهنده تأثیر مثبت تیمارها بر تجمع قندهای محلول در مراحل اولیه نگهداری میوه و نقش محدودتر آنها در مراحل پایانی دوره انبارمانی است. افزایش TSS تا روز دهم را می‌توان به فعال‌سازی تدریجی فرایندهای

تجزیه نشاسته به قندهای ساده (نظیر ساکارز، گلوکز و فروکتوز) در نتیجه رسیدگی کامل میوه نسبت داد. در تیمار با اسیدسالیسیلیک، گزارش شده که این ترکیب با کاهش سرعت تنفس و سنتز اتیلن، روند رسیدگی را کند می‌کند به‌طوری‌که سنتز قندها در مدت بیشتری صورت می‌گیرد و باعث افزایش تدریجی TSS می‌شود (محمدی و همکاران، ۲۰۲۴؛ تارن و همکاران، ۲۰۱۲). اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد، می‌تواند فعالیت آنزیم‌هایی مانند مالات‌دهیدروژناز و سیترات سنتاز را کنترل کرده و از مصرف سریع اسیدهای آلی در مسیر تنفسی جلوگیری کند.

جدول ۲- اثرات تیمارهای مورد استفاده بر میزان قند، فنل و فلاونوئید کل پوست و گوشت میوه‌های هلو رقم اسپریگ

تیمار	قند کل (میلی گرم در گرم)	فنل کل گوشت (میلی گرم در گرم)	فنل کل پوست (میلی گرم در گرم)	فلاونوئید کل گوشت (میلی گرم در گرم)	فلاونوئید کل پوست (میلی گرم در گرم)
شاهد	۰/۸۲bc	۰/۲۸c	۱/۰۹bc	۰/۱۳۲c	۰/۵۴bc
SA 1Mm	۰/۷۸c	۰/۳۱cd	۱/۵۵ab	۰/۱۷۴bc	۰/۶۸ab
SA 2mM	۱/۱۷a	۰/۳۷bc	۱/۶۵a	۰/۱۸۸bc	۰/۷۳ab
SA 3mM	۱/۸۷a	۰/۴۲b	۱/۶۷a	۰/۲۸۴b	۰/۸۳a
FS	۱/۱۵ab	۰/۷۰a	۱/۶۰ab	۰/۵۲a	۰/۷۴ab

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند. SA (اسید سالیسیلیک)، FS (محلول فروت‌ست).

جدول ۳- تغییرات میزان پروتئین کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر تیمارهای مورد استفاده در درختان هلو رقم اسپریگ

تیمار	پروتئین کل	APX	SOD	POD	CAT
شاهد	۰/۷۰۴b	۰/۰۲۵b	۰/۱۰۴d	۰/۰۱۳a	۰/۱۲۸a
SA 1Mm	۱/۰۰۲ab	۰/۰۷۲a	۰/۰۱۳ac	۰/۰۱۰۸ab	۰/۱۲ab
SA 2Mm	۱/۰۷a	۰/۰۶۴ab	۰/۰۳۶۹a	۰/۰۰۷۶ab	۰/۱۱۶b
SA 3mM	۱/۰۷۹a	۰/۰۲۸۱b	۰/۰۱۷۵b	۰/۰۰۵۹b	۰/۱۱۶b
FS	۱/۰۳ab	۰/۰۲۱b	۰/۰۱۷۸b	۰/۰۰۵۳b	۰/۰۷۷c

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند. SA (اسید سالیسیلیک)، FS (محلول فروت‌ست).

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین اثرات تیمارهای مورد استفاده بر میزان تغییرات شاخص‌های رنگی در میوه‌های هلو رقم اسپریگ

تیمار	ΔL°	Δa°	Δb°	ΔC°	ΔH°
شاهد	۳۵/۵۷a	۱۹/۶۱a	۳۰/۰۰۳a	۳۲/۹۸a	۴/۶۴a
SA 1Mm	۲۲/۲۵b	۱۷/۹۳ ab	۲۲/۹۶bc	۲۵/۶۰c	۱/۱۵۰bc
SA 2Mm	۲۸/۰۳۳ab	۱۷/۹۷ab	۱۷/۷۵c	۲۸/۷۵bc	۱/۳۳b
SA 3Mm	۲۹/۲۲ab	۱۶/۵۳ab	۲۴/۱۱ab	۳۰/۴۳ab	۱/۴۴ab
FS	۲۹/۰۵ab	۹/۴۶b	۲۴/۴۷ab	۳۲/۲۷a	۲/۳۵ab

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند. SA (اسید سالیسیلیک)، FS (محلول فروت‌ست).

در نتیجه، تجمع موقت اسیدهای آلی از جمله مالیک و سیتریک‌اسید ممکن است منجر به افزایش TA گردد (محمدی و همکاران، ۲۰۲۴). از سوی دیگر، تیمار فروت‌ست که حاوی عناصر تغذیه‌ای مانند کلسیم، بور و روی به همراه اسیدهای آمینه است از طریق بهبود عملکرد فتوسنتزی و انتقال بهتر مواد فتوسنتزی به میوه، می‌تواند باعث افزایش TSS گردد. این اثر به‌ویژه زمانی که تیمار قبل از برداشت انجام شود، مؤثرتر است (ال-مگید، ۲۰۱۷). کاهش جزئی TSS در روز بیستم می‌تواند ناشی از افزایش مصرف قندها در مسیرهای

تنفسی در مراحل پایانی انبارمانی باشد. با کاهش ذخایر انرژی در بافت‌های میوه، متابولیسم قندها برای تأمین ATP افزایش می‌یابد که منجر به کاهش تدریجی TSS می‌شود. با این حال، چون کاهش مشاهده شده جزئی بوده، نشان می‌دهد که هر دو تیمار توانسته‌اند، کیفیت قندی میوه را تا حد قابل قبولی حفظ کنند (تارن و همکاران، ۲۰۱۲).

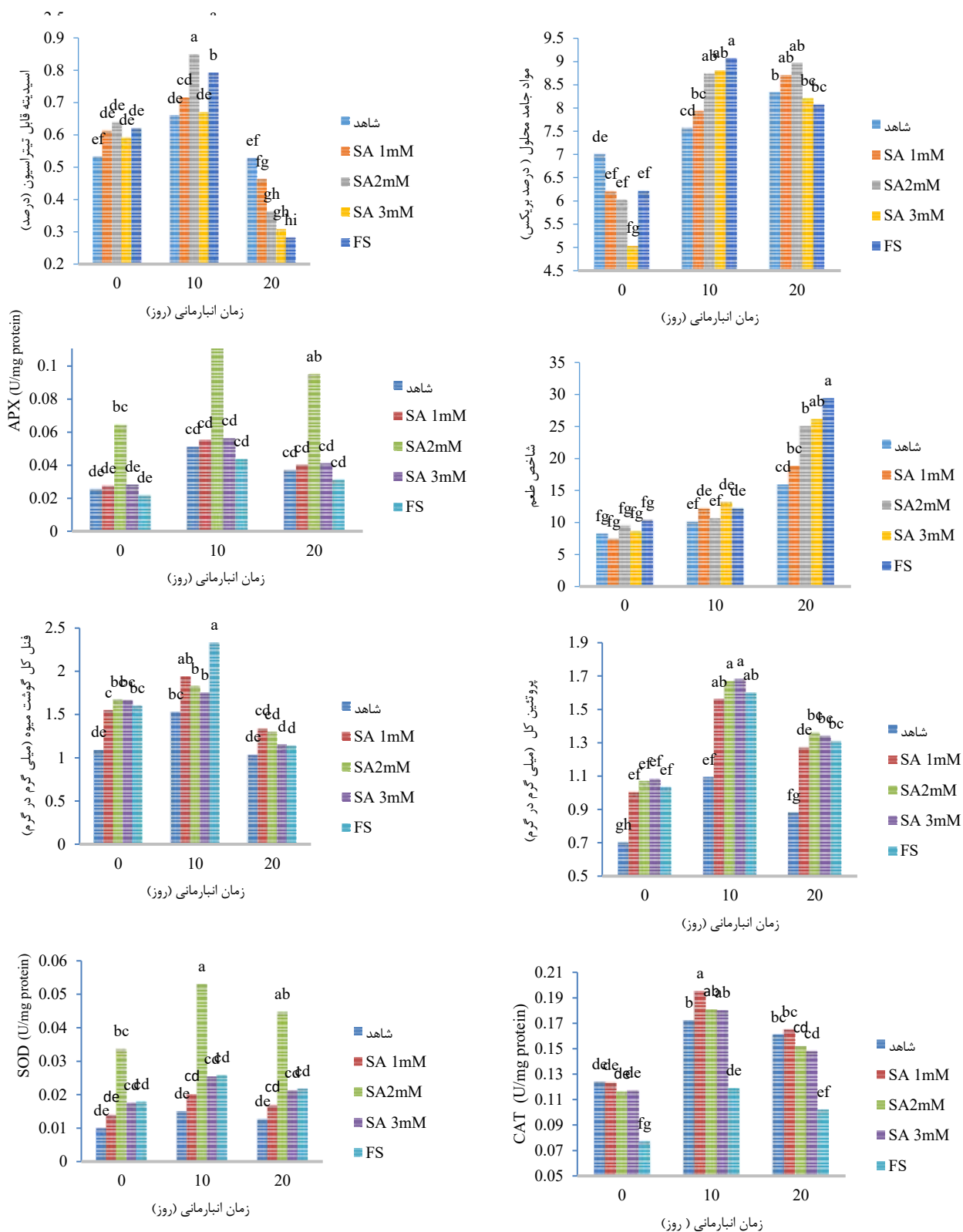
می‌تواند ناشی از در معرض قرار گرفتن میوه برداشت شده با تنش‌های مختلف مانند تنفس بالا، کمبود مواد مغذی، تغییرات دما و رطوبت باشد. در این شرایط، سلول‌ها برای مقابله با تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهند. تیمارهایی مانند اسید سالیسیلیک یا فروت‌ست می‌توانند به‌عنوان سیگنال‌های تنظیمی عمل کرده و بیوسنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را فعال نمایند. به‌ویژه اسید سالیسیلیک که با فعال‌سازی مسیرهای سیگنال‌دهی مقاومت (مانند مسیر NPR1)، فعالیت CAT، SOD و POD را افزایش می‌دهد. با گذشت زمان و افزایش مدت انبارمانی، توانایی دفاعی سلول‌ها کاهش می‌یابد. تخریب غشاها و ساختارهای سلولی موجب کاهش فعالیت آنزیم‌ها می‌شود (اصغری و اقدام^۱، ۲۰۱۰).

نتایج بدست آمده نشان داد که میزان پروتئین در طی انبارمانی میوه‌های هلو تا روز دهم روندی افزایشی در همه تیمارها داشته ولی بعد از آن به‌صورت کاهشی بوده است (شکل ۴). تیمار اسیدسالیسیلیک توانست تأثیر مثبتی بر میزان پروتئین داشته باشد. محتوای پروتئین میوه در اوایل انبارمانی بیشترین مقدار را دارد، چرا که بافت‌های سلولی هنوز فعال و زنده‌اند و فرآیندهای زیستی مثل سنتز آنزیم‌ها و پروتئین‌های ساختاری در حال انجام است. معمولاً با گذشت زمان، میزان پروتئین به‌دلایلی مانند تجزیه پروتئین‌ها توسط آنزیم‌ها و تخریب غشاها و ساختارهای سلولی که موجب نشت پروتئین‌ها در فرآیند پیری سلولی می‌شود کاهش می‌یابد. تیمارهایی مانند اسیدسالیسیلیک می‌توانند از طریق کاهش تنفس و جلوگیری از تجزیه سریع پروتئین‌ها، کاهش شاخص پروتئین را کندتر کنند.

تیمار فروت‌ست نیز ممکن است به‌صورت غیرمستقیم و از طریق بهبود سلامت سلولی و تعادل تغذیه‌ای در حفظ ساختارهای پروتئینی مؤثر باشد (تارن و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج بدست آمده نشان داد که محتوی فنل کل در طی انبارمانی میوه‌های هلو تا روز دهم روندی افزایشی داشته و پس از آن کاهش یافته است. هم تیمار فروت‌ست و هم اسید سالیسیلیک تأثیر مثبتی بر میزان فنل میوه داشته ولی تأثیر تیمار فروت‌ست بیشتر بوده است (شکل ۴). این الگو نشان

معمولاً به‌صورت نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون (TSS/TA) محاسبه می‌شود و نشان‌دهنده تعادل بین قندها و اسیدهای آلی در میوه است که بر کیفیت مصرفی و بازاریابی میوه مؤثر است. در تیمار فروت‌ست با فراهم‌سازی عناصر تغذیه‌ای کلیدی مانند بور، کلسیم و روی، موجب بهبود فتوسنتز و انتقال بهتر کربوهیدرات‌ها به میوه می‌شود که نتیجه آن افزایش قندهای محلول و در نتیجه افزایش TSS است. در حالی که TA معمولاً در طی انبارمانی کاهش می‌یابد، تیمار فروت‌ست به‌دلیل بهبود شرایط فیزیولوژیکی سلول‌ها، ممکن است این کاهش را آهسته‌تر کرده و نسبت TSS/TA را در تعادلی مطلوب نگه دارد. در واقع افزایش تدریجی شاخص طعم تا روز بیستم در این تیمار، نشان می‌دهد که فروت‌ست نه تنها در حفظ کیفیت ظاهری میوه بلکه در ارتقاء کیفیت حسی نیز مؤثر بوده است. بالا بودن شاخص طعم معمولاً به معنی شیرینی بیشتر، ترشی ملایم‌تر و طعم دلپذیرتر است که برای مصرف‌کنندگان اهمیت زیادی دارد (اسمت و جوهانسون، ۲۰۲۳).

طی بررسی نتایج اثرات متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر میزان فعالیت آنزیم‌های APX و POD مشاهده شد که فعالیت این آنزیم طی انبارمانی تا روز دهم روندی افزایشی داشت که این افزایش در میوه‌های تیمار شده با اسید سالیسیلیک در غلظت دو میلی‌مولار نسبت به سایر تیمارها شدیدتر بود (شکل ۴). همچنین میزان فعالیت این دو آنزیم بعد از روز دهم تا بیستم روندی کاهشی داشت که این کاهش در میوه‌های شاهد نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. بیشترین میزان فعالیت آنزیم APX (۰/۰۵۵) و بیشترین میزان فعالیت آنزیم SOD (۰/۰۵۳) در میوه‌های تیمار شده با اسیدسالیسیلیک در روز دهم از انبارمانی مشاهده شد. کمترین میزان فعالیت این آنزیم APX در میوه‌های تیمار شده با محلول فروت‌ست و کمترین میزان فعالیت آنزیم SOD در نمونه‌های شاهد و در زمان صفر مشاهده شد. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش کلیدی در حفاظت سلول‌های میوه در برابر تنش اکسیداتیو به‌ویژه در دوره پس از برداشت و طی انبارمانی دارند. در این پژوهش، مشاهده شد که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تا روز دهم انبارمانی روندی افزایشی داشته و سپس تا روز بیستم کاهش جزئی نشان داده است که

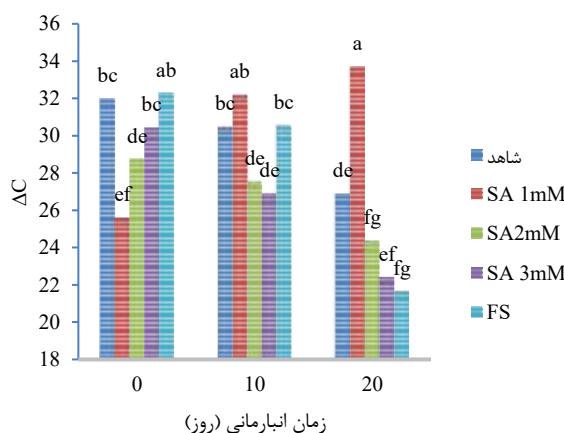


شکل ۴- تغییرات محتوی مواد جامد محلول کل، اسیدیته قابل تیتراسیون، شاخص طعم، فنل کل، پروتئین کل گوشت، آنزیم‌های APX، CAT و SOD در میوه‌های هلو رقم اسپرینگ تحت تیمارهای سالیسیلیک‌اسید و فروت‌ست طی ۲۰ روز انبارمانی. میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند

ترکیبات فنلی توسط آنزیم‌هایی مانند پلی‌فنل‌اکسیداز و افزایش فعالیت تنفسی و تخریب ساختار سلولی در مراحل بعدی انبارمانی باشد (اسمیت و جوهانسون، ۲۰۲۳).

بر اساس نتایج بدست آمده شاخص‌های مرتبط با رنگ ظاهری میوه در طی انبارداری بویژه در تیمار اسیدسالیسیلیک روندی افزایش داشته و شاخص کرومای رنگ نیز در تیمار اسیدسالیسیلیک یک میلی‌مولار بهترین نتیجه را به همراه داشته است (شکل ۵). شاخص کرومای رنگ که نشان‌دهنده شدت یا خلوص رنگ میوه است، در طی دوره انبارمانی هلو معمولاً روندی کاهشی دارد. این کاهش به‌طور مستقیم با تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بافت میوه در ارتباط است و به دلیل تجزیه رنگدانه‌ها، اکسیداسیون، پلاستیکی بافت و کاهش شدت رنگ سطحی میوه اتفاق می‌افتد (چن و همکاران، ۲۰۰۹) که در تیمارهای شاهد این روند مشخص شده است ولی تیمار اسیدسالیسیلیک توانست سبب افزایش شاخص کرومای رنگ گردد.

دهنده پاسخ اولیه میوه به تنش‌های پس از برداشت و شرایط نگهداری است، چرا که ترکیبات فنلی نقش کلیدی در مقابله با تنش‌های اکسیداتیو و حفظ کیفیت میوه دارند. افزایش اولیه فنل احتمالاً ناشی از فعال‌شدن مسیرهای بیوسنتز ترکیبات فنلی در واکنش به تنش، به‌ویژه تحت تأثیر تیمارهای پس از برداشتی مانند اسیدسالیسیلیک و محلول فروت‌ست بوده است. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که پس از آن کاهش یافته است. می‌تواند بیان ژن‌های مرتبط با سنتز فنولیک‌ها را تحریک کند (اصغری و اقدام، ۲۰۱۰). در این آزمایش هر دو تیمار فروت‌ست و SA باعث افزایش معنی‌دار محتوای فنل نسبت به شاهد شدند، اما تیمار فروت‌ست تأثیر قوی‌تری نشان داد. این امر ممکن است به دلیل تأثیر عناصر ریزمغذی مانند بور و روی بر فعالیت آنزیم‌های کلیدی در مسیر فنل‌سازی باشد. همچنین ترکیبات موجود در فروت‌ست می‌توانند به حفظ سلامت سلولی و تحریک مکانیسم‌های دفاعی کمک کنند که در نهایت به افزایش محتوای فنلی منجر می‌شود. کاهش فنل پس از روز دهم می‌تواند ناشی از اکسیداسیون



شکل ۵- تغییرات رنگ در میوه‌های هلو رقم اسپرینگ تحت تیمارهای سالیسیلیک اسید و فروت‌ست طی ۲۰ روز انبارمانی. میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند

سالیسیلیک و تیمار فروت‌ست مشاهده شد. همچنین، غلظت دو میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک بالاترین وزن و قطر میوه‌ها را به همراه داشت، بنابراین جهت توصیه به باغداران این تیمار مناسب‌تر خواهد بود. این یافته‌ها اهمیت ویژه‌ای در بهبود کیفیت میوه‌ها دارند، زیرا سفتی بافت و اندازه میوه از عوامل

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه به بررسی تأثیرات تیمارهای اسیدسالیسیلیک و محلول فروت‌ست بر سفتی بافت، ویژگی‌های فیزیکی و بیوشیمیایی میوه‌های هلو پرداخته است. نتایج نشان‌دهنده افزایش سفتی بافت میوه در غلظت‌های پایین اسید

بهینه‌سازی روش‌های کشت و افزایش کیفیت محصول استفاده شود. به‌طور کلی، این پژوهش به درک بهتر تأثیرات تیمارهای شیمیایی بر کیفیت میوه‌ها کمک کرده و می‌تواند به توسعه روش‌های جدید در کشاورزی پایدار منجر شود.

تقدیر و تشکر

برخود لازم می‌دانم از زحمات دکتر بهروز اسماعیل‌پور و دکتر بهنام فیروزی که ما را در انجام این پایان‌نامه کمک نمودند، کمال تشکر را داشته باشم.

کلیدی در پذیرش بازار و ارزش غذایی محسوب می‌شوند. علاوه بر این، تأثیر اسیدسالیسیلیک بر اسیدیته قابل تیتراسیون نشان می‌دهد که این ترکیب می‌تواند به بهبود طعم و کیفیت میوه‌ها کمک کند. همچنین، افزایش قند کل، فنل و فلاونوئید کل پوست در اثر تیمارهای مختلف، نشان‌دهنده پتانسیل این ترکیبات در ارتقاء ارزش غذایی میوه‌ها است. از طرفی، تغییرات مثبت در پروتئین کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز بر اهمیت استفاده از اسیدسالیسیلیک در فرآیندهای کشاورزی تأکید دارد. این مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک راهنما برای کشاورزان و تولیدکنندگان میوه در

منابع

- Abd El-Megeed, N.A. and Medan, R.A. 2017. Effect of foliar application of boron and calcium on yield and fruit quality of 'Desert Red' peach trees. *Journal of Plant Production*, 8(4): 491-496.
- Asghari, M. and Aghdam, M.S. 2010. Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. *Trends in Food Science and Technology*, 21(10): 502-509.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
- Brandi, F., Bar, E., Mourgues, F., Horváth, G., Turcsi, E., Giuliano, G., Liverani, A., Tartarini, S., Lewinsohn, E. and Rosati, C. 2011. Study of Redhaven'peach and its white-fleshed mutant suggests a key role of CCD4 carotenoid dioxygenase in carotenoid and norisoprenoid volatile metabolism. *BMC Plant Biology*, 11(1): 24.
- Brovelli, E.A., Brecht, J.K., Sherman, W.B. and Sims, C.A. 1998. Anatomical and physiological responses of melting- and nonmelting-flesh peaches to postharvest chilling. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(4): 668-674.
- Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M. and Chern, J.C. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3): 178-182.
- Chen, Z., Zheng, Z., Huang, J., Lai, Z. and Fan, B. 2009. Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 4(6): 493-496.
- Eraslan, F., Inal, A., Pilbeam, D.J. and 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(3): 207-219.
- Gao, Z., Zhuang, W., Wang, L., Shao, J., Luo, X., Cai, B. and Zhang, Z. 2012. Evaluation of chilling and heat requirements in Japanese apricot with three models. *HortScience*, 47(12): 1826-1831.
- Grzeszczuk, M., Salachna, P. and Meller, E. 2018. Changes in photosynthetic pigments, total phenolic content, and antioxidant activity of *Salvia coccinea* Buc'hoz Ex Etl. induced by exogenous salicylic acid and soil salinity. *Molecules*, 23(6): 1296.
- Hayat, S. and Ahmad, A. 2007. *Salicylic Acid: A Plant Hormone*. Springer, pp. 97-99.
- Heydarnajad Giglou, R., Torabi Giglou, M., Estaji, A., Bovand, F. and Ghorbanpour, M. 2023. Light-emitting diode irradiation and glycine differentially affect photosynthetic performance of black henbane (*Hyoscyamus niger* L.). *South African Journal of Botany*, 155: 230-240.
- Heyden, C.V.D., Holford, P. and Richards, G.D. 1997. A new source of peach germplasm containing semi-freestone nonmelting flesh types. *HortScience*, 32: 288.
- Karagiannis, E., Tanou, G., Samiotaki, M., Michailidis, M., Diamantidis, G., Minas, I.S. and Molassiotis, A. 2016. Comparative physiological and proteomic analysis reveal distinct regulation of peach skin quality traits by altitude. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1689.

- Kelley, K.M., Primrose, R., Crassweller, R., Hayes, J.E. and Marini, R. 2016. Consumer peach preferences and purchasing behavior: A mixed methods study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(7): 2451-2461.
- Lesley, J.W. 1939. A genetic study of saucer fruit shape and other characters in the peach. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 37: 218-222.
- Liu, Y., Liu, X., Zhong, F., Tian, R., Zhang, K., Zhang, X. and Li, T. 2011. Comparative study of phenolic compounds and antioxidant activity in different species of cherries. *Journal of Food Science*, 76(4): C633-C638.
- Marcus, R.T. and Nassau, K. 1998. *Color for science, art and technology*. Mansfield: Elsevier Science.
- Mohammadi, H., Pakkish, Z. and Saffari, V.R. 2024. Postharvest application of salicylic acid enhanced antioxidant responses of peach cv. 'Elberta' fruit during storage. *Greenhouse Plant Production Journal*, 1(3): 83-97.
- Mokrani, A., Krisa, S., Cluzet, S., Da Costa, G., Temsamani, H., Renouf, E., Mérillon, J.M., Madani, K., Mesnil, M., Monvoisin, A. and Richard, T. 2016. Phenolic contents and bioactive potential of peach fruit extracts. *Food Chemistry*, 202: 212-220.
- Pei, M.S., Cao, S.H., Wu, L., Wang, G.M., Xie, Z.H., Gu, C. and Zhang, S.L. 2020. Comparative transcriptome analyses of fruit development among pears, peaches, and strawberries provide new insights into single sigmoid patterns. *BMC Plant Biology*, 20(1): 108.
- Salyari, R., Seifi, E., Varasteh, F. and Alizadeh, M. 2022. Effects of pre-harvest salicylic acid treatment on the post-harvest quality of peach cultivar Robin. *Journal of Chemical Health Risks*, 12: 355-362.
- Schiassi, M.C.E.V., de Souza, V.R., Lago, A.M.T., Campos, L.G. and Queiroz, F. 2018. Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. *Food Chemistry*, 245: 305-311.
- Schulz, M., Borges, G.D.S.C., Gonzaga, L.V., Seraglio, S.K.T., Olivo, I.S., Azevedo, M.S., Nehring, P., de Gois, J.S., de Almeida, T.S., Vitali, L. and Spudeit, D.A. 2015. Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (*Euterpe edulis Martius*) during ripening. *Food Research International*, 77: 125-131.
- Seymour, G.B., Ostergaard, L., Chapman, N.H., Knapp, S. and Martin, C. 2013. Fruit development and ripening. *Annual Review of Plant Biology*, 64(1): 219-241.
- Shi, G.R., Cai, Q.S., Liu, Q.Q. and Wu, L. 2009. Salicylic acid-mediated alleviation of cadmium toxicity in hemp plants in relation to cadmium uptake, photosynthesis, and antioxidant enzymes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(5): 969-977.
- Sigala Aguilar, N.A., González Fuentes, J.A., Valdez Aguilar, L.A., López Pérez, M.G., Medrano Macias, J., Benavides-Mendoza, A. and González Morales, S. 2023. Effect of elicitors and biostimulants on the content of bioactive compounds in raspberry fruits. *Horticultural Science*, 50(2): 101-110.
- Sofa, A. and Dichio, B. 2023. Effects of plant biostimulants on fruit set, quality, and postharvest storage of horticultural crops. *Advances in Horticultural Science*, 37(2): 145-158.
- Tareen, M. J., Abbasi, N. A., and Hafiz, I. A. (2012). Postharvest application of salicylic acid enhanced antioxidant enzyme activity and maintained quality of peach cv. "Flordaking" fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, 142: 221-228.
- Tuan, P.A., Bai, S., Yaegaki, H., Tamura, T., Hihara, S., Moriguchi, T. and Oda, K. 2015. The crucial role of PpMYB10. 1 in anthocyanin accumulation in peach and relationships between its allelic type and skin color phenotype. *BMC Plant Biology*, 15(1): 280.
- Verde, I., Abbott, A.G., Scalabrin, S., Jung, S., Shu, S., Marroni, F., Zhebentyayeva, T., Dettori, M.T., Grimwood, J. and Cattonaro, F. 2013. The high-quality draft genome of peach (*Prunus persica*) identifies unique patterns of genetic diversity, domestication and genome evolution. *Nature Genetics*, 45(5): 487-494.
- Wang, L., Chen, S., Kong, W., Li, S. and Archbold, D.D. 2006. Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and affects the antioxidant system and heat shock proteins of peaches during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3): 244-251.
- Wani, A.B., Chadar, H., Wani, A.H., Singh, S. and Upadhyay, N. 2017. Salicylic acid to decrease plant stress. *Environmental Chemistry Letters*, 15(1): 101-123.

- Zhang, G., Zhang, Y., Kou, X., Li, J., Luo, D., Huang, T., Wang, X. and Cao, S. 2024. Salicylic acid mitigates chilling injury to peaches by improving antioxidant capacity and energy metabolism. *Scientia Horticulturae*, 338: 113841.
- Zhao, X., Chen, S., Wang, S., Shan, W., Wang, X., Lin, Y., Su, F., Yang, Z. and Yu, X. 2020. Defensive responses of tea plants (*Camellia sinensis*) against tea green leafhopper attack: a multi-omics study. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1705.