

مقاله پژوهشی

اثر پوشش خوراکی ترکیبی موم زنبور عسل، کیتوزان و نانوامولسیون دارچین همراه با اسیدسالیسیلیک بر ماندگاری و کیفیت پس از برداشت توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa*)

حمیده حوصله‌پور^۱، سپیده کلاته‌جاری^{۲*} و مریم قراچورلو^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۹ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۱۴)

چکیده

استفاده از پوشش گیاهی راهکاری مناسب برای عرضه توت‌فرنگی به مصرف‌کننده می‌باشد. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر پوشش‌های خوراکی بر ویژگی‌های کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون در زمان انبارمانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. پوشش خوراکی در ۹ سطح و و فاکتور زمان ارزیابی در ۴ سطح استفاده شد. بر اساس نتایج، استفاده از پوشش‌های خوراکی نسبت به شاهد باعث کاهش افت وزن میوه‌ها شد به‌طوری که در تیمار شاهد کاهش وزن ۱۸/۲۹ درصد و در تیمار کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۲ در هزار، معادل ۰/۱۱ درصد وزن اولیه میوه ارزیابی شد. میوه‌های تیمار شده با ترکیب نانواسانس دارچین با غلظت ۲ در هزار بیشترین عمرانباری (میانگین ۱۲/۸ روز) را دارا بود. با افزایش غلظت اسانس و نانواسانس کیفیت میوه بهبود یافت به‌طوری که میزان آنتوسیانین (۵/۴۳ درصد)، اسیدیته قابل تیتراسیون (۲/۱۲ برابر)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل (۸۱/۶۰ درصد) و اسیدیته (۲/۸۳ برابر) نسبت به شاهد افزایش نشان داد. زمان موجب کاهش سفتی بافت میوه و کیفیت ظاهری آن گردید. نتایج نشان داد تیمار کردن میوه‌های توت‌فرنگی با انواع پوشش‌های خوراکی به‌خصوص تیمار قبل از انبار میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون با کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۲ در هزار، تأثیر مثبتی بر حفظ خصوصیات کمی و کیفی میوه‌های توت‌فرنگی دارد و عمرانباری میوه توت‌فرنگی نسبت به شاهد ۶۲/۰۲ درصد افزایش یافت. از این رو استفاده از پوشش‌های خوراکی برای بهبود ویژگی‌های انباری میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: فسادپذیری، فنل کل، کیفیت ظاهری، مواد جامد قابل حل، نانوامولسیون

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲ - استادیار گروه علوم باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* پست الکترونیک: kalatehjari@iaui.ac.ir

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria×ananassa*) از خانواده گل‌سرخیان و یکی از محبوب‌ترین میوه‌های مناطق معتدله است (کارلو^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). این میوه سرشار از ترکیبات ارزشمند مانند آنتی‌اکسیدان‌ها، ترکیبات فنلی، اسیدهای آلی، مواد معدنی، ویتامین C و آنتوسیانین است که تأثیر بسزایی بر سلامت انسان دارند (سلیمی، ۱۳۹۵). یکی از مشکلات اصلی در نگهداری توت‌فرنگی، فسادپذیری بالای آن است. این میوه باید در مرحله کاملاً رسیده برداشت شود، زیرا متابولیسم بسیار فعال آن می‌تواند موجب فساد سریع شود (نورلی-غاز^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). از این‌رو، استفاده از فناوری‌های نوین مانند پوشش‌های خوراکی برای افزایش ماندگاری این محصول ضروری است.

پوشش‌های خوراکی به دلیل ترکیب طبیعی و سازگاری با محیط‌زیست در سال‌های اخیر مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند. این پوشش‌ها لایه‌ای نازک از مواد خوراکی هستند که سطح مواد غذایی را می‌پوشانند و مانعی برای ورود و خروج آب، گازها (O_2 و CO_2)، چربی‌ها و سایر ترکیبات می‌سازند. همچنین، این پوشش‌ها قادرند ترکیبات ارزشمندی نظیر آنتی‌اکسیدان‌ها، رنگ‌ها، طعم‌دهنده‌ها و مواد ضد میکروبی را منتقل کنند (نصراله‌زاده اصل، ۱۳۹۲). پوشش‌های خوراکی از ترکیبات مختلفی ساخته می‌شوند که شامل پلیمرهای طبیعی مانند پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، موم و رزین است. در گروه کربوهیدرات، ترکیباتی مانند متیل سلولز، کربوکسی‌متیل سلولز، هیدروکسی‌پروپیل سلولز، نشاسته و پکتین به کار می‌روند. از میان پروتئین‌ها نیز آلبومین، ژئین، پروتئین سویا، پروتئین شیر و کلاژن برای تهیه این پوشش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. لیپیدهای موجود در این ترکیبات نیز شامل اسیدهای چرب، تری‌گلیسیریدها، موم زنبور عسل و لاک جلا داده شده هستند (کارپنا^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). نانوتکنولوژی، فرصت‌های گسترده‌ای برای بهبود کیفیت و ماندگاری مواد غذایی ارائه داده است. استفاده از فناوری نانو می‌تواند کیفیت، ایمنی و خواص تغذیه‌ای مواد غذایی را بهبود ببخشد. نانوکپسوله‌کردن یکی از مهم‌ترین فناوری‌ها

در صنایع غذایی محسوب می‌شود که قادر است انتشار مواد فعال را کنترل کرده و از تغییر طعم و ترکیبات ارزشمند غذایی در طول نگهداری محصول جلوگیری کند (پرز-واکز^۴ و همکاران، ۲۰۲۳).

استفاده از پوشش‌های خوراکی می‌تواند ماندگاری محصولات باغی را افزایش داده و از کاهش وزن، تغییر رنگ، رشد میکروبی و کاهش کیفیت جلوگیری کند. در مطالعه‌ای اثر کیتوزان در غلظت‌های مختلف بر عمر انباری خیار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تیمار یک درصد کیتوزان باعث کمترین کاهش وزن، بیشترین سفتی و افزایش سطح کلروفیل و ویتامین C در مقایسه با نمونه شاهد شد (قاسمی‌تولائی و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهشی دیگر مشخص شد که ترکیب کیتوزان و تیمول در مقایسه با کاربرد جداگانه هر کدام، تأثیر بیشتری بر حفظ کیفیت پس از برداشت انجیر دارد (ساکي^۵ و همکاران، ۲۰۱۹). تأثیر موم زنبورعسل و کیتوزان در غلظت‌های مختلف بر نگهداری انبه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این ترکیبات توانستند کاهش وزن فیزیولوژیکی، رشد بیماری‌ها و افت کیفیت میوه را به میزان قابل توجهی کاهش دهند، موم زنبورعسل ۲ درصد بیشترین تأثیر را در حفظ کیفیت انبه نشان داد (اشتو^۶ و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهشی دیگر، کاربرد اسید سالیسیلیک بر افزایش عمر انباری انگور بر اکثر صفات کیفی از جمله سفتی و رنگ میوه تأثیر مثبتی داشته و باعث افزایش ماندگاری آن شد (میرجلیلی و پیرو، ۱۴۰۰). استفاده از اسانس زیره سبز باعث حفظ تراکم روزنه در گلابی و بهبود کیفیت نگهداری آن گردید (اویم^۷ و همکاران، ۲۰۲۲). اسانس اسطوخودوس در کاهش قهوه‌ای شدن موز در انبار تأثیر مثبت داشت (لیو^۸ و همکاران، ۲۰۲۲). اسانس آویشن محصور در لسیترین نیز تأثیرات متفاوتی در کاهش تغییرات کیفی میوه‌های مختلف داشت، به طوری که در خرمالو از کاهش آب جلوگیری کرد، اما در سیب تأثیر چندانی نداشت (ساپر^۹ و همکاران، ۲۰۱۹).

در مجموع، نتایج پژوهش‌های متعدد نشان می‌دهد که استفاده از پوشش‌های خوراکی و فناوری‌های نوین می‌تواند

6. Eshetu
7. Oyom
8. Liu
9. Sapper

1. Carole
2. Newerli-Guz
3. Carpena
4. Perez-Vazquez
5. Saki

راهکاری مؤثر برای افزایش ماندگاری توت‌فرنگی و سایر میوه‌های فسادپذیر باشد. ترکیباتی مانند کیتوزان، موم زنبورعسل، اسیدسالیسیلیک و اسانس‌های گیاهی علاوه بر کاهش فساد به حفظ خواص تغذیه‌ای و کیفی محصولات کمک کرده و در نهایت باعث کاهش ضایعات مواد غذایی و افزایش ارزش اقتصادی آن‌ها می‌شوند. استفاده از این فناوری‌ها به‌ویژه در صنعت کشاورزی و صنایع غذایی، می‌تواند تحولی بزرگ در کاهش هدررفت محصولات باغی و افزایش بهره‌وری ایجاد کند. هدف پژوهش حاضر این است که تأثیر پوشش‌های خوراکی مختلف را بر عمر پس از برداشت توت‌فرنگی (در شرایط قفسه‌ای) بررسی کند. این تحقیق به دنبال شناسایی بهترین پوشش‌ها برای حفظ کیفیت توت‌فرنگی و افزایش انبارمانی آن است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پاییز سال ۱۴۰۲ در مجتمع آزمایشگاهی رازی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران در یک دوره ۳ ماهه انجام شد. نمونه‌های مورد استفاده شامل میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون بود که از گلخانه تولید تجاری توت‌فرنگی واقع در دماوند در روز اول برداشت تهیه گردید. میوه‌ها بلافاصله پس از برداشت به ظروف پلاستیکی دردار منتقل و به آزمایشگاه (محل انجام آزمایشات) حمل گردید. تیمارها شامل ۱- شاهد (بدون پوشش)، ۲- کیتوزان ۱/۵ درصد، ۳- موم زنبورعسل ۱۰ درصد، ۴- کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد، ۵- کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین ۱ درصد، ۶- کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین ۲ درصد، ۷- کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + نانو اسانس دارچین ۱ در هزار، ۸- کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + نانو اسانس دارچین ۲ در هزار و ۹- کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار بودند.

روش تهیه تیمارها

امولسیون موم زنبورعسل با روش‌های ذکر شده در (افندی و هرماوایت^۱، ۲۰۱۰) تهیه شد. موم زنبورعسل در ظرف ۲ لیتری قرار داده شده و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس ذوب شدند و به‌طور مداوم حرارت داده شد تا به دمای ۹۰-۸۰

درجه سلسیوس برسد. اسیداولئیک (۱۲/۸ میلی‌لیتر) به موم ذوب شده اضافه و سپس ۲۵/۶ میلی‌لیتر تریاتانولآمین (TEA) افزوده شد. با هم‌زدن مداوم سپس آب‌مقطر (که از قبل در همان دمای ۹۰-۸۰ درجه سلسیوس گرم شده بود) به آرامی به مدت ۵ دقیقه به آن اضافه شد و در هوا خشک گردید. امولسیون تهیه شده قبل از استفاده سرد و در دمای محیط در ظرف در بسته نگهداری شد. برای تهیه غلظت ۱۰ درصد از موم، ابتدا عصاره الکلی (متانولی) آن ساخته شد. برای این کار موم به نسبت یک به ده با متانول ۸۰ درصد مخلوط شده و به مدت ۲۴ ساعت با سرعت ۱۵۰۰۰ در دقیقه، شیکر شد و سپس عصاره حاصل با استفاده از کاغذ صافی، فیلتر گردید و پس از خشک شدن عصاره، پودر عصاره به‌دست آمد که با متانول ۸۰ درصد نسبت ۱ به ۱۰ حل شده و به‌عنوان محلول پایه استفاده شد. برای تهیه ۱۰ درصد موم، مقدار مورد نظر از عصاره به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و برای تیماردهی به صورت اسپری محلول‌پاشی روی سطح میوه استفاده گردید (پیروموسوی^۲ و همکاران، ۲۰۱۸).

شش گرم پودر کیتوزان ۱/۵ درصد در ۴۰۰ میلی‌لیتر اسید استیک (۱ درصد) حل و با استفاده از همزن مغناطیسی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس هم‌زده شد. ۰/۶ گرم گلیسرول (۰/۱۵ درصد) به همراه ۰/۶ گرم توئین-۳۸۰ (۰/۱۵ درصد) به کیتوزان اضافه گردید. برای تهیه غلظت‌های ذکر شده کیتوزان از روش‌های ارائه شده در (وانگمت و کی^۴، ۲۰۱۲) استفاده شد. در نهایت با استفاده از سود یک نرمال pH محلول روی ۵/۵ تنظیم گردید.

پوست خشک شده درخت دارچین از عطاری، تهیه و با آسیاب خرد شد. سپس، اسانس آن به روش تقطیر با آب و به کمک دستگاه کلونجر به‌مدت سه ساعت استخراج گردید. استخراج اسانس برای هر نمونه در سه تکرار و برای هر تکرار ۲۰ گرم نمونه گیاهی استفاده شد. اسانس به‌دست آمده به کمک سولفات سدیم خشک، آگیری و در شیشه‌های تیره در دمای ۴ درجه سلسیوس درون یخچال نگهداری شد (جایمند و رضایی، ۱۳۹۰).

به‌منظور تهیه نانوامولسیون ابتدا توئین، اسپن و اسانس جداگانه وزن شده و در ویال‌های شیشه‌ای جداگانه ریخته شده و سپس آب روی توئین و اسپن و اسانس ریخته شده

3. Tween-80

4. Wongmetha and Ke

1. Efendi and Hermawati

2. Peyromousavi

موم به میوه اسپری شد. سپس میوه‌ها در معرض هوای محیط، خشک و در بسته‌های پلی‌اتیلنی جهت بسته‌بندی و ارزیابی صفات مورد مطالعه در انبار سرد با دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 75 ± 5 درصد قرار داده شد. در هر تکرار ۲۵۰ گرم توت‌فرنگی (حاوی ۱۵ عدد توت‌فرنگی تازه) قرار داشت، ارزیابی صفات مختلف در روزهای اول، ۵، ۱۰ و ۱۵ انجام شد.

صفات مورد مطالعه

درصد کاهش وزن میوه

میوه‌ها قبل و پس از بسته‌بندی در پایان هر دوره تیماری با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و درصد کاهش وزن میوه‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (مستوفی و نجفی، ۱۳۸۴).

$$100 \times \text{وزن اولیه میوه} / \text{وزن ثانویه میوه} - \text{وزن اولیه میوه} = \text{درصد کاهش وزن}$$

و پس از آن مخلوط اسانس و اسپن به آب و توئین اضافه شده و در نهایت مخلوط حاصل یک دقیقه هم‌زده شده و بعد از آن به مدت ۱۵ دقیقه توسط یک سونیکاتور آزمایشگاهی با توان ۴۰۰ وات و فرکانس ۲۰/۵ کیلو هرتز تحت تأثیر امواج فراصوت قرار گرفت. برای انتقال امواج از ترانس دیوسر به نمونه از سونوترود استوانه‌ای شکل از جنس تیتانیوم به قطر ۸ میلی‌متر که تا عمق ۱ سانتی‌متر زیر سطح مایع غوطه‌ور می‌شود، استفاده شد (جهان‌تیغی و همکاران، ۱۳۹۵).

روش اجرای آزمایش

میوه‌های توت‌فرنگی با غوطه‌وری در آب مقطر شسته و برای خشک شدن در هوای اتاق قرار داده شدند. پس از آن، پوشش‌دهی میوه توت‌فرنگی با غوطه‌وری آن‌ها به مدت ۳ دقیقه در هر تیمار شامل کیتوزان، اسانس (جدول ۱- اجزای اسانس دارچین)، نانواسانس یا اسید سالیسیلیک انجام شد.

جدول ۱- ترکیبات اسانس دارچین

ردیف	نام ترکیب	مقدار	ردیف	نام ترکیب	مقدار
۱	آلفا-پینن	۳/۳۴	۲۰	۲-فنیل اتیل الکل	۰/۴۷
۲	کامفن	۰/۶۳	۲۱	کومارین	۰/۳۶
۳	بتا پینن	۰/۶۱	۲۲	بنزیل آلدهید	۰/۶۱
۴	ساینین	۰/۲۶	۲۳	هیدروسینام آلدهید	۰/۸۰
۵	آلفا-فلاندرن	۰/۱۴	۲۴	۲-فنیل اتیل استات	۰/۱۸
۶	میرسن	۲/۷۰	۲۵	۳-فنیل پروپیل استات	۰/۳۸
۷	آلفا-ترپینن	۱/۳۰	۲۶	سینام آلدهید	۵۰/۵
۸	لیمونن	۱/۲	۲۷	متیل سینامات	۰/۲۷
۹	زد-بتا-اوسیمین	۰/۱۴	۲۸	زد-سینامیل استات	۸/۷۸
۱۰	گاما-ترپینن	۰/۱۶	۲۹	بنزیل بنزوات	۱/۱۰
۱۱	ای-بتا-اوسیمین	۰/۱۳	۳۰	اوژنول استات	۱/۴۰
۱۲	پی-سایمین	۱/۹۱	۳۱	اوژنول	۴/۱۵
۱۳	ترپینولن	۰/۲۱	۳۲	ایزو اوژنول	۰/۰۸
۱۴	لینالول	۳/۷۰	۳۳	سافرول	۰/۰۸
۱۵	ترپینن-۴-آل	۰/۴۰	۳۴	متیل اوژنول	۰/۱۵
۱۶	آلفا-ترپیننول	۰/۷۰	۳۵	آلفا-یلانژن	۰/۷۰
۱۷	ایزوبورنئول	۰/۰۸	۳۶	بتا-کاریوفیلین	۸/۰۰
۱۸	۱،۸-سینئول	۴/۶۰	۳۷	آلفا-هومولن	۱/۳۰
۱۹	سینامیل الکل	۰/۱۶		شناسایی نشده	۱/۱۰

کیفیت ظاهری میوه

براساس میزان پوسیدگی از ۱ تا ۴ به صورت ۱-بد (بیش از نیمی از میوه دارای لک و پوسیدگی بود)، ۲-متوسط (پوسیدگی نداشت، اما لک بیش از ۵ میلی‌متر مشاهده شد)، ۳-خوب (وجود لک در میوه در حد ۲-۵ میلی‌متر) و ۴-

عالی (عدم وجود لک و پوسیدگی) مورد ارزیابی قرار گرفت (حسینی‌فرهی و همکاران، ۱۳۹۷).

اسیدیته قابل تیتراسیون

۵ میلی‌لیتر از عصاره آب‌میوه با ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و با هیدروکسید سدیم (۰/۱) نرمال تا زمانی که pH

استفاده از اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda در دو طول موج ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر قرائت و آنتوسیانین موجود در میوه‌ها با فرمول زیر محاسبه و بر حسب میلی گرم در گرم بافت تازه، بیان شد (لی^۲ و همکاران، ۲۰۰۵).

$$A_{530} - 1.4 A_{657} = \text{آنتوسیانین میوه}$$

A: میزان جذب نور

اسیدآسکوربیک (ویتامین ث)

با روش جلیلی‌مرندی (۱۳۹۱) به صورت تیتراسیون دو مرحله‌ای اکسیداسیون-احیا اسیدآسکوربیک میوه توت فرنگی اندازه‌گیری شد. به این ترتیب که ابتدا از ۵ گرم میوه در محلول متانول با دستگاه سوکسله به مدت ۴ ساعت عصاره‌گیری و عصاره حاصل از کاغذ صافی گذرانده شد و با دستگاه روتاری در دمای ۴۰ درجه سلسیوس تغلیظ گردید. ۵۰ میلی گرم از عصاره حاصل با ۵۰ میلی لیتر اسید متافسفیک ۱ درصد به مدت ۴۵ دقیقه عصاره‌گیری شد. عصاره مجدد توسط کاغذ صافی شماره ۴ صاف و یک میلی لیتر از عصاره فیلترشده با ۹ میلی لیتر محلول آماده شده مخلوط گردید و ۳۰ دقیقه بعد عدد جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda قرائت شد. منحنی استاندارد توسط غلظت‌های مختلف اسیدآسکوربیک رسم و غلظت اسیدآسکوربیک نمونه‌ها براساس میلی گرم اسیدآسکوربیک در ۱۰۰ گرم وزن نمونه تازه بیان گردید.

شاخص طعم میوه (TSS/TA)

شاخص طعم میوه به صورت نسبت مقدار مواد جامد قابل حل به اسید قابل تیتراسیون بیان شد (پونا و پارچوری^۴، ۲۰۰۳).

اسیدیته آب میوه

ابتدا تعداد ۲ عدد توت فرنگی را برش زده و به وسیله دستگاه آب میوه‌گیری عصاره میوه را گرفته، برای زلال و شفاف شدن آب میوه، مقداری از آن را در لوله‌های آزمایشی مخصوص دستگاه سانتریفیوژ ریخته و آن را به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ کرده به طوری که پس از این عمل یک محلول شفاف آب میوه حاصل می‌شود. برای اندازه‌گیری pH، ابتدا دستگاه pH سنج توسط محلول‌های بافر ۴ و ۷ تنظیم گردید. سپس مقداری از عصاره صاف شده میوه در یک بشر کوچک ریخته شد و بعد الکترودهای دستگاه داخل بشر قرار

به حدود ۸/۲ برسد، تیتراسیون گردید. نتایج بصورت درصد سیتریک اسید بیان شد (مستوفی و نجفی، ۱۳۸۴).

مواد جامد محلول کل

برای اندازه‌گیری این شاخص از میوه‌ها آب‌گیری نموده و میزان مواد جامد محلول با استفاده از رفراکتومتر دیجیتالی ATG تعیین و نتایج به صورت درجه بریکس Brix بیان شد (مستوفی و نجفی، ۱۳۸۴).

سفتی بافت میوه

با چاقو در سه نقطه به اندازه یک سانتی متر از میوه برداشته و سفتی گوشت میوه با پیستون دستگاه سفتی سنج (پنترومتر دستی) بر حسب کیلوگرم بر سانتی متر مربع ثبت گردید.

ظرفیت آنتی اکسیدانی

از رادیکال آزاد DPPH^۱ جهت تعیین ظرفیت آنتی اکسیدانی استفاده شد. ابتدا عصاره‌های گیاهی در غلظت‌های متفاوت 5×10^{-2} mg/100 الی 5×10^{-6} در متانول خالص تهیه و سپس مخلوطی به نسبت ۱:۱ از محلول (8mg/100) DPPH و عصاره‌های گیاهی با غلظت‌های متفاوت تهیه شد. جذب نمونه‌ها بعد از ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda در ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری گردید. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (سان^۲ و همکاران، ۲۰۰۷).

$$R\% = \frac{AD - AS}{AD} \times 100$$

R%: درصد مهار، AD: جذب DPPH در ۵۱۷ نانومتر، AS: جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر

برای مقایسه فعالیت عصاره‌ها از پارامتر IC₅₀ استفاده شد (IC₅₀ غلظتی از عصاره است که ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کند).

آنتوسیانین کل میوه

با استفاده از ۱۰ گرم از میوه که به کمک محلول استخراج متانول و اسیدکلریدریک ۱ نرمال (متانول اسیدی) سائیده شد، آنتوسیانین میوه به دست آمد. به این ترتیب که نمونه‌های حاصل از سائیده شدن در لوله آزمایش ریخته شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس قرار گرفت، سپس نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با ۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در نهایت عصاره جدا شده با

3. Lee

4. Punna and Paruchuri

1. 2,2-Diphenyl- Picryl- Hydrazyl

2. Sun

داده شده و pH عصاره قرائت و ثبت شد (مستوفی و نجفی، ۱۳۸۴).

اندازه‌گیری میزان فنل کل

پس از عصاره‌گیری متانولی میوه توت‌فرنگی، عصاره‌های حاصل پس از صاف‌شدن با دستگاه تبخیرکننده چرخان با دمای ۴۰ درجه سلسیوس تغلیظ و میزان ترکیب‌های فنلی موجود در عصاره میوه این گیاه از طریق رنگ‌سنجی به روش فولین-سیوکالتو مورد بررسی قرار گرفت (سینگلتون و روسی‌جاک^۱، ۱۹۶۵). مطابق روش مک‌دونالد^۲ و همکاران (۲۰۰۱)، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره استخراجی با ۵ میلی‌لیتر معرف فولین-سیوکالتو (که با آب مقطر ۱۰ برابر رقیق شد) و ۴ میلی‌لیتر از محلول کربنات‌سدیم یک مولار به‌خوبی مخلوط گردید. مخلوط به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. سپس مقدار جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد (اوروجالیان^۳ و همکاران، ۲۰۱۰). بدین منظور روش رنگ‌سنجی (فولین-سیوکالتو) نیز روی محلول‌های استاندارد اسیدگالیک با غلظت‌های مختلف انجام شد. منحنی استاندارد در برابر جذب اسید گالیک رسم گردید ($Y=0/00114X+0/01062$ ، Y عدد جذب و X غلظت بر حسب ppm). برای تعیین غلظت فنل نمونه‌ها اعداد جذب به‌دست آمده از اسپکتروفتومتر را در معادله بالا (Y) قرار داده و میزان غلظت ترکیب‌های فنلی موجود در نمونه‌ها بر حسب (X) محاسبه گردید. در نهایت مقادیر فنل کل عصاره با استفاده از منحنی استاندارد براساس میلی‌گرم گالیک‌اسید در گرم عصاره اندازه‌گیری شد.

پلی فنل اکسیداز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره میوه ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات اضافه و محلول در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شد. در مرحله بعد به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره شفاف جدا شده ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار pH=۶/۴ و ۵۰ میلی‌مولار کاتکول اضافه شد. منحنی تغییرات جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda در طول موج ۴۲۰ نانومتر به‌مدت ۳ دقیقه اندازه‌گیری شد (گونزالز^۴ و همکاران ۱۹۹۹).

فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز=(اختلاف جذب $\times 1000$)/ $(0/001 \times 25)$

تعیین عمر انباری

تعداد روزهای پس از برداشت میوه توت‌فرنگی به‌طوری که هیچ‌گونه پوسیدگی و لهیدگی (به‌صورت مشاهده‌ای در طول مدت آزمایش) بر میوه مشاهده نشود، شمارش گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از انجام توزیع داده‌ها و یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی، تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ انجام شد و پس از آن میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت. رسم نمودارها و جداول آماری توسط نرم‌افزارهای Excel و Word office 2007 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

کاهش وزن میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاهش وزن میوه توت فرنگی تحت اثر اصلی پوشش خوراکی در سطح احتمال پنج درصد، تحت اثر اصلی زمان نگهداری و اثر متقابل دو تیمار مذکور در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۲).

براساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی $\times$ زمان نگهداری، بیشترین افت وزن میوه توت‌فرنگی (۱۸/۲۹ درصد) در تیمار شاهد در روز پانزدهم نگهداری حاصل شد (شکل ۱).

یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش وزن میوه در طول انبارمانی، افزایش تبخیر و تعرق از سطح آن است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که پوشش‌های خوراکی با حفظ سفتی و استحکام بافت میوه، کاهش وزن را به‌طور معنی‌داری کنترل می‌کنند. این اثر عمدتاً ناشی از مهار فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی است که با محدودکردن تبادلات گازی، از تخریب ساختار میوه جلوگیری می‌کند (دهقانی و همکاران، ۱۴۰۰).

پوشش‌هایی مانند موم و اسانس‌های گیاهی با ایجاد یک سد نیمه‌تراوا بین میوه و محیط خارجی، نه‌تنها از خشک‌شدگی

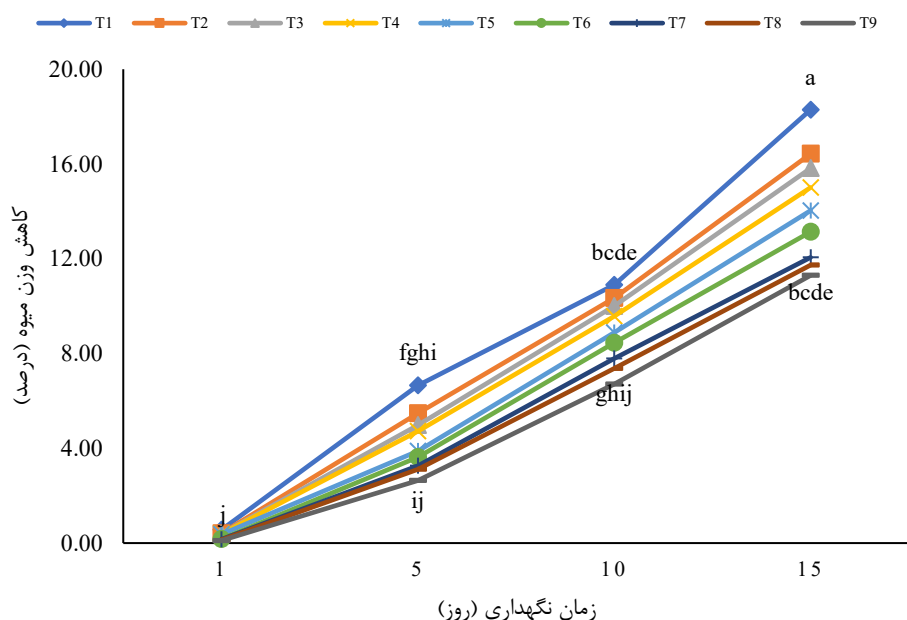
ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ضدقارچی خود از پوسیدگی و فساد میوه جلوگیری کرده و فرآیندهای تجزیه‌ای مرتبط با کاهش وزن را مهار می‌کند (دی^۲ و همکاران، ۲۰۰۹).

میوه ممانعت می‌کنند، بلکه با کاهش نرخ تبخیر رطوبت به حفظ وزن اولیه میوه کمک می‌نمایند (موکودی‌ساری^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). در این میان، اسانس دارچین به‌ویژه با

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار پوشش خوراکی و زمان نگهداری بر صفات کاهش وزن میوه، کیفیت ظاهری، مواد جامد محلول

منابع تغییر	درجه آزادی	کاهش وزن میوه	کیفیت ظاهری	مواد جامد قابل محلول	اسید قابل تیتراسیون
پوشش خوراکی	۸	۱۹۹/۴۹*	۱/۰۸**	۴/۷۱**	۰/۱۶**
زمان نگهداری	۳	۷۷۸۱/۸۱**	۲۴/۷۵**	۱۴/۹۷**	۰/۱۱**
پوشش خوراکی × زمان نگهداری	۲۴	۴۱۶/۱۷**	۰/۲۵**	۰/۴۴**	۰/۰۴**
خطا	۷۲	۹۷/۵۶	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۴/۱۹	۰	۲/۰۹	۵/۸۹

** و * به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد می‌باشد.



شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل پوشش خوراکی × زمان نگهداری (روز) بر کاهش وزن میوه توت‌فرنگی. حروف مشترک

نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

T1= شاهد، T2= کیتوزان ۱/۵ درصد، T3= موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T4= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T5= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین یک درصد، T6= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۲ درصد، T7= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین یک در هزار، T8= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین دو در هزار، T9= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار.

به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای افزایش ماندگاری و حفظ وزن میوه در دوره انبارمانی مورد استفاده قرار گیرد (پرز-وازکز و همکاران، ۲۰۲۳).

کیفیت ظاهری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کیفیت ظاهری میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و

مکانیسم اثر دارچین فراتر از خواص ضد میکروبی است، این ماده با کاهش تولید اتیلن (هورمون تسریع‌کننده رسیدن) و مهار فعالیت میکروارگانیزم‌ها، همزمان از نرم‌شدگی بافت و اتلاف رطوبت میوه جلوگیری می‌نماید. بنابراین، کاربرد این اسانس (به‌دلیل دارا بودن سینامالدهید، زد-سینامیل استات و بتا-کاربوفیلن) در پوشش‌های خوراکی می‌تواند

اثر متقابل تیمارها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار نشان دادند (جدول ۲).

براساس نتایج مقایسه میانگین های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی × زمان نگهداری، بهترین کیفیت ظاهری میوه توت فرنگی در تمامی تیمارهای پوشش خوراکی و در روز اول نگهداری مشاهده شد (جدول ۳).

اسانس دارچین با دارا بودن ترکیبات فعال، نقش مؤثری در حفظ کیفیت توت فرنگی ایفا می کند. این اسانس نه تنها از

اکسیداسیون مواد غذایی جلوگیری کرده و تغییر رنگ میوه را به تأخیر می اندازد، بلکه با کاهش تبخیر رطوبت از سطح توت فرنگی از خشک شدن بافت و افت کیفیت ظاهری آن ممانعت می کند. علاوه بر این، دارچین با مهار تولید اتیلن گازی که موجب تسریع فرآیند رسیدن و در نتیجه کاهش ماندگاری و کیفیت میوه می شود به حفظ طراوت و تازگی توت فرنگی کمک شایانی می کند (وانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۴).

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل پوشش خوراکی × زمان نگهداری (روز) بر کیفیت ظاهری میوه توت فرنگی

شاخص	تیمار	روز اول	روز پنجم	روز دهم	روز پانزدهم
T1	شاهد	۴/۰۰ ^a	۲/۰۰ ^c	۲/۰۰ ^c	۱/۰۰ ^d
T2	کیتوزان ۱/۵ درصد	۴/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^b	۲/۰۰ ^c	۱/۰۰ ^d
T3	موم زنبورعسل ۱۰ درصد	۴/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^b	۲/۰۰ ^c	۱/۰۰ ^d
T4	کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد	۴/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^b	۳/۰۰ ^b	۲/۰۰ ^c
T5	کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین ۱ درصد	۴/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^b	۳/۰۰ ^b	۲/۰۰ ^c
T6	کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین ۲ درصد	۴/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^b	۳/۰۰ ^b	۲/۰۰ ^c
T7	کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۱ در هزار	۴/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^b	۳/۰۰ ^b	۲/۰۰ ^c
T8	کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۲ در هزار	۴/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^b	۳/۰۰ ^b	۲/۰۰ ^c
T9	کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار	۴/۰۰ ^a	۳/۰۰ ^b	۳/۰۰ ^b	۲/۰۰ ^c

در هر ستون، میانگین هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

مواد جامد محلول

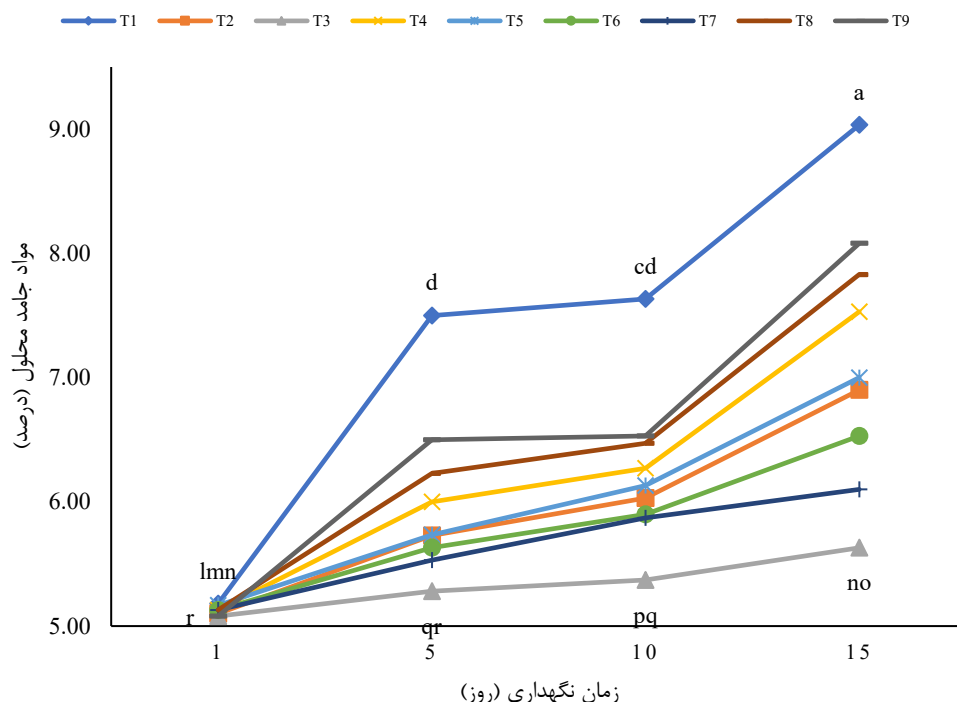
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مواد جامد محلول میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل تیمارها، در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار نشان داد (جدول ۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی × زمان نگهداری، بیشترین مواد جامد قابل حل میوه توت فرنگی در تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز پانزدهم نگهداری و کمترین مواد جامد قابل حل میوه توت فرنگی در تیمار کیتوزان ۱/۵ درصد در روز اول نگهداری حاصل شد (شکل ۲).

پایین بودن میزان مواد جامد قابل حل (TSS) در میوه های پوشش دهی شده احتمالاً ناشی از تشکیل یک لایه محافظ نازک روی سطح میوه است که با کاهش نرخ تنفس از تجزیه کربوهیدرات ها جلوگیری کرده و در نتیجه TSS را در سطح بالاتری حفظ می کند (حسامی^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). با این

حال در مراحل پایانی نگهداری، افزایش TSS به دلیل فرآیندهای پیری طبیعی میوه رخ می دهد که شامل هیدرولیز دیواره سلولی و تبدیل پلی ساکاریدها به قندهای ساده است (مارتینز^۳ و همکاران، ۲۰۱۸؛ دهقانی و همکاران، ۱۴۰۰).

در مورد میوه های تیمار شده با اسانس ها، مکانیسم های پیچیده تری در تغییرات TSS نقش دارند: (۱) خاصیت ضد میکروبی اسانس هایی مانند دارچین با جلوگیری از فساد میوه، ممکن است به طور غیرمستقیم بر تعادل رطوبتی میوه تأثیر گذاشته و از طریق افزایش اتلاف آب، غلظت TSS را کاهش دهد (زینگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۵)، (۲) پوشش ها با تغییر نفوذپذیری غشای سلولی می توانند باعث نشت ترکیبات سلولی شوند، (۳) برخی ترکیبات اسانس ممکن است به عنوان حلال عمل کرده و مستقیماً بر غلظت مواد محلول تأثیر بگذارند (یو^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). این اثرات متضاد نشان می دهد که تغییرات TSS در میوه های



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل پوشش خوراکی × زمان نگهداری (روز) بر مواد جامد قابل حل میوه توت‌فرنگی. حروف

مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

T1 = شاهد، T2 = کیتوزان ۱/۵ درصد، T3 = موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T4 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T5 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین یک درصد، T6 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین ۲ درصد، T7 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین یک در هزار، T8 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین دو در هزار، T9 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار.

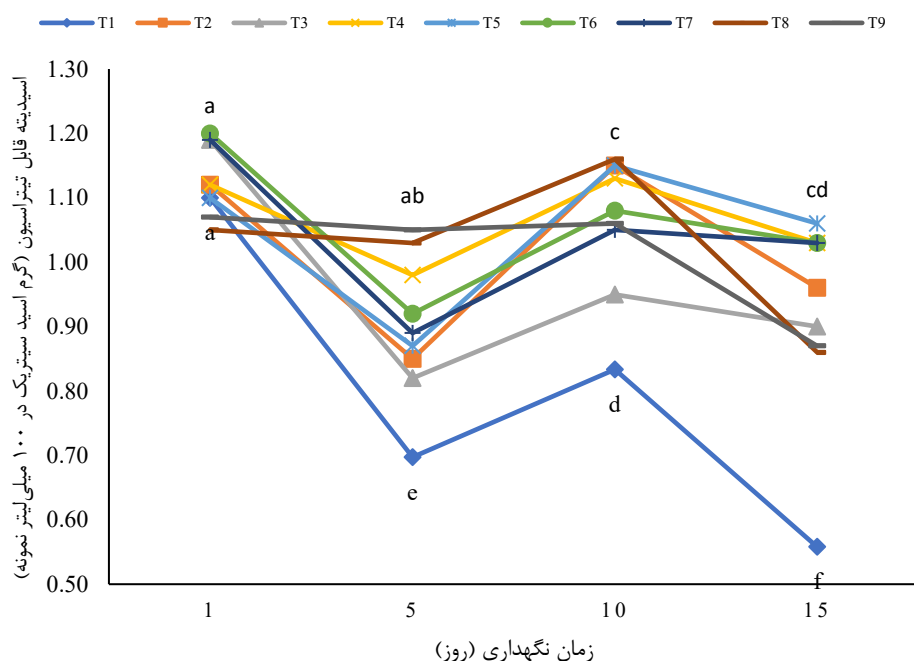
تغییرات اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) در میوه‌های پوشش‌دهی شده نشان‌دهنده تعامل پیچیده‌ای بین فرآیندهای متابولیکی و اثرات محافظتی پوشش‌ها است. به طور طبیعی، اسیدیته میوه در طول انبارمانی به دلیل مصرف اسیدهای آلی (مانند اسیدهای سیتریک و مالیک) در فرآیندهای تنفسی و تبدیل آن‌ها به قندها کاهش می‌یابد (ارسند^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). با این حال، پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک سد نیمه‌تراوا، نفوذ اکسیژن را محدود کرده و از این طریق نرخ تنفس و تجزیه اسیدهای آلی را کاهش می‌دهند (زینگ و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر این، این پوشش‌ها با مهار تولید اتیلن-هورمون کلیدی در فرآیند رسیدن میوه- از تخریب سریع ترکیبات اسیدی جلوگیری می‌کنند (پادل^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعات نشان می‌دهند که پوشش‌ها ممکن است با حفظ یکپارچگی غشای سلولی و کاهش نشت ترکیبات اسیدی همچنین از طریق تغییر مسیرهای متابولیک به نفع تولید اسیدهای آلی،

پوشش‌دهی شده نتیجه تعامل پیچیده‌ای بین عوامل فیزیولوژیکی، میکروبی و شیمیایی است.

اسیدیته قابل تیتراسیون (TSS)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۲).

براساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی × زمان نگهداری، بیشترین اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی در تیمار کاربرد کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۱ در هزار در روز اول نگهداری حاصل شد و کمترین اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی مربوط به تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز پانزدهم نگهداری بوده است (شکل ۳).



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل پوشش خوراکی × زمان نگهداری (روز) بر اسید قابل تیتراسیون میوه توت فرنگی. حروف مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن است.
T1= شاهد، T2= کیتوزان ۱/۵ درصد، T3= موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T4= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T5= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین یک درصد، T6= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۲ درصد، T7= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین یک در هزار، T8= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین دو در هزار، T9= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک یک میلی مولار.

بیشترین سفتی بافت میوه توت فرنگی (۷/۲۴ نیوتن) در روز اول نگهداری و کمترین آن (۳/۳۸ نیوتن) در روز پانزدهم نگهداری حاصل شد (شکل ۴).

فرآیند طبیعی نرم شدگی میوه ها ناشی از چندین عامل است: (۱) افزایش فعالیت آنزیم های تجزیه کننده دیواره سلولی مانند پکتیناز که به تدریج ساختار پکتین را تخریب می کنند (خو^۲ و همکاران، ۲۰۲۰)، (۲) تولید اتیلن که به عنوان هورمون رسیدن عمل کرده و فرآیند نرم شدگی را تسریع می کند، (۳) کاهش رطوبت بافت در اثر تبخیر آب و (۴) فعالیت میکروارگانیسم های مخرب که به ویژه در میوه های آسیب دیده تشدید می شود (ین^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). پوشش های خوراکی با مکانیسم های متعددی موجب حفظ کیفیت بافتی میوه ها می شوند. این پوشش ها از طریق مهار فعالیت آنزیم های تخریب کننده دیواره سلولی مانند پکتیناز و سلولاز، روند تجزیه پلی ساکاریدهای ساختاری (همی سلولز، پکتین و سلولز) را به تأخیر

منجر به افزایش نسبی اسیدیتیه شوند (سولیس-کنتراس^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). این اثرات ترکیبی نه تنها روند کاهش طبیعی اسیدیتیه را کند می کند بلکه در برخی موارد می تواند منجر به حفظ یا حتی افزایش موقت اسیدیتیه میوه در مقایسه با نمونه های شاهد شود. بنابراین، پوشش های خوراکی از طریق مکانیسم های چندگانه شامل تعدیل تنفس، کنترل تولید اتیلن و حفظ ساختار سلولی، تأثیر قابل توجهی بر پویایی اسیدیتیه میوه در طول دوره انبارمانی دارند (پادل و همکاران، ۲۰۱۹).

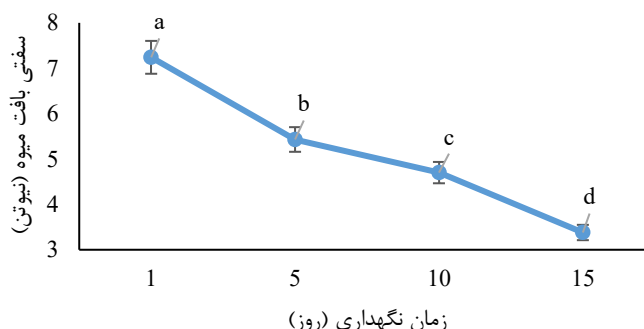
سفتی بافت میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سفتی بافت میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی زمان نگهداری در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار نشان داد ولی اثر اصلی پوشش خوراکی و اثر متقابل تیمارها بر سفتی بافت میوه معنی دار نبوده است (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار پوشش خوراکی و زمان نگهداری بر صفات سفتی بافت میوه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، آنتوسیانین و اسیدآسکوربیک میوه توت‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	سفتی بافت میوه	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل	آنتوسیانین	اسید آسکوربیک
پوشش خوراکی	۸	۰/۰۷ ^{ns}	۵۸۲/۳۰ ^{**}	۱۰۷/۹۴ ^{**}	۲۴۹/۲۳ ^{**}
زمان نگهداری	۳	۷۰/۰۶ ^{**}	۴۱۳۸/۹۳ ^{**}	۴۷۸۰/۰۳ ^{**}	۴۵۵۱/۷۸ ^{**}
پوشش خوراکی × زمان نگهداری	۲۴	۰/۲۴ ^{ns}	۲۸/۲۷ ^{**}	۱۹/۶۸ ^{ns}	۳۲/۴۰ ^{**}
خطا	۷۲	۰/۲۶	۲/۴۹	۱۷/۱۲	۱۶/۱۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۹/۹۰	۲/۳۸	۲/۳۶	۵/۴۶

^{**} و ^{ns} به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و نبود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.



شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی زمان نگهداری بر سفتی بافت میوه توت‌فرنگی. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۴). بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه توت‌فرنگی (۸۷/۱۷ درصد) در تیمار کاربرد کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۲ در هزار در روز دهم نگهداری مشاهده شد و کمترین ظرفیت آنتی اکسیدانی کل میوه توت‌فرنگی (۴۸/۰۰ درصد) مربوط به تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز اول نگهداری بود (شکل ۵).

پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک سد محافظتی چندجانبه، نقش مؤثری در حفظ و تقویت فعالیت آنتی‌اکسیدانی توت‌فرنگی ایفا می‌کنند. این پوشش‌ها از طریق محدود کردن تماس میوه با عوامل اکسیدکننده محیطی مانند اکسیژن و نور از تخریب ترکیبات آنتی‌اکسیدانی طبیعی میوه جلوگیری می‌کنند (پتریچیون^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). به‌ویژه پوشش‌های حاوی اسانس دارچین، به‌دلیل دارا بودن ترکیبات فنلی فعال مانند سینامالدهید نه‌تنها به‌عنوان یک منبع خارجی آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند (دی و همکاران،

می‌اندازند (پینزون^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که کاربرد این پوشش‌ها به‌ویژه ترکیباتی مانند کیتوزان، به‌طور معنی‌داری سفتی میوه را در طول دوره نگهداری حفظ می‌کند (هوریزون^۲ و همکاران، ۲۰۱۹؛ یانگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۰). پژوهش عشقی و همکاران (۱۳۹۲) نیز مؤید این موضوع است که نانوامولسیون کیتوزان توانست سفتی و استحکام بافت توت‌فرنگی را در مقایسه با نمونه‌های شاهد به‌طور چشمگیری حفظ نماید. پوشش‌های ترکیبی با ایجاد اثر هم‌افزایی از طریق چندین مکانیسم مؤثر عمل می‌کنند: ایجاد سد فیزیکی در برابر تبخیر رطوبت، کاهش نفوذ اکسیژن و در نتیجه کاهش تنفس، مهار تولید اتیلن و جلوگیری از فعالیت میکروارگانیسم‌ها. این عوامل در مجموع منجر به تأخیر در شروع فرآیند نرم‌شدگی و حفظ کیفیت بافتی میوه در طول دوره انبارمانی می‌شوند (ین و همکاران، ۲۰۱۹).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

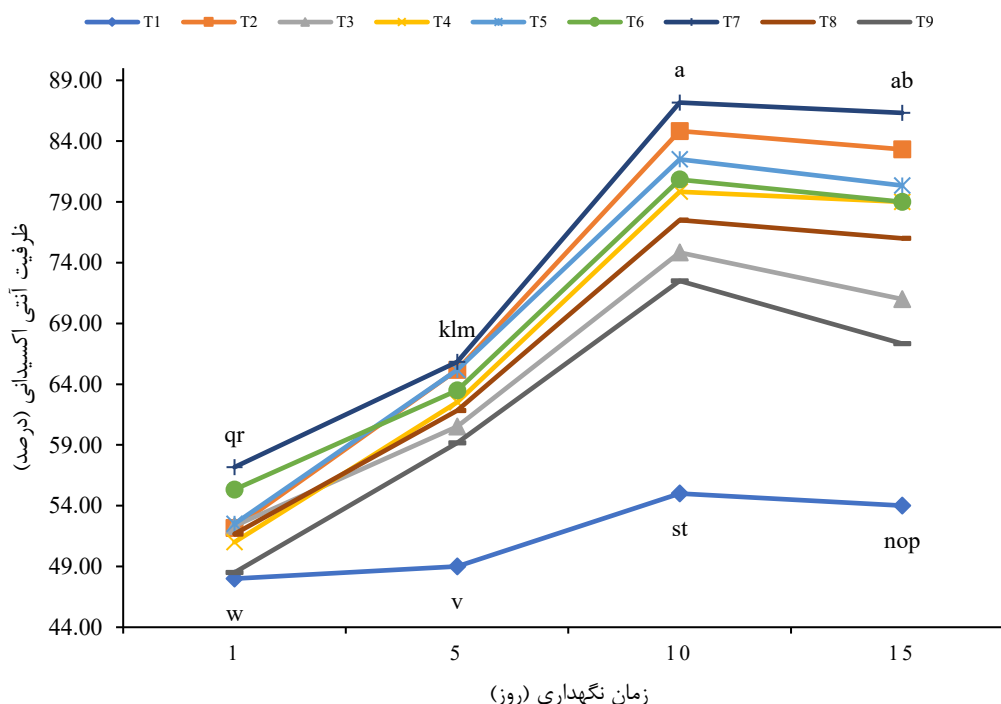
براساس نتایج تجزیه واریانس، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه توت‌فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان

3. Yang
4. Petriccione

1. Pinzon
2. Horison

سیستم دفاعی گیاه را تحریک کرده و منجر به افزایش سنتز ترکیبات آنتی اکسیدانی ثانویه مانند آنتوسیانین ها و فلاونوئیدها می شوند (یو و همکاران، ۲۰۲۱). از سوی دیگر، خاصیت ضد میکروبی این پوشش ها از رشد عوامل فاسد

(۲۰۰۹)، بلکه با کاهش نرخ تنفس و تولید گونه های فعال اکسیژن، شرایط بهینه ای برای حفظ ترکیبات آنتی اکسیدانی درون زرا فراهم می سازند (پرز-واکز و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، این پوشش ها با ایجاد یک تنش ملایم،



شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل پوشش خوراکی × زمان نگهداری (روز) بر ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه توت فرنگی. حروف

مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن است.

حروف مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن است.

T1= شاهد، T2= کیتوزان ۱/۵ درصد، T3= موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T4= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T5= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۱ درصد، T6= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۲ درصد، T7= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین ۱ در هزار، T8= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین ۲ در هزار، T9= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک یک میلی مولار.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین ها، بیشترین آنتوسیانین کل میوه توت فرنگی در شرایط کاربرد کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد + نانو اسانس دارچین ۲ در هزار و کمترین آنتوسیانین میوه توت فرنگی در تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) حاصل شد (شکل ۶).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین ها، بیشترین آنتوسیانین میوه توت فرنگی (۱۹۰/۷۸ میلی گرم بر صد گرم وزن تر) در روز اول نگهداری و کمترین آنتوسیانین میوه توت فرنگی (۱۵۸/۸۰ میلی گرم بر صد گرم وزن تر) در روز پانزدهم نگهداری حاصل شد (شکل ۷).

پوشش های خوراکی ترکیبی شامل موم، اسانس های گیاهی و ژل آلونته را با ایجاد یک سد محافظتی چندجانبه،

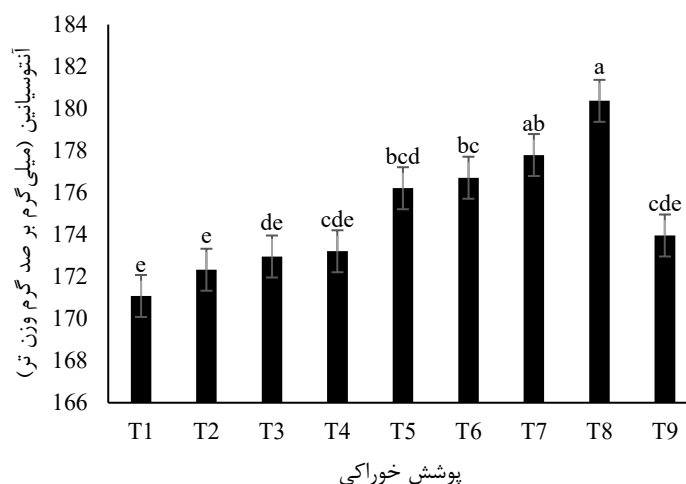
کننده جلوگیری کرده و بدین ترتیب از تخریب زود هنگام ترکیبات مفید میوه ممانعت به عمل می آورد. این مکانیسم های هم افزایی موجب می شود که میوه های پوشش دهی شده نه تنها کیفیت تغذیه ای خود را بهتر حفظ کنند، بلکه در برخی موارد افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی آن ها را منجر می شود.

آنتوسیانین کل میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که آنتوسیانین کل میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، اما اثر متقابل تیمارها بر آنتوسیانین میوه معنی دار نبود (جدول ۴).

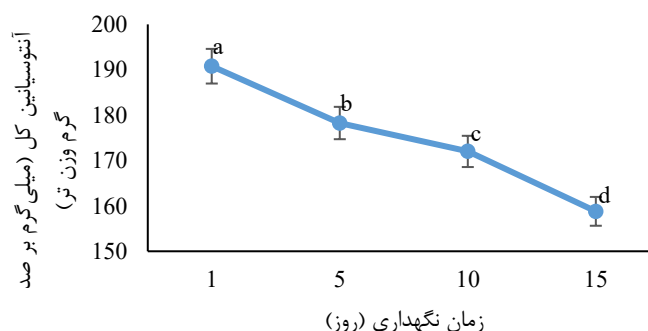
توت‌فرنگی را در برابر عوامل مخرب محیطی مانند اکسیژن، رطوبت، نور و نوسانات دمایی محافظت می‌کنند. این پوشش‌ها با کاهش نرخ اکسیداسیون و جلوگیری از تخریب ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به‌ویژه آنتوسیانین‌ها، نقش مهمی در حفظ کیفیت و ارزش تغذیه‌ای میوه در طول دوره انبارمانی ایفا می‌کنند (دی‌برینو^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

مطالعات نشان می‌دهند که این پوشش‌ها نه تنها از تخریب آنتوسیانین‌ها جلوگیری می‌کنند، بلکه در برخی موارد منجر به افزایش غلظت این ترکیبات ارزشمند نیز می‌شوند (دونگ و وانگ^۲، ۲۰۱۷). مکانیسم‌های متعددی در این فرآیند نقش دارند: اولاً، پوشش‌ها با محدود کردن نفوذ اکسیژن و کاهش استرس اکسیداتیو از تخریب آنتوسیانین‌ها توسط



شکل ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار پوشش خوراکی بر آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

T1= شاهد، T2= کیتوزان ۱/۵ درصد، T3= موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T4= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T5= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۱ درصد، T6= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۲ درصد، T7= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین ۱۰ درصد، T8= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۱۰ درصد، T9= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار.



شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی زمان نگهداری بر آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کنند (سولیس-کنتراس و همکاران، ۲۰۲۱). ثانیاً، این پوشش‌ها با ایجاد یک تنش ملایم، مسیرهای متابولیک تولید آنتوسیانین‌ها را فعال

می‌سازند. ثالثاً، با حفظ رطوبت بهینه و شرایط دمایی مناسب، محیطی ایده‌آل برای پایداری این ترکیبات فراهم می‌کنند (زینگ و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر این، خاصیت

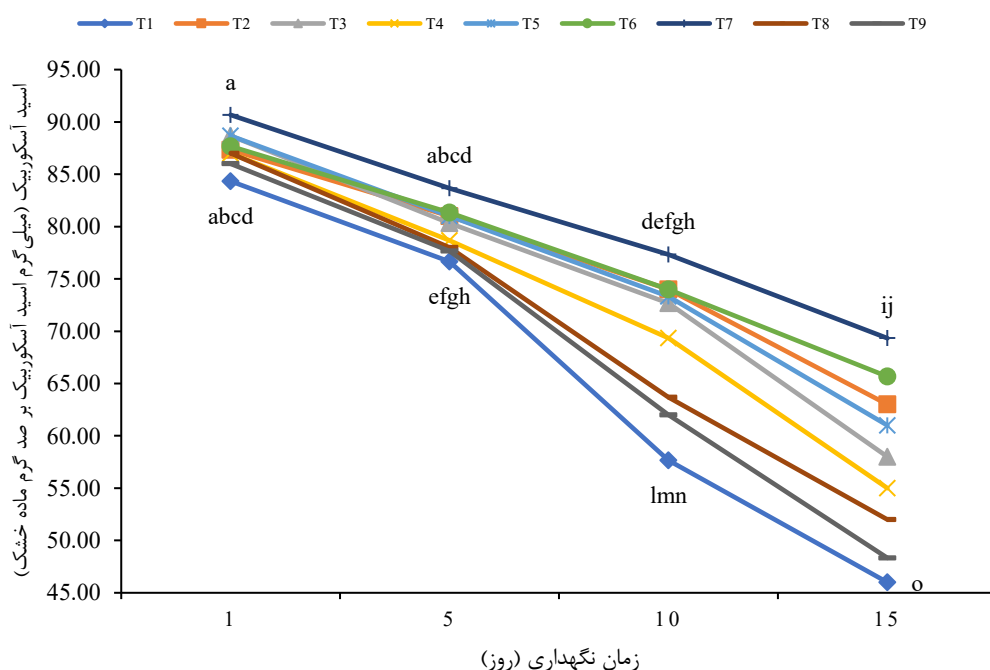
ضدمیکروبی پوشش‌ها از رشد عوامل فاسدکننده جلوگیری کرده و با محافظت از یکپارچگی دیواره سلولی، مانع از تخریب آنتوسیانین‌ها می‌شود (پادل و همکاران، ۲۰۱۹). این اثرات هم‌افزایی منجر به حفظ و در برخی موارد افزایش غلظت آنتوسیانین‌ها و در نتیجه تقویت فعالیت آنتی اکسیدانی توت‌فرنگی در طول دوره انبارمانی می‌گردد.

اسید آسکوربیک میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اسید آسکوربیک میوه توت‌فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴).

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین اسید آسکوربیک میوه توت‌فرنگی (۹۰/۶۷ میلی‌گرم اسید آسکوربیک بر صد گرم ماده خشک) در تیمار کاربرد کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۲ در هزار در روز اول نگهداری و کمترین اسید آسکوربیک میوه توت‌فرنگی (۴۶/۰۰ میلی‌گرم اسید آسکوربیک بر صد گرم ماده خشک) مربوط به تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز پانزدهم نگهداری بود (شکل ۸).

مطالعات نشان می‌دهد که غلظت اسید آسکوربیک (ویتامین C) در توت‌فرنگی به طور طبیعی در طول انبارمانی کاهش



شکل ۸- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل پوشش خوراکی × زمان نگهداری (روز) بر میزان اسید آسکوربیک میوه توت‌فرنگی. حروف

مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

T1 = شاهد، T2 = کیتوزان ۱/۵ درصد، T3 = موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T4 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T5 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۲ در هزار، T6 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۲ در هزار، T7 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۲ در هزار، T8 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۲ در هزار، T9 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار.

پوشش‌های خوراکی حاوی اسانس‌ها و نانواسانس‌ها با مکانیسم‌های چندگانه از تخریب ویتامین C جلوگیری می‌کنند: (۱) ایجاد سد فیزیکی در برابر نفوذ اکسیژن و رادیکال‌های آزاد که منجر به کاهش اکسیداسیون اسید آسکوربیک می‌شود (میداتر و ای-قیکه^۲، ۲۰۱۹)، (۲)

می‌باید، به‌ویژه تحت تأثیر عوامل محیطی مانند دما و مدت زمان نگهداری (زوی^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). این کاهش عمدتاً ناشی از حساسیت بالای اسید آسکوربیک به اکسیداسیون در حضور اکسیژن است، فرآیندی که در دماهای مختلف انبارمانی تشدید می‌شود (یانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

بهینه‌تر می‌کنند. این پوشش‌ها از طریق ایجاد یک سد محافظتی، ترکیبات فرار معطر و طعم‌دهنده را در میوه حفظ کرده و از تبخیر آن‌ها جلوگیری می‌نمایند (سولیس-کنتراس و همکاران، ۲۰۲۱). نانواسانس‌ها با خواص آنتی‌اکسیدانی خود از تخریب اکسیداتیو ترکیبات طعم‌دهنده جلوگیری کرده و با تنظیم رطوبت بهینه، بافت میوه را در شرایط مطلوبی نگه می‌دارند (یو و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر این، برخی اسانس‌ها با تحریک مسیرهای متابولیکی، تولید ترکیبات طعمی و فیتوشیمیایی را افزایش می‌دهند (پادل و همکاران، ۲۰۱۹). خاصیت ضد میکروبی این پوشش‌ها نیز با جلوگیری از فساد میوه به حفظ تازگی و کیفیت حسی آن کمک شایانی می‌کند. همچنین، این پوشش‌ها با محافظت از قندهای طبیعی و اسیدهای آلی در برابر اکسیداسیون، تعادل طعم شیرین-ترش میوه را حفظ می‌نمایند (اشمیت^۳ و همکاران، ۲۰۰۶).

اسیدیته آب‌میوه

اسیدیته آب‌میوه توت‌فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۵). براساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی × زمان نگهداری، بیشترین اسیدیته آب میوه توت-فرنگی (۰/۸۵ درصد سیتریک‌اسید) در تیمار کاربرد کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۲ در هزار در روز پنجم نگهداری حاصل شد و کمترین اسیدیته آب‌میوه توت‌فرنگی (۰/۳۰ درصد سیتریک‌اسید)، مربوط به تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز پانزدهم نگهداری بود (شکل ۱۰).

تنظیم شرایط بهینه رطوبت و دما که از تخریب حرارتی ویتامین C جلوگیری می‌کند (باسوال^۱ و همکاران، ۲۰۲۰)، (۳) تحریک مسیرهای متابولیک تولید اسید آسکوربیک در پاسخ به تنش‌های ملایم ناشی از پوشش، (۴) مهار رشد میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده ویتامین C (الرشید^۲ و همکاران، ۲۰۲۴). به‌ویژه، اسانس‌های گیاهی با دارا بودن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی ذاتی، نه تنها از اکسیداسیون اسید آسکوربیک جلوگیری می‌کنند، بلکه ممکن است به‌عنوان پیش‌ساز در سنتز این ویتامین عمل نمایند. این اثرات هم‌افزایی منجر به حفظ ۴۰-۶۰ درصدی اسید آسکوربیک در مقایسه با نمونه‌های شاهد می‌شود. بنابراین، کاربرد پوشش‌های خوراکی می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای حفظ ارزش تغذیه‌ای توت‌فرنگی در طول زنجیره تأمین مورد استفاده قرار گیرد.

شاخص طعم میوه (TSS/TA)

شاخص طعم (TSS/TA) میوه توت‌فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین شاخص طعم (TSS/TA) میوه توت‌فرنگی (۱۶/۳۷) در شرایط عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز پانزدهم نگهداری و کمترین TSS/TA میوه توت‌فرنگی (۴/۲۶) مربوط به تیمار کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + اسیدسالیسیلیک یک میلی‌مولار در روز اول نگهداری بود (شکل ۹).

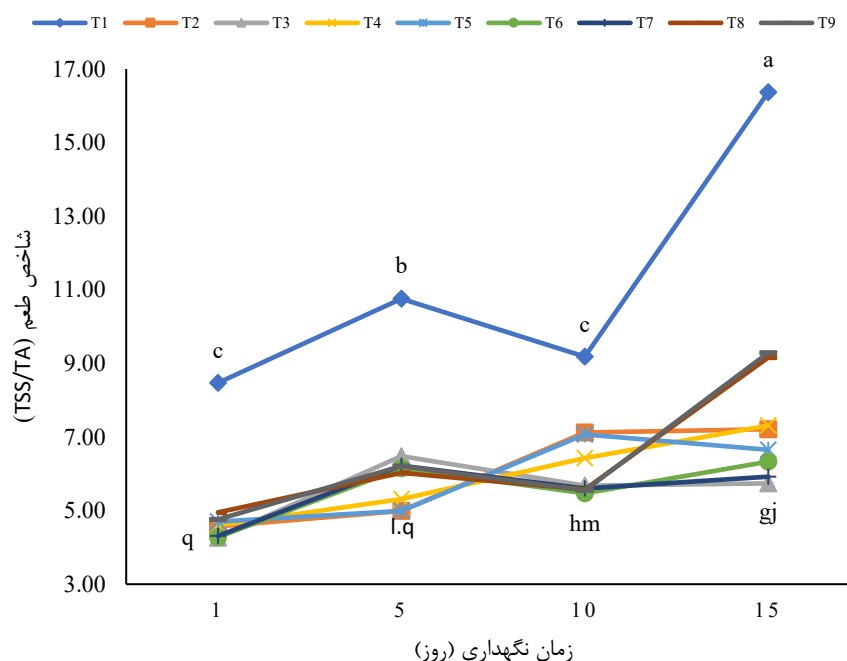
پوشش‌های خوراکی به‌ویژه انواع حاوی اسانس و نانواسانس، نقش مؤثری در حفظ و بهبود کیفیت حسی توت‌فرنگی ایفا می‌کنند. با افزایش بلوغ میوه، مواد جامد قابل حل (TSS) به‌عنوان شاخص اصلی طعم به‌طور طبیعی افزایش می‌یابد (یو و همکاران، ۲۰۲۱)، اما پوشش‌های خوراکی این روند را

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار پوشش خوراکی و زمان نگهداری بر صفات شاخص طعم میوه، اسیدیته آب میوه، فنل کل و

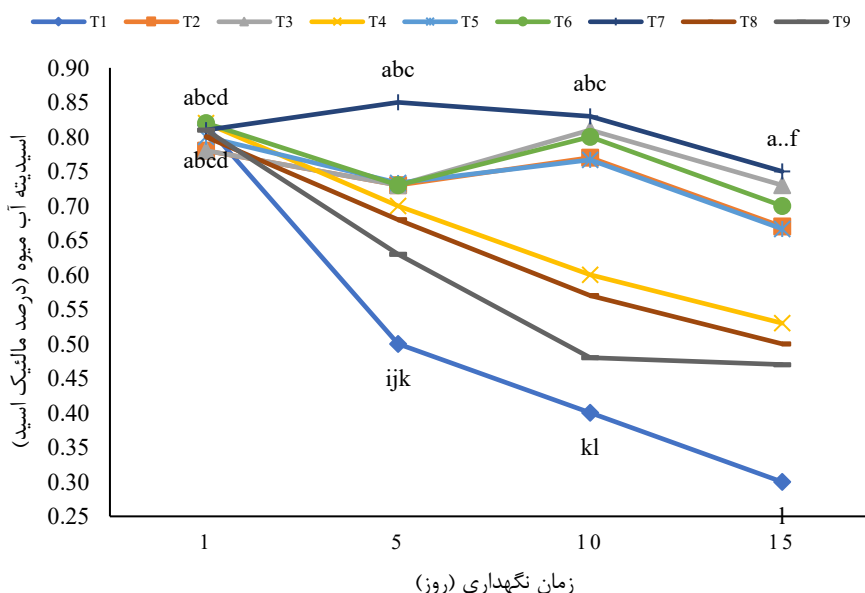
فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز میوه توت‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص طعم	اسیدیته آب میوه	فنل کل	فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز
پوشش خوراکی	۸	۳۸/۸۴**	۰/۱۱**	۲۱۴/۵۹**	۶۰۸۰۰/۰۰**
زمان نگهداری	۳	۴۷/۴۴**	۰/۲۱**	۲۶۷۷/۹۳**	۷۹۳۵۵۸/۹۵**
پوشش خوراکی × زمان نگهداری	۲۴	۴/۳۶**	۰/۰۲**	۳۱/۱۹**	۱۰۱۵۶/۱۷**
خطا	۷۲	۰/۳۰	۰/۰۰۵	۲/۵۲	۱۰۲۸/۷۰
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۴۳	۱۰/۴۴	۳/۱۵	۳/۱۶

** و ** به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و نبود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.



شکل ۹- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل پوشش خوراکی × زمان نگهداری (روز) بر شاخص طعم (TSS/TA) میوه توت‌فرنگی. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.
 T1= شاهد، T2= کیتوزان ۱/۵ درصد، T3= موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T4= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T5= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۱ درصد، T6= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۲ درصد، T7= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین ۱۰ درصد، T8= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین ۱۰ درصد، T9= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار.



شکل ۱۰- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل پوشش خوراکی × زمان نگهداری (روز) بر مواد اسیدپایه آب میوه توت‌فرنگی. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.
 T1= شاهد، T2= کیتوزان ۱/۵ درصد، T3= موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T4= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T5= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۱ درصد، T6= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۲ درصد، T7= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین ۱۰ درصد، T8= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین ۱۰ درصد، T9= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار.

ماندگاری میوه را افزایش می‌دهد. این اثرات ترکیبی اسانس دارچین باعث می‌شود که میوه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد، اسیدیته بالاتر و pH پایین‌تری را در طول دوره انبارمانی حفظ نمایند (ین و همکاران، ۲۰۱۹).

فنل کل میوه

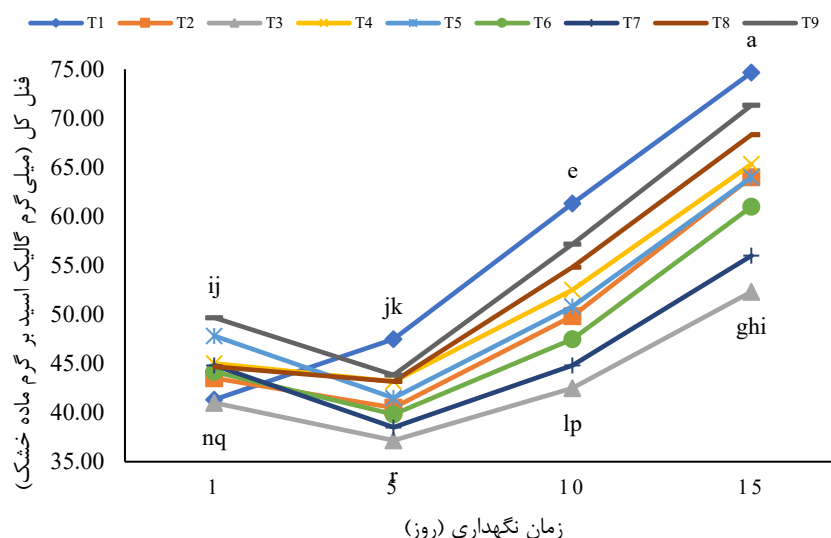
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فنل کل میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

بیشترین فنل کل میوه توت‌فرنگی (۷۴/۶۷ میلی گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) در تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز پانزدهم نگهداری حاصل شد و کمترین فنل کل میوه توت‌فرنگی (۳۷/۱۷ میلی گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک)، مربوط به تیمار کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسیدسالیسیلیک ۱ میلی‌مولار در روز پنجم نگهداری بود (شکل ۱۱).

مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات محتوای فنلی در میوه‌ها طی انبارمانی تحت تأثیر عوامل فیزیولوژیکی و محیطی

تغییرات اسیدیته و pH در طول انبارمانی میوه‌ها از الگوی یکسانی پیروی نمی‌کند و به عوامل مختلفی از جمله نوع میوه و شرایط نگهداری بستگی دارد (شیری^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). اسانس دارچین با دارا بودن ترکیبات فعالی مانند اسیدسینامیک و سایر ترکیبات فنلی، می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر تعادل اسید-باز در سیستم میوه داشته باشد. این ترکیبات به سه روش اصلی بر اسیدیته میوه تأثیر می‌گذارند: اولاً به‌عنوان اسیدهای طبیعی مستقیماً باعث افزایش غلظت اسیدهای آلی می‌شوند. ثانیاً با تحریک فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم اسیدهای آلی مانند اسیدفرمیک و استیک، تولید این ترکیبات را افزایش می‌دهند (یو و همکاران، ۲۰۲۱). ثالثاً با تغییر شرایط میکروبیومی سطح میوه، تعادل فرآیندهای تخمیری را به نفع تولید اسید تغییر می‌دهند (ین و همکاران، ۲۰۱۹).

اسانس دارچین می‌تواند pH میوه را به سمت شرایط اسیدی‌تر سوق دهد (خو و همکاران، ۲۰۲۰). این تغییر نه تنها بر کیفیت حسی میوه تأثیر می‌گذارد، بلکه به‌عنوان یک مکانیسم محافظتی در برابر فساد میکروبی عمل می‌کند. اسیدیته بالاتر محیط نامناسبی برای رشد بسیاری از میکروارگانیسم‌های فاسدکننده ایجاد می‌کند و در نتیجه



شکل ۱۱- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل پوشش خوراکی × زمان نگهداری (روز) بر مواد فنل کل میوه توت‌فرنگی. حروف مشترک

نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

T1= شاهد، T2= کیتوزان ۱/۵ درصد، T3= موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T4= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T5= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین یک درصد، T6= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۲ درصد، T7= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین یک درصد+نانواسانس دارچین دو در هزار، T8= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار.

و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی × زمان نگهداری، بیشترین پلی‌فنل اکسیداز میوه توت‌فرنگی (۱۲۸۰/۰۰) میکرومول بر کیلوگرم در ثانیه) در تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز پانزدهم نگهداری حاصل شد (شکل ۱۲).

پوشش‌های خوراکی حاوی اسانس دارچین از طریق مکانیسم‌های چندجانبه به حفظ کیفیت توت‌فرنگی کمک می‌کنند. این پوشش‌ها با مهار آنزیم‌های تخریب‌کننده مانند پلی‌فنل اکسیداز (PPO) و فنیل آلانین آمونیلایز (PAL) که در مسیر فنیل پروپانویید نقش دارند از قهوه‌ای شدن بافت و کاهش کیفیت میوه جلوگیری می‌نمایند (پینزون و همکاران، ۲۰۲۰؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۰). ترکیبات فعال اسانس دارچین به‌ویژه سینامالدهید با ایجاد پیوند با جایگاه فعال آنزیم‌ها، کاهش دسترسی به اکسیژن مورد نیاز برای فعالیت آنزیمی و ایجاد محیط اسیدی نامناسب، موجب مهار فعالیت این آنزیم‌ها می‌شوند (ژانگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۵؛ ایریس^۵ و همکاران ۲۰۱۵). علاوه بر این، این پوشش‌ها با حفظ یکپارچگی دیواره سلولی، کاهش استرس اکسیداتیو و کنترل رشد میکروارگانیسم‌ها از تخریب ترکیبات فنلی و تغییرات نامطلوب بافتی جلوگیری می‌کنند (هان^۶ و همکاران، ۲۰۱۸؛ پیوخوویاک و اسکورا^۷، ۲۰۲۳). اثر هم‌افزایی این مکانیسم‌ها نه تنها منجر به حفظ ویژگی‌های ظاهری و حسی میوه می‌شود، بلکه ارزش تغذیه‌ای آن را نیز در طول دوره انبارمانی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد.

عمرانباری میوه توت‌فرنگی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عمرانباری میوه توت‌فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۶).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها در اثر اصلی پوشش خوراکی، بیشترین عمرانباری میوه توت‌فرنگی (میانگین عددی ۱۲/۸۰ روز) در تیمار کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبورعسل ۱۰ درصد + نانواسانس دارچین ۲ در هزار و

پیچیده‌ای قرار دارد. در شرایط نامناسب و یا مدت زمان طولانی انبارمانی، تنش‌های فیزیولوژیک می‌توانند منجر به فعال شدن مسیرهای متابولیک ثانویه و افزایش تولید ترکیبات فنلی به‌عنوان مکانیسم دفاعی گیاه شوند (یانگ و همکاران، ۲۰۱۰). با این حال، پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک محیط کنترل‌شده می‌توانند این پاسخ‌های تنشی را تعدیل کنند. این پوشش‌ها با کاهش نفوذ اکسیژن و افزایش نسبی دی‌اکسید کربن در محیط اطراف میوه، میزان تنفس و متعاقباً تولید ترکیبات فنلی ناشی از تنش را کاهش می‌دهند (موکودی‌ساری و همکاران، ۲۰۱۶).

اسانس دارچین به‌عنوان یک ترکیب فعال در پوشش‌های خوراکی، اثرات دوگانه‌ای بر محتوای فنلی میوه دارد. از یک طرف، ترکیبات فعال این اسانس می‌توانند آنزیم‌های اکسیداز مانند پلی‌فنل اکسیداز را تحریک کرده و منجر به تخریب ترکیبات فنلی شوند (دی و همکاران، ۲۰۰۹). از طرف دیگر، خاصیت آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات می‌تواند از اکسیداسیون فنل‌ها جلوگیری کند. پوشش‌های نانویی حاوی اسانس نیز ممکن است با ایجاد تغییرات در ساختار سلولی و نفوذپذیری غشاها، بر پایداری ترکیبات فنلی تأثیر بگذارند (پادل و همکاران، ۲۰۱۹).

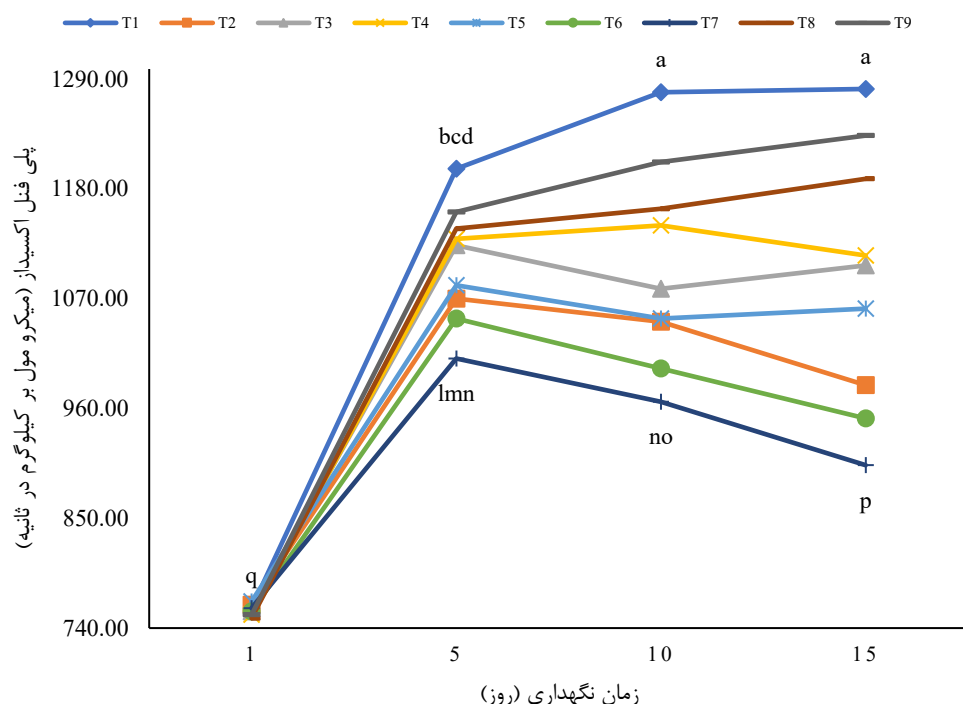
مطالعات اخیر نشان می‌دهد که این پوشش‌ها با تأثیر بر مسیرهای متابولیک، تولید ترکیبات فنلی را به سمت سنتز سایر متابولیت‌های ثانویه در میوه لانگان (*Dimocarpus longan*) (لین^۱ و همکاران، ۲۰۱۸)، گلابی (ناندان^۲ و همکاران، ۲۰۱۷) و بلوبری (مارکوز-ویلاکورت^۳ و همکاران، ۲۰۲۲) سوق دادند. همچنین، تغییرات در تعادل رطوبتی ناشی از این پوشش‌ها می‌تواند بر پایداری ترکیبات فنلی تأثیر گذارد (پرز-وازکز و همکاران، ۲۰۲۳). به طور کلی، اثر نهایی پوشش‌های خوراکی بر محتوای فنلی میوه به تعادل بین این مکانیسم‌های مختلف بستگی دارد که خود تحت تأثیر نوع میوه، ترکیب پوشش و شرایط انبارمانی قرار می‌گیرد.

پلی‌فنل اکسیداز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پلی‌فنل اکسیداز میوه توت‌فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری

5. Raeisi
6. Han
7. Piechowiak and Skóra

1. Lin
2. Nandane
3. Márquez-Villacorta
4. Zhang



شکل ۱۲- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل پوشش خوراکی × زمان نگهداری (روز) بر پلی فنل اکسیداز میوه توت‌فرنگی. حروف مشترک

نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

T1 = شاهد، T2 = کیتوزان ۱/۵ درصد، T3 = موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T4 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T5 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین ۱ درصد، T6 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین ۲ درصد، T7 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین ۱۰ درصد، T8 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین ۲۰ درصد، T9 = کیتوزان ۱/۵ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسانس دارچین ۳۰ درصد.

جدول ۶- نتیجه تجزیه واریانس اثر تیمار پوشش خوراکی بر عمر انباری میوه توت‌فرنگی

منابع تغییر	درجه آزادی	عمر انباری
پوشش خوراکی	۸	۰/۸۲**
خطا	۲۱	۰/۲۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۴/۳۳

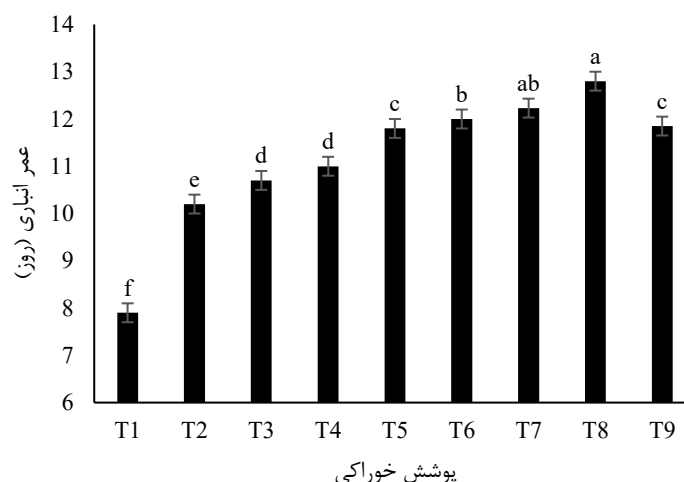
** بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

فعالی مانند سینامالدهید است که با ایجاد محیط نامساعد (شرایط اسیدی) و اختلال در عملکرد غشای سلولی میکرو ارگانیسم‌ها از رشد باکتری‌ها و قارچ‌های فاسدکننده جلوگیری می‌کند (هان و همکاران، ۲۰۱۷؛ یوسف^۱ و همکاران، ۲۰۱۸).

علاوه بر این، این پوشش‌ها با کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده مانند پلی‌فنل‌اکسیداز از تغییرات نامطلوب رنگ و طعم میوه جلوگیری می‌نمایند. همچنین با حفظ یکپارچگی دیواره سلولی و کاهش آسیب‌های فیزیکی ناشی از حمل و نقل، کیفیت ظاهری میوه را بهبود می‌بخشند

کمترین عمر انباری میوه توت‌فرنگی (میانگین عددی ۷/۹۰ روز) در شرایط شاهد مشاهده شد (شکل ۱۳).

پوشش‌های خوراکی حاوی اسانس دارچین از طریق چندین مکانیسم کلیدی به حفظ کیفیت و افزایش عمر انباری توت‌فرنگی کمک می‌کنند. این پوشش‌ها با ایجاد یک سد محافظتی فیزیکی، هم از نفوذ اکسیژن به بافت میوه جلوگیری می‌کنند و هم تبخیر رطوبت را کاهش می‌دهند، که این امر منجر به حفظ تازگی و جلوگیری از اکسیداسیون ترکیبات حساس می‌شود (سان و همکاران، ۲۰۲۲). خاصیت ضد میکروبی قوی اسانس دارچین ناشی از ترکیبات



شکل ۱۳- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار پوشش خوراکی بر عمر انباری میوه توت فرنگی. حروف مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف

معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

T1= شاهد، T2= کیتوزان ۱/۵ درصد، T3= موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T4= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد، T5= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین یک درصد، T6= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس دارچین ۲ درصد، T7= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین یک در هزار، T8= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانواسانس دارچین دو در هزار، T9= کیتوزان ۱/۵ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار.

آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO) معنی دار بود. پوشش‌های ترکیبی حاوی کیتوزان (۱/۵٪)، موم زنبور عسل (۱۰٪) و نانواسانس دارچین (۲ در هزار) به‌طور معنی‌داری از کاهش وزن و سفتی بافت میوه جلوگیری نمودند. این تیمار با حفظ ۱۲/۸ روزه کیفیت میوه، بیشترین عمر انباری را در بین تیمارها نشان داد. از نظر شاخص‌های کیفی، این تیمار موجب افزایش ۲۳/۵ درصدی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ۱۸/۷ درصدی محتوای آنتوسیانین کل نسبت به شاهد شد. همچنین، در حفظ اسید آسکوربیک (ویتامین C) مؤثر بود و کاهش طبیعی آن را در طول انبارمانی به حداقل رساند. نتایج نشان داد که نانوفرمولاسیون اسانس دارچین به‌دلیل رهایش کنترل‌شده و پایداری بیشتر در مقایسه با اسانس معمولی دارچین، تأثیر بهتری در حفظ ویژگی‌های کیفی داشت. این مطالعه مؤید کارایی پوشش‌های ترکیبی به‌ویژه فرمولاسیون حاوی نانواسانس دارچین در افزایش عمر انباری توت‌فرنگی است.

(پرز-وازکز و همکاران، ۲۰۲۳). این اثرات هم‌افزایی نه تنها منجر به کاهش نرخ فساد می‌شود، بلکه ارزش تغذیه‌ای و ویژگی‌های حسی میوه را نیز در طول دوره انبارمانی حفظ می‌نماید. بنابراین، استفاده از این پوشش‌ها به‌عنوان یک روش مؤثر و طبیعی برای افزایش عمر انباری توت‌فرنگی و کاهش ضایعات پس از برداشت توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که کلیه صفات کیفی و فیزیولوژیکی توت‌فرنگی تحت تأثیر معنی‌دار ($p \leq 0.01$) تیمارهای پوششی و مدت زمان انبارمانی قرار گرفتند. اثر متقابل این عوامل بر پارامترهای مواد جامد محلول کل (TSS)، سفتی بافت میوه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای اسید آسکوربیک، شاخص طعم (TSS/TA)، اسیدیته قابل تیتراسیون، فنل کل و فعالیت

منابع

- جایمند، ک. و رضایی، م.ب. ۱۳۹۰. دستگاه‌های تقطیر، روش‌های آزمون و شاخص‌های بازدارندگی در تجزیه اسانس. انجمن گیاهان دارویی، تهران. ۳۵۰ ص.
- جلیلی‌م‌زندی، ر. ۱۳۹۱. فیزیولوژی بعد از برداشت (جابجایی و نگهداری میوه، سبزی، گیاهان زینتی و گیاهان دارویی). انتشارات جهاد دانشگاهی، ارومیه. ۶۲۴ ص.

جهان‌تیغی، ف.، قلی‌پورکنعانی، ح.، ابراهیمی، پ.، جعفریان، ح. و شاهسونی، د. ۱۳۹۵. استفاده از اسانس میخک و نانواسانس میخک (*Eugenia caryophyllata*) در بیهوشی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*). همایش ملی گیاهان دارویی معطر و ادویه‌ای.

حسینی‌فرهی، م.، رادی، م.، باقری، ف. و جمشیدی، ا. ۱۳۹۷. بررسی ویژگی‌های کیفی و ارگانولپتیکی پس از برداشت میوه توت فرنگی با کاربرد ژل آلوه‌ورا، استیک اسید و پرتو فرابنفش بی. مجله علوم و فنون باغبانی ایران، ۱۹(۱): ۹۹-۱۱۴.

دهقانی، ب.، قنبری‌چهرمی، م. و سعیدی‌سار، س. ۱۴۰۰. تأثیر اسانس آویشن شیرازی (*Zataria multiflora boiss.*) بر کیفیت انبارمانی میوه گلابی (*Pyrus communis*) رقم 'Green anjou'. پژوهش‌های میوه‌کاری، ۱۶(۱): ۱۲۹-۱۴۷.

سلیمی، ف. ۱۳۹۵. مروری بر خواص دارویی و ترکیبات شیمیایی گیاه توت‌فرنگی. اولین سمپوزیوم ملی میوه‌های ریز، ۴۷۱-۴۷۵.

عشقی، س.، هاشمی، م.، محمدی، ع.، بدیعی، ف.، محمدحسینی، ز.، احمدی‌صومعه، ک. و قناتی، ک. ۱۳۹۲. تأثیر پوشش نانوامولسیون حاوی کیتوزان بر افزایش ماندگاری و ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی پس از برداشت. مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۲(۸): ۹-۱۹.

قاسمی‌تولائی، م.، رامین، ع.ا. و امینی، ف. ۱۳۹۴. تأثیر پوشش خوراکی کیتوزان بر کیفیت و افزایش عمر پس از برداشت خیار رقم زمرد. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۵(۱۵): ۱۸۹-۱۹۸.

مستوفی، ی. و نجفی، ف. ۱۳۸۴. روش‌های آزمایشگاهی تجزیه‌ای در علوم باغبانی. انتشارات دانشگاه تهران (ترجمه). ۱۳۶ ص.

میرجلیلی، س.ع. و پیرو، ح. ۱۴۰۰. بررسی تأثیر اسیدسالیسیلیک بر افزایش عمرانباری میوه انگور *Vitis vinifera*. اولین همایش ملی گیاهان دارویی، کارآفرینی و تجاری‌سازی، جیرفت.

نصرالله‌زاده‌اصل، ن. ۱۳۹۲. تأثیر پوشش‌های خوراکی در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌ها. فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱(۴۲): ۳۱.

- Al-Rashdi, S., Al-Subhi, N., Al-Dairi, M. and Pathare, P.B. 2024. Effect of a Moringa oil–Beeswax edible coating on the shelf-life and quality of fresh cucumber. *Processes*, 12(6): 1148.
- Baswal, A.K., Dhaliwal, H.S., Singh, Z., Mahajan, B.V.C., Kalia, A. and Gill, K.S. 2020. Influence of carboxy methylcellulose, chitosan and beeswax coatings on cold storage life and quality of Kinnow mandarin fruit. *Scientia Horticulturae*, 260: 108887.
- Carole, D.A., Derricka, M.D.R.T., Dé, M.H., Souaibou, A., Cé, M.E., Joë, B.N., Dioril, A.D., Didier, M.B., Charlen, N.I.B., Emmanuel, K. and Xavier, K.F.A. 2024. Strawberry (*Fragaria* spp.): cultivation, production, consumption, and marketing in cameroon. *Agricultural Sciences*, 15(4): 449-471.
- Carpena, M., Nuñez-Estevéz, B., Soria-Lopez, A., Garcia-Oliveira, P. and Prieto, M.A. 2021. Essential oils and their application on active packaging systems: A review. *Resources*, 10(1): 7.
- De Bruno, A., Gattuso, A., Ritorto, D., Piscopo, A. and Poiana, M. 2023. Effect of edible coating enriched with natural antioxidant extract and bergamot essential oil on the shelf life of strawberries. *Foods*, 12(3): 488.
- Dong, F. and Wang, X. 2017. Effects of carboxymethyl cellulose incorporated with garlic essential oil composite coatings for improving quality of strawberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104: 821-826.
- Du, W.X., Olsen, C.W., Avena Bustillos, R.J., McHugh, T.H., Levin, C.E. and Friedman, M. 2009. Effects of allspice, cinnamon, and clove bud essential oils in edible apple films on physical properties and antimicrobial activities. *Journal of Food Science*, 74(7): M372-M378.
- Efendi, D. and Hermawati, H. 2010. The use of bee wax, chitosan and BAP to prolong shelflife of Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit. *Jurnal Hortikultura Indonesia (JHI)*, 1(1): 32-39.
- Eshetu, A., Ibrahim, A.M., Forsido, S.F. and Kuyu, C.G. 2019. Effect of beeswax and chitosan treatments on quality and shelf life of selected mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Heliyon*, 5(1): e01116.
- Gonzalez, E.M., de Ancos, B. and Cano, M.P. 1999. Partial characterization of polyphenol oxidase activity in raspberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10): 4068-4072.
- Han, Y., Yu, M. and Wang, L. 2018. Physical and antimicrobial properties of sodium alginate/carboxymethyl cellulose films incorporated with cinnamon essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*, 15: 35-42.

- Hesami, G., Darvishi, S., Zarei, M. and Hadidi, M. 2021. Fabrication of chitosan nanoparticles incorporated with *Pistacia atlantica* subsp. *kurdica* hulls' essential oil as a potential antifungal preservative against strawberry grey mould. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(9): 4215-4223.
- Horison, R., Sulaiman, F.O., Alfredo, D. and Wardana, A.A. 2019. Physical characteristics of nanoemulsion from chitosan/nutmeg seed oil and evaluation of its coating against microbial growth on strawberry. *Food Research*, 3(6): 821-827.
- Lee, J., Durst, R.W. and Wrolstad, R.E. 2005. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5): 1269-1278.
- Lin, M.G., Lasekan, O., Lasekan, O.O., Nazamid, S. and Bejo, S.K. 2018. Effect of chitosan and carrageenan-based edible coatings on post-harvested longan (*Dimocarpus longan*) fruits. *CYTA - Journal of Food*, 16(1): 490-497.
- Liu, J., Liu, Y., Shao, S., Zheng, X. and Tang, K. 2022. Soluble soybean polysaccharide/carboxymethyl chitosan coatings incorporated with lavender essential oil: Structure, properties and application in fruit preservation. *Progress in Organic Coatings*, 173: 107178.
- Márquez-Villacorta, L., Pretell-Vásquez, C. and Hayayumi-Valdivia, M. 2022. Optimization of edible coating with essential oils in blueberries. *Ciencia e Agrotecnologia*, 46: e006022.
- Martínez, K., Ortiz, M., Albis, A., Gilma Gutiérrez Castañeda, C., Valencia, M.E. and Grande Tovar, C.D. 2018. The effect of edible chitosan coatings incorporated with *Thymus capitatus* essential oil on the shelf-life of strawberry (*Fragaria x ananassa*) during cold storage. *Biomolecules*, 8(4): 155.
- McDonald, S., Prenzler, P.D., Antolovich, M. and Robards, K. 2001. Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food Chemistry*, 73(1): 73-84.
- Muddather, A.E. and Abu-Goukh, A.B.A. 2019. Effect of Maleic Hydrazide and Waxing on Quality and Shelf-life of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruits. *University of Khartoum Journal of Agricultural Sciences*, 24(1): 59-72.
- Mukdisari, Y., Suketi, K. and Widodo, W.D. 2016. Fruit coating with chitosan and beeswax to extend papaya shelf life. *Journal of Tropical Crop Science Vol*, 3(3).
- Nandane, A.S., Dave, R.K. and Rao, T.R. 2017. Optimization of edible coating formulations for improving postharvest quality and shelf life of pear fruit using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 54(1): 1-8.
- Newerli-Guz, J., Śmiechowska, M., Drzewiecka, A. and Tylingo, R. 2023. Bioactive ingredients with health-promoting properties of strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duchesne). *Molecules*, 28(6): 2711.
- Oroojalian, F., Kasra-Kermanshahi, R., Azizi, M. and Bassami, M.R. 2010. Phytochemical composition of the essential oils from three Apiaceae species and their antibacterial effects on food-borne pathogens. *Food Chemistry*, 120(3): 765-770.
- Oyom, W., Xu, H., Liu, Z., Long, H., Li, Y., Zhang, Z., Bi, Y., Tahergorabi, R. and Prusky, D. 2022. Effects of modified sweet potato starch edible coating incorporated with cumin essential oil on storage quality of 'early crisp'. *LWT*, 153: 112475.
- Paudel, S.K., Bhargava, K. and Kotturi, H. 2019. Antimicrobial activity of cinnamon oil nanoemulsion against *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* spp. on melons. *LWT*, 111: 682-687.
- Perez-Vazquez, A., Barciela, P., Carpena, M. and Prieto, M.A. 2023. Edible coatings as a natural packaging system to improve fruit and vegetable shelf life and quality. *Foods*, 12(19): 3570.
- Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M.S., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G. and Scortichini, M. 2015. Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. *Foods*, 4(4): 501-523.
- Peyromousavi, M., Kashiri, M., Maghsoudlou, Y., Komeiri, M. and Alami, M. 2018. Investigation the effect of type and plasticizer concentration on characteristic of novel biodegradable film based fine wheat powder. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 15(85): 33-47.
- Piechowiak, T. and Skóra, B. 2023. Edible coating enriched with cinnamon oil reduces the oxidative stress and improves the quality of strawberry fruit stored at room temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(5): 2389-2400.
- Pinzon, M.I., Sanchez, L.T., Garcia, O.R., Gutierrez, R., Luna, J.C. and Villa, C.C. 2020. Increasing shelf life of strawberries (*Fragaria* ssp) by using a banana starch-chitosan *Aloe vera* gel composite edible coating. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(1): 92-98.

- Raeisi, M., Tajik, H., Yarahmadi, A. and Sanginabadi, S. 2015. Antimicrobial effect of cinnamon essential oil against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Health Scope*, 4(4).
- Resende, N.S., Gonçalves, G.A.S., Reis, K.C., Tonoli, G.H.D. and Boas, E.V.B.V. 2018. Chitosan/cellulose nanofibril nanocomposite and its effect on quality of coated strawberries. *Journal of Food Quality*, 2018(1): 1727426.
- Saki, M., ValizadehKaji, B., Abbasifar, A. and Shahrjerdi, I. 2019. Effect of chitosan coating combined with thymol essential oil on physicochemical and qualitative properties of fresh fig (*Ficus carica* L.) fruit during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(2): 1147-1158.
- Sapper, M., Palou, L., Pérez-Gago, M.B. and Chiralt, A. 2019. Antifungal starch-gellan edible coatings with thyme essential oil for the postharvest preservation of apple and persimmon. *Coatings*, 9(5): 333.
- Schmidt, E., Jirovetz, L., Buchbauer, G., Eller, G.A., Stoilova, I., Krastanov, A., Stoyanova, A. and Geissler, M. 2006. Composition and antioxidant activities of the essential oil of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) leaves from Sri Lanka. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 9(2): 170-182.
- Shiri, M.A., Ghasemnezhad, M., Bakhshi, D. and Saadatian, M. 2011. Effects of ascorbic acid on phenolic compounds and antioxidant activity of packaged fresh cut table grapes. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 10(7).
- Singleton, V.L. and Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3): 144-158.
- Solís-Contreras, G.A., Rodríguez-Guillermo, M.C., de la Luz Reyes-Vega, M., Aguilar, C.N., Rebolloso-Padilla, O.N., Corona-Flores, J., de Abril Alexandra Soriano-Melgar, L. and Ruelas-Chacon, X. 2021. Extending shelf-life and quality of minimally processed golden delicious apples with three bioactive coatings combined with cinnamon essential oil. *Foods*, 10(3): 597.
- Sun, T., Powers, J.R. and Tang, J. 2007. Evaluation of the antioxidant activity of asparagus, broccoli and their juices. *Food Chemistry*, 105(1): 101-106.
- Wong, Y.C., Ahmad-Mudzaqqir, M.Y. and Wan-Nurdiyana, W.A. 2014. Extraction of essential oil from cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*). *Oriental Journal of Chemistry*, 30(1): 37.
- Wongmetha, O. and Ke, L.S. 2012. The quality maintenance and extending storage life of mango fruit after postharvest treatments. *World Academic of Science Engineering and Technology*, 6(9): 844-9.
- Xing, Y., Lin, H., Cao, D., Xu, Q., Han, W., Wang, R., Che, Z. and Li, X. 2015. Effect of chitosan coating with cinnamon oil on the quality and physiological attributes of China jujube fruits. *BioMed Research International*, 2015(1): 835151.
- Xu, J., Zhou, L., Miao, J., Yu, W., Zou, L., Zhou, W., Liu, C. and Liu, W. 2020. Effect of cinnamon essential oil nanoemulsion combined with ascorbic acid on enzymatic browning of cloudy apple juice. *Food and Bioprocess Technology*, 13(5): 860-870.
- Yang, F.M., Li, H.M., Li, F., Xin, Z.H., Zhao, L.Y., Zheng, Y.H. and Hu, Q.H. 2010. Effect of nano-packing on preservation quality of fresh strawberry (*Fragaria ananassa* Duch. cv Fengxiang) during storage at 4 C. *Journal of Food Science*, 75(3): C236-C240.
- Yin, C., Huang, C., Wang, J., Liu, Y., Lu, P. and Huang, L. 2019. Effect of chitosan-and alginate-based coatings enriched with cinnamon essential oil microcapsules to improve the postharvest quality of mangoes. *Materials*, 12(13): 2039.
- Yousuf, B., Qadri, O.S. and Srivastava, A.K. 2018. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. *Lwt*, 89: 198-209.
- Yu, K., Xu, J., Zhou, L., Zou, L. and Liu, W. 2021. Effect of chitosan coatings with cinnamon essential oil on postharvest quality of mangoes. *Foods*, 10(12): 3003.
- Zhang, Y., Ma, Q., Critzer, F., Davidson, P.M. and Zhong, Q. 2015. Effect of alginate coatings with cinnamon bark oil and soybean oil on quality and microbiological safety of cantaloupe. *International Journal of Food Microbiology*, 215: 25-30.
- Zhou, Y., Hu, L., Chen, Y., Liao, L., Li, R., Wang, H., Mo, Y., Lin, L. and Liu, K. 2022. The combined effect of ascorbic acid and chitosan coating on postharvest quality and cell wall metabolism of papaya fruits. *LWT*, 171: 114134.