



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

اثر موم زنبور عسل و ژل آلوه‌ورا همراه با نانو امولسیون میخک (*Syzygium aromaticum*) و اسید سالیسیلیک بر عمر

قفسه‌ای و خصوصیات کیفی میوه توت فرنگی (*Fragaria × ananassa*)

کیمیا نجفی ورنژاد^۱، سپیده کلاته‌جاری^{۲*}، مریم قراچورلو^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

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

۳- استاد، گروه علوم و مهندسی کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲۶

کلمات کلیدی:

انبارداری،

توت فرنگی،

ضایعات،

سفتی بافت،

شاخص طعم.

DOI: 10.22034/FSCT.22.166.255.

* مسئول مکاتبات:

kalatehjari@srbiau.ac.ir

توت‌فرنگی به‌عنوان میوه‌ای با محبوبیت بالا و فسادپذیری سریع، نیازمند روش‌های ایمن و طبیعی برای افزایش ماندگاری پس از برداشت است. پژوهش حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور پوشش‌های خوراکی و زمان مختلف انبارداری، در ۳ تکرار انجام گرفت. میوه‌ها پس از تیمار در داخل انبار تاریک با دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد که تهویه به صورت مرتب انجام می‌شد، نگهداری شدند. نتایج نشان داد میوه‌های تیمار نشده (شاهد) پس از ۱۵ روز نگهداری در انبار کمترین مقدار pH آب میوه را در مقایسه با سایر تیمارها داشتند، تیمار ترکیبی ژل آلوه‌ورا ۳۰ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار مؤثرترین روش بود که با ایجاد لایه محافظ، از تخریب سلولی جلوگیری و کیفیت میوه را حفظ کرد. این تیمار میزان اسید آسکوربیک را نسبت به شاهد ۲ برابر افزایش داد و مواد جامد محلول را به ۹/۰۳ درصد در روز پانزدهم رساند. کمترین کاهش وزن (۹/۱ درصد) و کمترین تغییرات در اسیدهای قابل تیتراسیون (کاهش ۱۸/۶۴ درصدی) در روز پانزدهم، مربوط به این تیمار بود. همچنین تیمار حاوی نانوامولسیون میخک عمر انباری میوه را به‌طور چشمگیری افزایش داد. یافته‌ها نشان می‌دهد این ترکیبات طبیعی می‌توانند جایگزین مناسبی برای مواد شیمیایی در صنایع پس از برداشت باشند و برای میوه‌های حساس مانند توت‌فرنگی بسیار مناسب هستند.

۱-مقدمه

توت فرنگی (*Fragaria × ananassa*) از خانواده گلسرخیان، به دلیل دارا بودن اسید آسکوربیک و آنتوسیانین، دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالا و خواص درمانی مانند تقویت سیستم ایمنی و کاهش خطر سرطان است. با این حال، این میوه به دلیل نرخ تنفس بالا، محتوای آب زیاد و فعالیت متابولیکی شدید، بسیار فسادپذیر است [۱]. کاهش کیفیت و کمیت توت‌فرنگی عمدتاً در فاصله بین برداشت و مصرف اتفاق می‌افتد. تغییر در تعادل گازها پس از برداشت، منجر به افزایش تنفس، کاهش متابولیسم، پوسیدگی و تسریع پیری میوه می‌شود [۲].

اسید سالیسیلیک به عنوان یک تنظیم‌کننده رشد درونی، فرایندهای فیزیولوژیک مانند رشد، فتوسنتز، تولید اتیلن و مقاومت به تنش‌ها را تنظیم می‌کند [۳]. نانوامولسیون‌ها به دلیل پایداری جنبشی بالا، شفافیت نوری و افزایش زیست‌دسترسی، نسبت به امولسیون‌های معمولی برتری دارند. این سیستم‌ها به عنوان حامل‌های دارویی نیز کاربرد داشته و به دلیل سازگاری با محیط زیست، تجزیه‌پذیری زیستی و ثبات ترمودینامیکی، مورد توجه هستند. میخک دارویی (*Syzygium aromaticum*) با ترکیب اصلی اوژنول، دارای خواص ضدباکتری، ضدقارچ و آنتی‌اکسیدانی است و به عنوان نگهدارنده طبیعی مواد غذایی استفاده می‌شود [۴]. آلوئه‌ورا (*Aloe vera*) نیز به دلیل خواص درمانی و دارویی، در صنایع غذایی و داروسازی کاربرد گسترده‌ای دارد. ژل آلوئه‌ورا حاوی پلی‌ساکاریدها، قندهای محلول، پروتئین‌ها و ویتامین‌هاست و به عنوان پوشش محافظ میوه‌ها استفاده می‌شود [۳]. این ژل با ایجاد یک لایه محافظ در برابر اکسیژن و رطوبت، از فساد میکروبی جلوگیری می‌کند [۵]. همچنین ترکیبات لیپیدی مانند موم زنبور عسل به دلیل خاصیت کندکنندگی، در پوشش‌دهی میوه‌ها استفاده می‌شوند. این پوشش‌ها با کاهش تبادلات گازی و تعرق، عمر انباری میوه را افزایش می‌دهند [۶]. موم زنبور عسل حاوی ترکیباتی مانند فلاونوئیدها و ترپنوئیدهاست که خواص ضد میکروبی و

آنتی‌اکسیدانی دارند. در یک مطالعه، پوشش نانوذرات موم زنبور عسل به مدت ۲۱ روز روی توت‌فرنگی اعمال شد و نتایج نشان داد که این پوشش باعث کاهش تنفس، حفظ استحکام بافت، حفظ رنگ و کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌ها شد [۷]. همچنین، پوشش موم ۱ و ۱/۵ درصد روی انبه، عمر انباری آن را تا دو ماه افزایش داد [۸]. در مطالعه دیگری، پوشش ژل آلوئه‌ورا (۶۰ درصد) همراه با اسانس آویشن شیرازی روی سیب گلاب اعمال شد و نتایج نشان داد که این تیمار کاهش وزن و شاخص رسیدگی را به ترتیب ۳/۸ و ۳۱/۴ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش داد. همچنین، این پوشش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و استحکام بافت میوه را بهبود بخشید [۹].

پوشش‌های خوراکی نانوامولسیون به دلیل کاهش اندازه ذرات و افزایش کارایی، در حفظ کیفیت میوه‌ها مؤثرند. این پوشش‌ها به دلیل خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی، در افزایش عمر انباری میوه‌ها مؤثرند [۱۰؛ ۱۱]. در تحقیقات دیگر، اثر اسانس‌های گیاهی مانند آویشن، سیر و زیره روی میوه‌های مختلف بررسی شد. به عنوان مثال، اسانس آویشن شیرازی در غلظت ۴۰۰ میکرولیتر بر لیتر روی انبه مؤثرتر بود [۱۲]، و اسانس سیر در غلظت ۰/۱ درصد اثر ضد قارچی بهتری روی موز داشت [۱۳]. همچنین، اسانس اسطوخودوس از قهوه‌ای شدن موز جلوگیری کرد [۱۴].

در نهایت، پوشش‌های خوراکی با کنترل تبادلات گازی، کاهش تعرق و جلوگیری از آسیب‌های فیزیکی، نقش کلیدی در حفظ کیفیت میوه‌ها پس از برداشت دارند [۱۵]. این روش‌ها نه تنها ماندگاری محصولات را افزایش می‌دهند، بلکه از نظر زیست‌محیطی نیز سازگارتر هستند.

این تحقیق با هدف بررسی اثر اسانس و نانوامولسیون گیاه دارویی میخک، ژل آلوئه‌ورا، موم زنبور عسل و سالیسیلیک اسید بر صفات کیفی و افزایش عمر نگهداری و طولانی‌تر کردن تازگی میوه توت فرنگی در مدت زمان‌های مختلف انبارداری انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق 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 توت فرنگی رقم آلبیون بود که از گلخانه تولید تجاری توت فرنگی 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. مواد بیماری شامل موم زنبور عسل (تهیه شده از یکی از عطاری‌های شهر تهران)، ژل آلئوئورا (تهیه شده از گیاه آلئوئورا موجود در گلخانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات)، اسید سالیسیلیک (با آرم تجاری مرک آلمان)، نانوامولسیون و اسانس میخک دارویی، بود.

تیمارها شامل ۱- شاهد بدون پوشش، ۲- ژل آلئوئورا، ۳- موم زنبور عسل، ۴- ژل آلئوئورا ۳۰ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد، ۵- ژل آلئوئورا ۳۰ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانوامولسیون میخک ۱ در هزار، ۶- ژل آلئوئورا ۳۰ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+نانوامولسیون میخک ۲ در هزار، ۷- ژل آلئوئورا ۳۰ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس میخک ۱ درصد، ۸- ژل آلئوئورا ۳۰ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسانس میخک ۲ درصد، ۹- ژل آلئوئورا ۳۰ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار بود.

روش تهیه تیمارها

موم زنبور عسل در ظرف ۲ لیتری قرار داده شده و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس ذوب شدند و به طور مداوم حرارت داده شد تا به دمای ۸۰-۹۰ درجه سلسیوس برسد. اسید اولئیک (۱۲/۸ میلی‌لیتر) به موم ذوب شده اضافه و سپس ۲۵/۶ میلی‌لیتر تری اتانول آمین (TEA) افزوده شد. با هم زدن مداوم سپس آب مقطر (که از قبل در همان دمای ۸۰-۹۰ درجه سلسیوس گرم شده بود) به آرامی به مدت ۵ دقیقه به آن اضافه شد و در هوا خشک گردید [۱۶]. 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 به دست آمد که با متانول ۸۰ درصد نسبت ۱ به ۱۰ حل شده و به عنوان محلول پایه استفاده شد. برای تهیه ۱۰ درصد موم، مقدار مورد نظر از عصاره به حجم ۱۰۰ رسانده شد و برای تیماردهی به صورت اسپری محلول‌پاشی روی سطح میوه استفاده گردید [۱۷].

با استفاده از ۲۵ گرم گل خشک درخت میخک دارویی به روش تقطیر با آب و با دستگاه کلونجر (شیمی‌آزما گستر ایران) به مدت ۳ ساعت اسانس میخک تهیه شد. اسانس به دست آمده به کمک سولفات سدیم آبیگری و درون شیشه تیره در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال تا زمان استفاده نگهداری شد [۱۸].

به منظور تهیه نانو امولسیون میخک دارویی از توئین ۸۰ و اسپن ۸۰ استفاده شد. نانو امولسیون حاوی ۲ درصد وزنی سورفکتانت، ۹۶ درصد وزنی آب و ۲ درصد وزنی اسانس است. 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 و پس از آن مخلوط اسانس و اسپن به آب و توئین اضافه شده و در نهایت مخلوط حاصل یک دقیقه هم زده شده و بعد از آن به مدت ۱۵ دقیقه توسط یک سونیکاتور آزمایشگاهی (مدل UP200HT از شرکت Hielscher کشور آلمان) با توان ۴۰۰ وات و فرکانس ۲۰/۵ کیلو هرتز تحت تاثیر امواج فراصوت قرار گرفت. برای انتقال امواج از ترانسیدوسر 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 [۱۹].

پس از جدا کردن اپیدرم بالای برگ گیاه آلئوئورا، ژل آن برداشته شده و به کمک دستگاه همزن برقی استخراج شد.

پوشش خوراکی ژل آلوئه‌ورا در غلظت ۳۰ درصد با آب مقطر ۳۰ درصد وزنی رقیق و تهیه شد.

۱-۲ روش اجرای آزمایش

میوه‌های توت فرنگی با غوطه‌وری در آب مقطر شسته و برای خشک شدن در هوای اتاق قرار داده شدند. پس از آن، پوشش‌دهی میوه توت فرنگی با غوطه‌وری آن‌ها به مدت ۳ دقیقه در هر تیمار شامل اسانس، نانواسانس یا اسید سالیسیلیک انجام شد. 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 ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 75 ± 5 درصد قرار داده شد. در هر تکرار ۲۵۰ گرم توت فرنگی (حاوی ۱۵ عدد توت فرنگی تازه) قرار داشت، ارزیابی صفات مختلف در روزهای اول، ۵، ۱۰ و ۱۵ انجام شد.

۲-۲ 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 [۲۰].

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

اسیدیته قابل تیتراسیون: ۵ میلی‌لیتر از عصاره آب میوه با ۴۵ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و با هیدروکسید سدیم (۰/۱) نرمال تا زمانی که pH به حدود ۸/۲ برسد؛ تیتر گردید. نتایج بصورت درصد سیتریک اسید بیان شد [۲۰].

مواد جامد محلول: برای اندازه‌گیری این شاخص از میوه‌ها آبگیری نموده و میزان مواد جامد محلول با استفاده از رفاکتر دیجیتال ATG تعیین و نتایج بصورت درصد بریکس Brix بیان شد [۲۰].

سفتی بافت میوه: با چاقو در سه نقطه به اندازه یک سانتی‌متر از میوه برداشته و سفتی گوشت میوه با پیستون دستگاه سفتی‌سنج (پنترومتر دستی) بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ثبت گردید.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: از رادیکال آزاد DPPH (2,2-Diphenyl- Picryl- Hydrazyl) جهت تعیین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی 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 DPPH (8mg/100) 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 [۲۱].

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

R%: درصد مهار AD: جذب DPPH در ۵۱۷ نانومتر

AS: جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر

برای مقایسه فعالیت عصاره‌ها از پارامتر IC_{50} استفاده شد (IC_{50} غلظتی از عصاره است که ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کند).

آنتوسیانین میوه: با استفاده از ۱۰ گرم از میوه که به کمک محلول استخراج متانول و اسید کلریدریک ۱ نرمال (متانول اسیدی) سائیده شد، آنتوسیانین میوه بدست 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 ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در نهایت عصاره جدا شده با 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 میلی‌گرم در گرم بافت تازه، بیان شد [۲۲].

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

A: میزان جذب نور

اسید آسکوربیک (ویتامین ث): به روش تیتراسیون دو مرحله‌ای اکسیداسیون- احیا اسید آسکوربیک 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 سانتی‌گراد تغلیظ گردید. ۵۰ میلی‌گرم از عصاره حاصل با ۵۰ میلی‌لیتر اسید متافسفریک ۱ درصد به مدت ۴۵ دقیقه عصاره‌گیری شد. عصاره مجدد توسط کاغذ صافی شماره ۴ صاف و یک میلی-لیتر از عصاره فیلتر شده با ۹ میلی‌لیتر 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 اسید آسکوربیک رسم و غلظت اسید آسکوربیک نمونه‌ها بر اساس میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ گرم وزن نمونه بیان گردید [۲۳].

شاخص طعم میوه (TSS/TA): شاخص طعم میوه به صورت نسبت مقدار مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون بیان شد [۲۴].

قدرت اسیدیته آب میوه (pH): 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 بطوری که پس از این عمل یک محلول شفاف آبمیوه 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 داده شده و pH عصاره قرائت و ثبت شد [۲۰].

اندازه‌گیری میزان فنول کل: پس از عصاره‌گیری متانولی میوه توت فرنگی، عصاره‌های حاصل پس از صاف شدن با دستگاه تبخیرکننده چرخان با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد تغلیظ و میزان ترکیب‌های فنلی موجود در عصاره میوه این گیاه از طریق رنگ‌سنجی به روش فولین - سیوکالتو مورد بررسی قرار گرفت [۲۵]. ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره استخراجی با ۵ میلی‌لیتر معرف فولین - سیوکالتو (که با آب مقطر ۱۰ برابر رقیق شد) [۲۶] و ۴ میلی‌لیتر از محلول کربنات سدیم

یک مولار به خوبی مخلوط گردید. مخلوط به مدت 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 [۲۷]. بدین منظور روش رنگ‌سنجی (فولین - سیوکالتو) نیز روی محلول‌های استاندارد اسید گالیک 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 به دست آمده از اسپکتروفتومتر را در معادله بالا (Y) قرار داده و میزان غلظت ترکیب‌های فنلی موجود در نمونه‌ها بر حسب (X) ppm محاسبه گردید. در نهایت مقادیر فنول کل عصاره با استفاده از منحنی استاندارد بر اساس میلی‌گرم گالیک اسید در گرم عصاره اندازه‌گیری شد.

پلی‌فنل اکسیداز: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز، 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 به مدت ۳ دقیقه اندازه‌گیری شد [۲۸].

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

تعیین عمر انباری: تعداد روزهای پس از برداشت میوه توت فرنگی به طوری که هیچ گونه پوسیدگی و لهیدگی (به صورت 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

افت وزن میوه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس افت وزن میوه توت فرنگی تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند، اما اثر متقابل دو تیمار مذکور بر صفت افت وزن میوه توت فرنگی معنی‌دار نشد (جدول ۱).

درصد مورد مقایسه قرار گرفت. رسم نمودارها و جداول آماری توسط نرم‌افزارهای Excel و Word office 2007 صورت پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

Table 1 Analysis of variance (ANOVA) results for the effects of edible coating treatment and storage time on weight loss, titratable acidity, soluble solids content, and fruit firmness of strawberry

Source of variation	df	Weight loss	Titratable acidity	Soluble solids	Fruit firmness
Edible coating	8	20.46**	0.02**	2.33**	0.19**
Storage time	3	970.09**	0.44**	18.41**	69.77**
Coating × Time	24	2.56ns	0.003ns	0.42**	0.28**
Error	72	2.96	0.002	0.02	0.05
CV (%)	-	24.90	7.54	1.98	3.90

** and ns indicate significant differences at 1% probability level and non-significant differences, respectively

درصد) در شرایط کاربرد ژل آلوئه‌ورا ۳۰ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار حاصل شد که به عنوان بهترین تیمار جهت نگهداری میوه توت فرنگی بود (شکل ۱).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های اثر اصلی پوشش خوراکی، بیشترین افت وزن میوه (۹/۱۰ درصد) در شرایط عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) بود و کمترین آن (۵/۱۹)

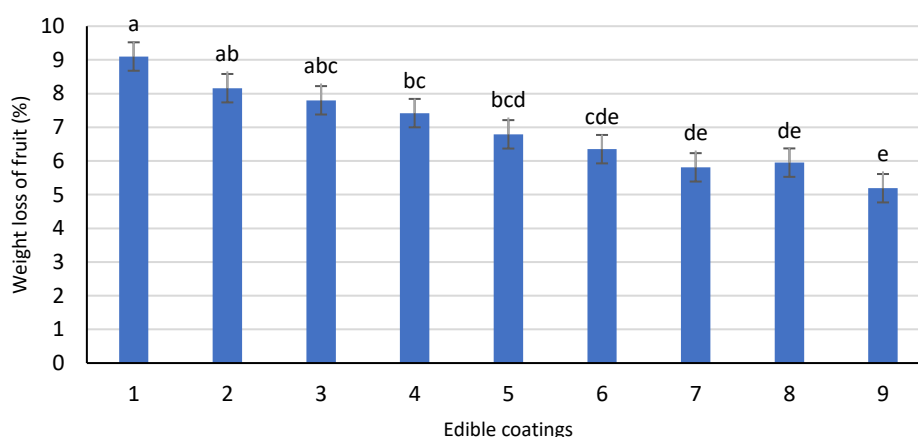


Fig 1 Comparison of the mean main effect of edible coating treatments on weight loss percentage of strawberry fruit (1) control (uncoated), (2) Aloe vera gel, (3) beeswax, (4) Aloe vera gel combined with beeswax, (5) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove nanoemulsion (1%), (6) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove nanoemulsion (2%), (7) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove essential oil (1%), (8) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove essential oil (2%), and (9) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + salicylic acid (1 mM). The results demonstrate the varying efficacy of these coatings in reducing postharvest weight loss in strawberries

فرنگی (۳۰/۰ درصد) در روز اول نگهداری حاصل شد. با افزایش مدت زمان نگهداری میزان آب از دست‌دهی میوه و در نتیجه افت وزن میوه افزایش یافت (شکل ۲).

بیشترین افت وزن میوه توت فرنگی (۱۴/۲۰ درصد) در روز پانزدهم نگهداری حاصل شد و کمترین افت وزن میوه توت

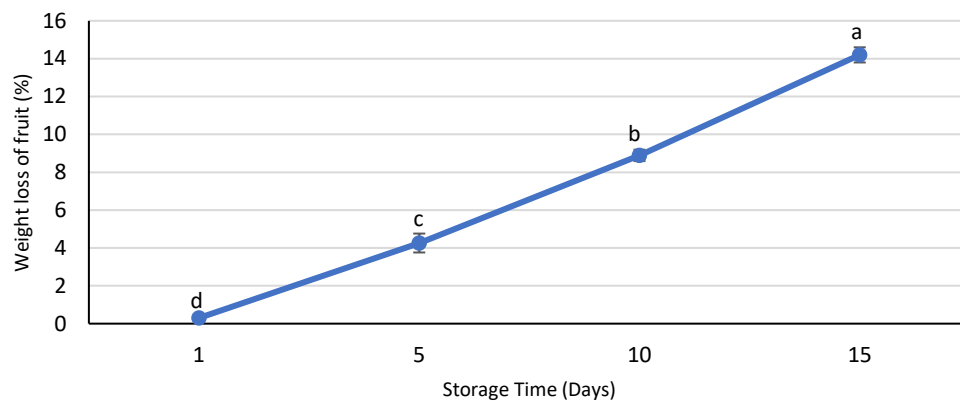


Fig 2 Comparison of the mean main effect of storage duration on weight loss percentage of strawberry fruit

پوشش‌ها، از جمله موم و اسانس‌های گیاهی، با ایجاد یک لایه محافظ بین میوه و محیط خارجی، از خشک شدن میوه جلوگیری کرده و تبخیر رطوبت را کاهش می‌دهند [۶].

اسیدیتة قابل تیتراسیون: اسیدیتة قابل تیتراسیون میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند، اما اثر متقابل تیمارها بر صفت اسیدیتة قابل تیتراسیون توت فرنگی معنی‌دار نشد (جدول ۱).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها در اثر اصلی پوشش خوراکی، بیشترین اسیدیتة قابل تیتراسیون (۰/۷۰ درصد) در شرایط کاربرد ژل آلوه‌ورا ۳۰ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار بود و کمترین آن (۰/۵۹ درصد) در شرایط عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) حاصل شد (شکل ۳).

افزایش شدت تنفس موجب تسریع فرآیندهای رسیدگی و پیری میوه‌ها شده و در نتیجه مصرف مواد غذایی درون میوه افزایش یافته و کاهش وزن رخ می‌دهد [۲۹]. این کاهش وزن همراه با افت کیفیت داخلی میوه، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عمر انباری محسوب می‌شود و از نظر اقتصادی نیز حائز اهمیت است. عوامل محیطی می‌توانند بر روند کاهش وزن تأثیر مثبت، منفی یا خنثی داشته باشند. استفاده از پوشش خوراکی ترکیبات طبیعی مانند عصاره‌ها و اسانس‌های گیاهی به عنوان راهکاری مؤثر برای کنترل پوسیدگی‌های پس از برداشت و به تأخیر انداختن پیری بافت‌های گیاهی معرفی شده است [۳۰].

یکی از اصلی‌ترین دلایل کاهش وزن میوه‌ها در طول انبارداری، افزایش تبخیر و تعرق از سطح میوه است. پوشش‌های خوراکی با حفظ سفتی و استحکام بافت میوه، فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده ساختار سلولی را کاهش داده و در نتیجه تبادلات گازی را محدود می‌کنند [۳۱]. این

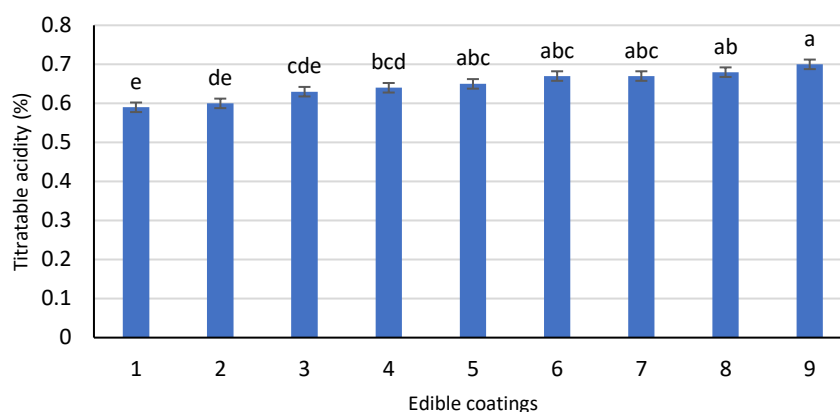


Fig 3 Comparison of the mean main effect of edible coating treatments on the titratable acidity of strawberry fruit (1) control (uncoated), (2) Aloe vera gel, (3) beeswax, (4) Aloe vera gel combined with beeswax, (5) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove nanoemulsion (1%), (6) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove nanoemulsion (2%), (7) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove essential oil (1%), (8) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove essential oil (2%), and (9) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + salicylic acid (1 mM). The results demonstrate the varying efficacy of these coatings in reducing postharvest weight loss in strawberries

نگهداری و کمترین اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت فرنگی

(۴۹٪ درصد) در روز پانزدهم نگهداری حاصل شد (شکل

۴).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین اسیدیته قابل

تیتراسیون میوه توت فرنگی (۸۰٪ درصد) در روز اول

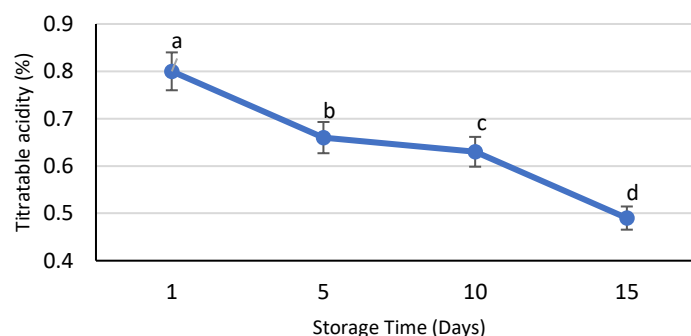


Fig 4 Comparison of the mean main effect of storage duration on the titratable acidity of strawberry fruit

اسیدهای آلی با رسیدن میوه کاهش می‌یابند، اندازه‌گیری آن‌ها می‌تواند شاخصی برای تعیین درجه رسیدگی و کیفیت میوه باشد [۳۴].

پوشش‌های خوراکی مانند موم، رزین یا ترکیبات پلیمری با ایجاد یک لایه محافظ، از تبخیر رطوبت و نفوذ اکسیژن و میکروب‌ها جلوگیری می‌کنند. این پوشش‌ها با محدود کردن دسترسی اکسیژن، تجزیه اسیدهای آلی را کاهش داده و در نتیجه باعث حفظ سطح بالاتری از اسیدیته قابل تیتراسیون در میوه می‌شوند [۳۵]. اسیدیته میوه‌ها که مستقیماً با غلظت اسید آلی غالب در ارتباط است، یکی از پارامترهای کلیدی در حفظ کیفیت محصولات باغی محسوب می‌شود.

میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) ارتباط مستقیمی با غلظت اسیدهای آلی درون میوه دارد. طی فرآیند تنفس و تغییرات متابولیکی، اسیدهای آلی به قند تبدیل شده و در نتیجه در طول نگهداری میوه، میزان TA کاهش می‌یابد [۳]. مطالعات روی توت‌فرنگی نیز نشان داده‌اند که اسیدیته در طول دوره نگهداری کاهش می‌یابد، اما استفاده از پوشش‌های خوراکی می‌تواند این روند را کند نماید [۳۲]. اسیدهای آلی به عنوان سوبسترای تنفس مصرف می‌شوند، بنابراین طبیعی است که در دوره پس از برداشت، اسیدیته کاهش و pH افزایش یابد [۳۳]. هر عاملی که متابولیسم و پیری میوه را کند کند، می‌تواند از کاهش سریع TA جلوگیری نماید. از آنجا که

میوه توت فرنگی در تیمارهای عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز پانزدهم نگهداری و تیمار ژل آلوئه‌ورا در روز پانزدهم نگهداری حاصل شد و کمترین مواد جامد محلول میوه توت فرنگی مربوط به تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز اول نگهداری و کاربرد ژل آلوئه‌ورا در روز پانزدهم نگهداری بود (شکل ۵).

مواد جامد محلول: با توجه به نتایج تجزیه واریانس مواد جامد محلول میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی × زمان نگهداری، بیشترین مواد جامد محلول

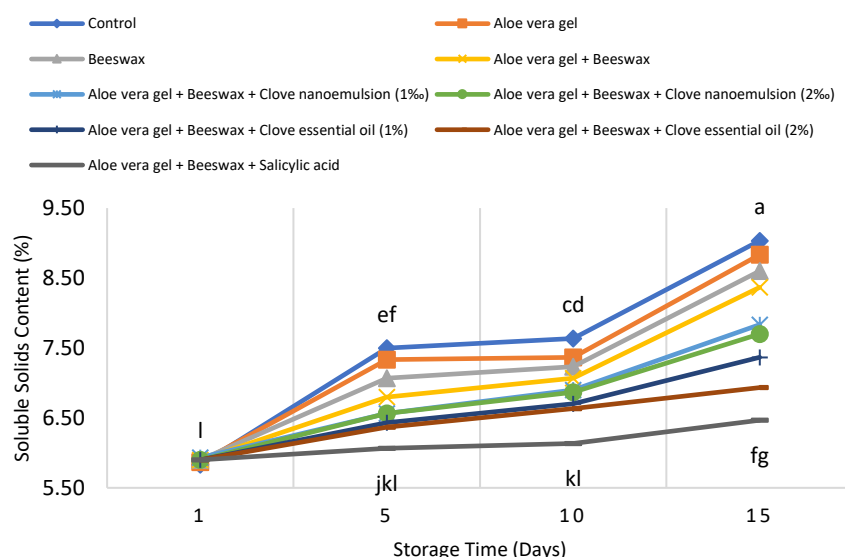


Fig 5 Comparison of the mean interaction effects of edible coating × storage time (days) on soluble solids content of strawberry fruit

پوشش‌های خوراکی علاوه بر کاهش تبخیر رطوبت، از نفوذ عوامل محیطی مانند اکسیژن، نور و گرما نیز جلوگیری می‌کنند [۳۷]. با این حال، در شرایطی مانند رطوبت بالای محیط انبار، ممکن است جذب رطوبت توسط میوه افزایش یافته و غلظت مواد جامد محلول تحت تأثیر قرار گیرد [۳۸]. به‌طور کلی، پوشش‌های خوراکی با تعدیل تبادلات گازی و کاهش سرعت متابولیسم، نقش کلیدی در حفظ کیفیت و افزایش نامطلوب TSS ایفا می‌کنند [۴].

سفتی بافت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سفتی بافت میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۱).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی × زمان نگهداری، بیشترین سفتی بافت میوه توت فرنگی (بهترین تیمار) در تیمار روز اول نگهداری و

مطالعات نشان می‌دهد که میزان مواد جامد محلول (TSS) در میوه‌ها در طول دوره انبارداری افزایش می‌یابد. این افزایش عمدتاً ناشی از تجزیه کربوهیدرات‌ها و مواد پکتیکی، هیدرولیز پروتئین‌ها و شکستن گلیکوزیدها به واحدهای کوچک‌تر در فرآیند تنفس است [۲]. به‌طور معمول، بیشترین مقدار TSS در روزهای پایانی انبارداری و در میوه‌های تیمار شده با غلظت‌های بالاتر پوشش‌های خوراکی مشاهده می‌شود.

پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک لایه نازک روی سطح میوه، سرعت تنفس را کاهش داده و از تجزیه سریع کربوهیدرات‌ها جلوگیری می‌کنند. این امر منجر به حفظ نسبی مواد جامد محلول در مقایسه با میوه‌های بدون پوشش می‌شود [۳۶]. همچنین، افزایش TSS در مراحل پایانی انبارداری می‌تواند ناشی از تجزیه دیواره سلولی و تبدیل آن به قندهای ساده باشد که نشانه پیری و فرسودگی بافت میوه است [۱؛ ۳۱].

بود. افزایش زمان نگهداری موجب کاهش سفتی بافت میوه توت فرنگی شد. اگرچه استفاده از پوشش‌های خوراکی موجب بهبود سفتی بافت میوه و حفظ آن گردید (شکل ۶).

کاربرد ژل آلوئه‌ورا+موم حاصل شد که با تمامی تیمارهای روز اول در یک گروه آماری قرار گرفت و کمترین سفتی بافت میوه توت فرنگی (۳/۲۰ نیوتن)، مربوط به تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز پانزدهم نگهداری

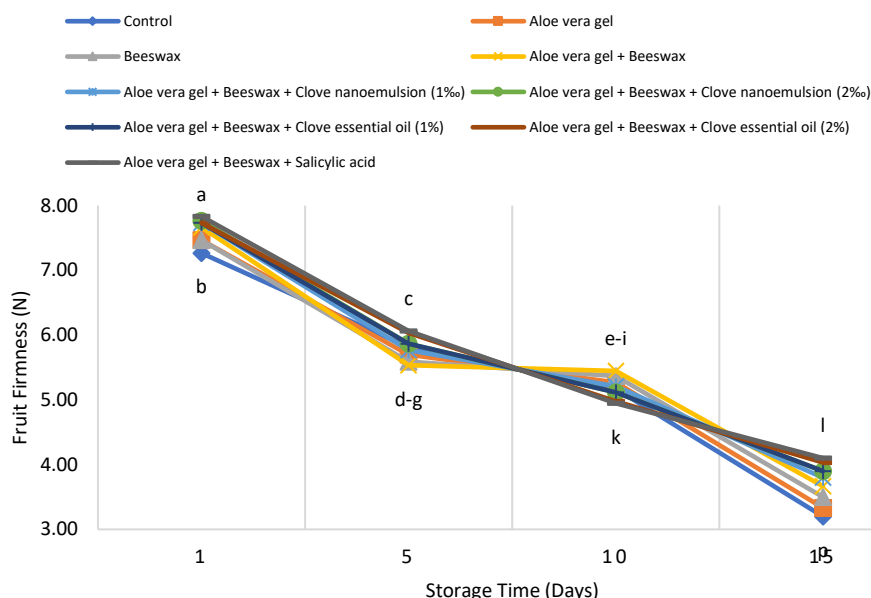


Fig 6 Comparison of the mean interaction effects of edible coating × storage time (days) on strawberry fruit firmness

با خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی خود، علاوه بر حفظ سفتی بافت، از بروز پدیده‌های نامطلوب مانند قهوه‌ای شدن آنزیمی نیز جلوگیری می‌کنند [۳۹؛ ۴۱]. اگرچه با افزایش زمان نگهداری، کاهش تدریجی سفتی بافت اجتناب‌ناپذیر است، اما استفاده از پوشش‌های ترکیبی با ایجاد اثر هم‌افزایی می‌تواند این روند را به‌طور قابل‌توجهی کند نموده و عمر انباری محصول را افزایش دهد. این تأثیر به‌ویژه در میوه‌های حساس مانند توت‌فرنگی که نرخ متابولیسم بالایی دارند، چشمگیرتر بوده و می‌تواند نقش مهمی در کاهش ضایعات پس از برداشت و حفظ کیفیت محصول ایفا کند.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: بر اساس نتایج تجزیه واریانس ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۲).

سفتی بافت میوه به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت، نقش تعیین‌کننده‌ای در بازارپسندی و پذیرش مصرف‌کننده دارد [۳۹]. مطالعات نشان می‌دهد که پوشش‌های خوراکی با مکانیسم‌های مختلفی از جمله کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی مانند پلی‌گالاکتوروناز و گالاکتوکسیداز [۴۰]، کنترل تبادلات گازی و کاهش شدت تنفس [۴۱] و جلوگیری از تبخیر رطوبت [۳۷] باعث حفظ کیفیت و به تأخیر انداختن فرآیند نرم‌شدگی میوه‌ها می‌شوند. این پوشش‌ها با ایجاد یک لایه نیمه‌تراوا روی سطح میوه، از تجزیه پلی‌ساکاریدهای ساختاری دیواره سلولی مانند همی‌سلولز و پکتین جلوگیری کرده و روند تبدیل پروتوپکتین نامحلول به پکتین محلول و اسید پکتیک را کند می‌کنند [۷؛ ۴۲]. استفاده از ترکیبات مشتق‌شده از اسانس‌های گیاهی به‌طور معنی‌داری سفتی بافت میوه توت‌فرنگی را در مقایسه با نمونه‌های شاهد حفظ کرد [۴۳]. همچنین، ترکیبات فنولی موجود در اسانس‌های گیاهی

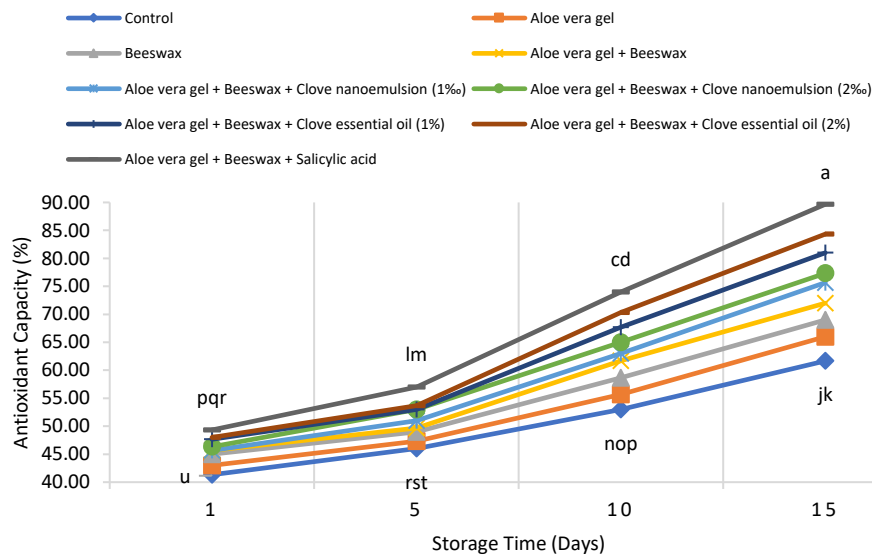
Table 2 Analysis of variance (ANOVA) results for the effects of edible coating treatment and storage time on antioxidant capacity, anthocyanin content, ascorbic acid, and TSS/TA ratio of strawberry fruit

Source of variation	df	Antioxidant capacity	Anthocyanin (mg/100g FW)	Ascorbic acid (mg/100g DW)	TSS/TA
Edible coating	8	352.62**	167.32**	287.93**	33.13**
Storage time	3	4655.68**	5159.48**	4031.07**	397.20**
Coating × Time	24	28.32**	13.04ns	31.16**	7.67**
Error	72	4.59	16.82	7.04	0.93
CV (%)	-	3.64	2.32	3.59	8.50

** and ns indicate significant differences at 1% probability level and non-significant differences, respectively

پانزدهم نگهداری (بهترین تیمار) و کمترین ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه توت فرنگی (۴۱/۳۳ درصد) در تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز اول نگهداری حاصل شد (شکل ۷).

بیشترین ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه توت فرنگی (۸۹/۶۷ درصد) در تیمار کاربرد ژل آلوه ورا ۳۰ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار در روز

**Fig 7** Comparison of the mean interaction effects of edible coating × storage time (days) on antioxidant capacity of strawberry fruit

پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک سد محافظتی در سطح میوه، از تماس مستقیم محصول با عوامل محیطی مخرب مانند اکسیژن، نور و رطوبت جلوگیری می‌کنند. این ویژگی منجر به کاهش آسیب‌های اکسیداتیو و حفظ بهتر ترکیبات آنتی اکسیدانی درون بافتی می‌شود [۴۸]. به‌ویژه در مورد توت فرنگی که حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات فنولی و آنتوسیانین‌های حساس به اکسیداسیون است، استفاده از پوشش‌های محافظ می‌تواند به حفظ فعالیت آنتی اکسیدانی و ارزش غذایی محصول در طول دوره انبارداری کمک شایانی نماید.

سیستم آنتی اکسیدانی با سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن، میوه‌ها را در برابر آسیب‌های اکسیداتیو محافظت کرده و موجب بهبود کیفیت تغذیه‌ای و ظاهری محصول می‌شود. مطالعات نشان می‌دهند که پوشش‌های خوراکی با مکانیسم‌های چندگانه از جمله فعال‌سازی سیستم‌های دفاعی سلول‌های گیاهی، کاهش تولید اتیلن، مهار آنزیم‌های تخریب‌کننده و افزایش پتانسیل آنتی اکسیدانی، نقش مؤثری در حفظ کیفیت پس از برداشت محصولات باغی ایفا می‌کنند [۴۴]. این یافته‌ها با نتایج تحقیقات انجام‌شده بر روی انواع میوه‌جات [۴۵]، سبزیجات [۴۶]، هویج [۴۷] و توت فرنگی [۴۸] همخوانی دارد.

۳۰ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار به دست آمد و کمترین آنتوسیانین میوه توت فرنگی (۱۷۱/۰۸ میلی‌گرم بر صد گرم وزن تر) در شرایط عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) حاصل شد. استفاده از پوشش خوراکی موجب رنگ‌گیری بهتر میوه توت فرنگی شد. در میوه توت فرنگی رنگ یکی از گزینه‌های کیفیت و بازارپسندی میوه است که با استفاده از پوشش‌های خوراکی میزان آنتوسیانین و رنگ‌گیری میوه افزایش یافت (شکل ۸).

آنتوسیانین: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که آنتوسیانین میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اگرچه اثر متقابل تیمارها بر آنتوسیانین میوه معنی‌دار نبود (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها در اثر اصلی پوشش خوراکی، بیشترین آنتوسیانین میوه توت فرنگی (۱۸۳/۰۰ میلی‌گرم بر صد گرم وزن تر) در شرایط کاربرد ژل آلوئه‌ورا

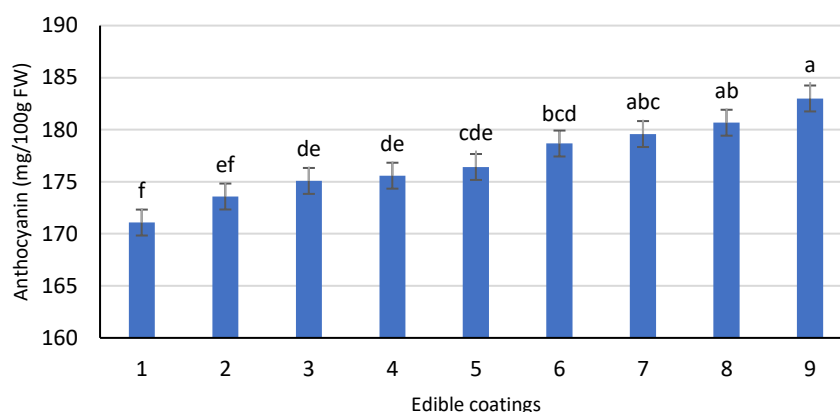


Fig 8 Comparison of the mean main effect of edible coating treatments on anthocyanin content of strawberry fruit (1) control (uncoated), (2) Aloe vera gel, (3) beeswax, (4) Aloe vera gel combined with beeswax, (5) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove nanoemulsion (1%), (6) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove nanoemulsion (2%), (7) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove essential oil (1%), (8) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove essential oil (2%), and (9) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + salicylic acid (1 mM). The results demonstrate the varying efficacy of these coatings in reducing postharvest weight loss in strawberries

شد و کمترین آنتوسیانین میوه توت فرنگی (۱۶۱/۷۸ میلی‌گرم بر صد گرم وزن تر) در روز پانزدهم نگهداری حاصل شد. به این ترتیب با افزایش زمان نگهداری آنتوسیانین میوه تجزیه یافت (شکل ۹).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها در اثر اصلی زمان نگهداری، بیشترین آنتوسیانین میوه توت فرنگی (۱۹۳/۰۰ میلی‌گرم بر صد گرم وزن تر) در روز اول نگهداری حاصل

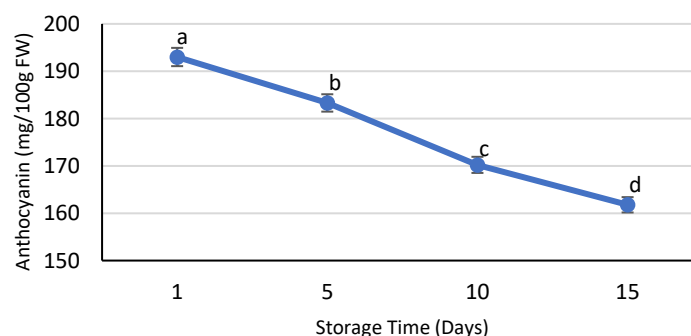


Fig 9 Comparison of the mean main effect of storage duration on anthocyanin content of strawberry fruit دانه‌های انار پوشش‌دار شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد،

از فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر و سطوح بیشتری از ترکیبات فنلی و آنتوسیانین‌ها برخوردار بودند [۴۹]. این یافته‌ها با

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که پوشش‌های خوراکی نقش بسزایی در حفظ ترکیبات زیست‌فعال میوه‌ها ایفا می‌کنند.

و ضمن حفظ ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای میوه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن را نیز افزایش می‌دهند [۴۲]. این یافته‌ها اهمیت استفاده از پوشش‌های خوراکی را به عنوان یک روش طبیعی و مؤثر در صنایع پس از برداشت برای حفظ کیفیت و ارزش غذایی محصولات باغی نشان می‌دهد.

اسید آسکوربیک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اسید آسکوربیک میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی × زمان نگهداری، بیشترین اسید آسکوربیک میوه توت فرنگی (۸۹/۶۷ میلی گرم اسید آسکوربیک بر صد گرم ماده خشک) در تیمار کاربرد ژل آلوه‌ورا ۳۰ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسید سالیسیلیک ۱ میلی مولار در روز اول نگهداری حاصل شد. کمترین اسید آسکوربیک میوه توت فرنگی، مربوط به تیمارهای عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز پانزدهم نگهداری و کاربرد ژل آلوه‌ورا در روز پانزدهم نگهداری بود (شکل ۱۰).

نتایج تحقیقات دیگر بر روی تمشک که با اسانس به‌لیمو و نانوامولسیون کیتوزان پوشش‌دهی شده بود، همخوانی دارد. در این مطالعات مشاهده شد که پوشش‌دهی نه تنها میزان ترکیبات فنلی و آنتوسیانین را افزایش داد، بلکه فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیاک‌لیاز (PAL) را که در بیوسنتز ترکیبات فنولیک نقش کلیدی دارد، نیز تقویت کرد [۴۲].

پوشش‌های خوراکی مانند موم، اسانس‌های گیاهی و ژل آلوه‌ورا با ایجاد یک سد محافظتی در برابر عوامل محیطی مخرب مانند اکسیژن، رطوبت، نور و دما، از تخریب ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و تغییرات نامطلوب در میوه جلوگیری می‌کنند [۱۰]. این پوشش‌ها با کاهش نرخ اکسیداسیون و مهار فعالیت رادیکال‌های آزاد، شرایط بهینه‌ای برای نگهداری طولانی‌مدت میوه‌ها فراهم می‌آورند [۱۵].

آنتوسیانین‌ها به عنوان گروه مهمی از ترکیبات فیتوشیمیایی، نه تنها مسئول ایجاد رنگ و طعم در میوه‌ها هستند، بلکه به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی قوی، نقش مهمی در ارتقای سلامت انسان ایفا می‌کنند. با این حال، این ترکیبات حساس به عوامل محیطی مانند اکسیژن، نور و رطوبت هستند که می‌توانند در طول انبارداری باعث تخریب آنتوسیانین‌ها و کاهش کیفیت میوه شوند [۵۰]. پوشش‌های خوراکی با کنترل این عوامل مخرب، از تخریب آنتوسیانین‌ها جلوگیری کرده

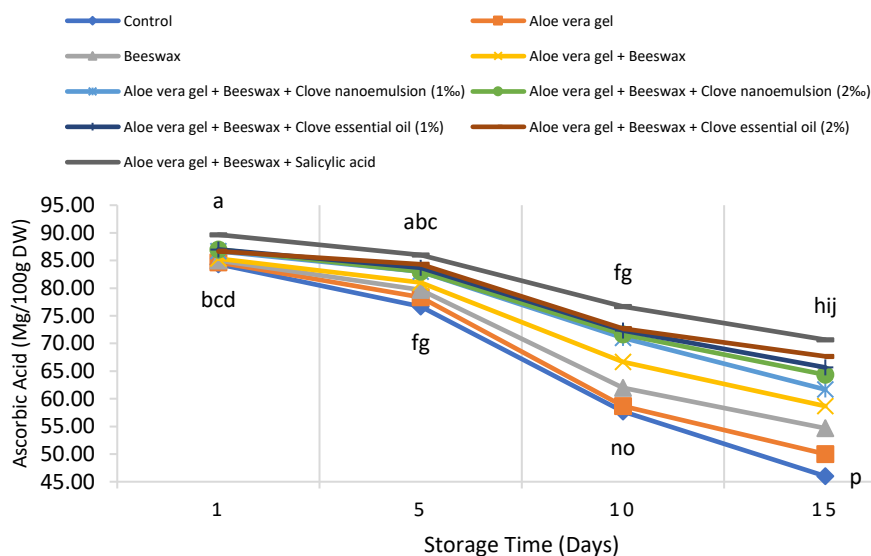


Fig 10 Comparison of the mean interaction effects of edible coating × storage time (days) on ascorbic acid content of strawberry fruit

جلوگیری می‌کنند، بلکه با حفظ یکپارچگی سلولی، شرایط بهینه‌ای برای نگهداری این ترکیب ارزشمند فراهم می‌آورند [۵۶]. بنابراین، استفاده ترکیبی از پوشش‌های خوراکی و کنترل دقیق شرایط انبارداری می‌تواند راهکار مؤثری برای حفظ این ترکیب مغذی در میوه‌ها باشد.

شاخص طعم (TSS/TA): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که TSS/TA میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارها، بیشترین TSS/TA میوه توت فرنگی در تمامی کاربردهای تیمار پوشش خوراکی در روز پانزدهم نگهداری و کمترین TSS/TA میوه توت فرنگی (۷/۲۰) مربوط به روز اول نگهداری بود (شکل ۱۱).

مطالعات نشان می‌دهد که محتوای ویتامین ث (اسید آسکوربیک) در میوه‌ها به‌ویژه توت‌فرنگی در طول دوره انبارداری به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار این ویتامین در روز اول و کمترین میزان آن در پایان دوره انبارداری مشاهده می‌شود. این کاهش تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله رقم میوه، شرایط خاک، مرحله رسیدگی و شرایط آب‌وهوایی قرار دارد. دما و مدت زمان انبارداری از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر میزان حفظ اسید آسکوربیک هستند [۵۱]. این یافته‌ها با نتایج حاصل از مطالعات روی توت‌فرنگی [۴۸]، سیب [۵۲] و آناناس [۵۳] [۵۴] همخوانی دارد.

استفاده از پوشش‌های خوراکی می‌تواند با ایجاد یک سد محافظ در برابر عوامل مخرب محیطی مانند اکسیژن، نور و رطوبت، از اکسیداسیون و تخریب این ویتامین جلوگیری کند [۵۵]. این پوشش‌ها با محدود کردن تبادلات گازی و کاهش نفوذپذیری به اکسیژن، نه تنها از تخریب اسید آسکوربیک

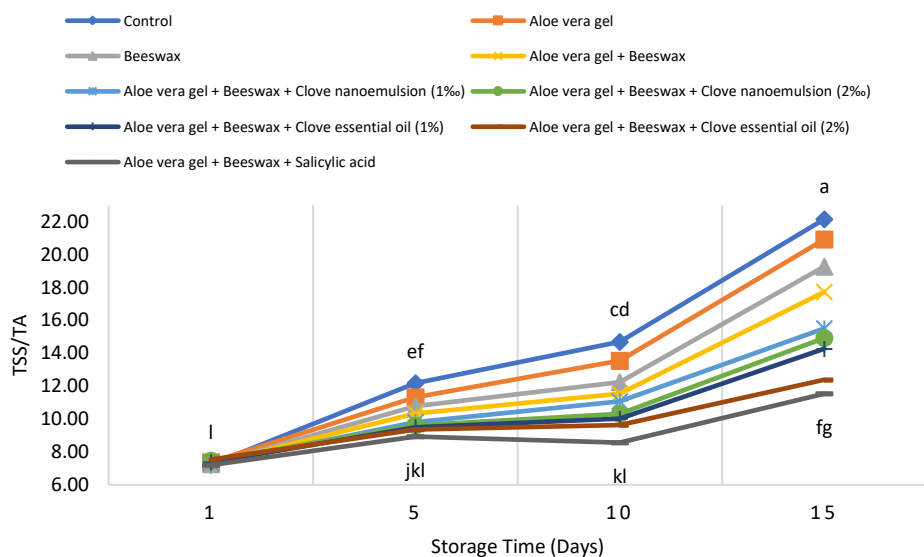


Fig 11 Comparison of the mean interaction effects of edible coating × storage time (days) on TSS/TA ratio of strawberry fruit

مصرف‌کننده دارد [۲]. در این تحقیق، کاربرد پوشش‌های

خوراکی مختلف منجر به بهبود معنی‌دار این شاخص طعم شد که می‌توان آن را به توانایی این پوشش‌ها در حفظ ترکیبات قندی و کنترل کاهش اسیدیته نسبت داد. پوشش‌های خوراکی از طریق کاهش سرعت تنفس و متابولیسم میوه، حفظ ترکیبات قندی با جلوگیری از تجزیه

میزان مواد جامد محلول (TSS) به عنوان شاخص مهمی برای تعیین بلوغ میوه محسوب می‌شود که با پیشرفت فرآیند رسیدگی افزایش می‌یابد. نسبت TSS/TA (مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیترا) به عنوان معیار کلیدی کیفیت طعم میوه شناخته می‌شود که نقش تعیین‌کننده‌ای در پذیرش

قدرت اسیدیته آب میوه (pH): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که pH آب میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۳).

کربوهیدرات‌ها، کنترل کاهش اسیدهای آلی (به عنوان سوپسترای تنفس) و ایجاد محیطی مناسب برای حفظ تعادل بین مواد قندی و اسیدی، موجب بهبود کیفیت حسی میوه می‌شوند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که پوشش‌های خوراکی می‌توانند با حفظ تعادل مناسب بین مواد جامد محلول و اسیدیته، کیفیت طعم میوه را در طول دوره انبارداری به‌طور مؤثری حفظ و بهبود بخشند.

Table 3 Analysis of variance (ANOVA) results for the effects of edible coating treatment and storage time on juice acidity, total phenols, and polyphenol oxidase activity of strawberry fruit

Source of variation	df	pH	Total phenols (mg GAE/g DW)	Polyphenol oxidase ($\mu\text{mol/kg}\cdot\text{s}$)
Edible coating	8	0.12**	238.99*	62998.15**
Storage time	3	0.31**	3367.45**	849714.51**
Coating $\times$ Time	24	0.02**	17.77**	9847.84**
Error	72	0.007	3.30	1326.85
CV (%)	-	13.13	3.70	3.55

** and ns indicate significant differences at 1% probability level and non-significant differences, respectively

روز اول نگهداری و کمترین pH آب میوه توت فرنگی (۰/۳۰) مربوط به تیمار عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روز پانزدهم نگهداری حاصل شد (شکل ۱۲).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی $\times$ زمان نگهداری، بیشترین pH آب میوه توت فرنگی در تیمارهای عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در

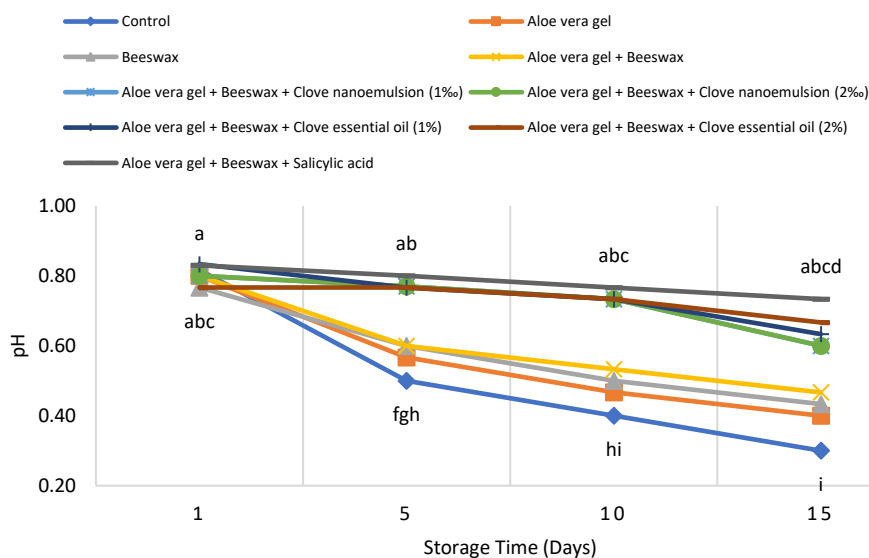


Fig 12 Comparison of the mean interaction effects of edible coating $\times$ storage time (days) on juice acidity of strawberry fruit

مطالعات نشان می‌دهد که در طول دوره نگهداری، پیش‌ماده‌های اصلی تنفس شامل قندها و اسیدهای آلی به تدریج کاهش می‌یابند که این امر منجر به تغییرات قابل توجهی در pH میوه‌ها می‌شود [۵۷]. با گذشت زمان انبارداری، pH میوه‌ها تمایل به افزایش نشان می‌دهد، اگرچه

استفاده از پوشش‌های خوراکی با غلظت‌های بالاتر توانسته است از این افزایش به میزان قابل توجهی جلوگیری کند [۵۸]. به نظر می‌رسد این پوشش‌ها با ایجاد تأخیر موقت در سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌های تجزیه‌کننده، مانع از تبدیل اسیدهای آلی به قندها شده‌اند.

فصل کل میوه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس فصل کل میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۳).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی × زمان نگهداری، بیشترین فصل کل میوه توت فرنگی (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 فصل کل میوه توت فرنگی (۳۴/۳۳ میلی گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) مربوط به تیمار ژل آلوئه‌ورا ۳۰ درصد + موم زنبور عسل ۱۰ درصد + اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار در روز اول نگهداری بود (شکل ۱۳).

مکانیسم این تغییرات به این صورت است که کاهش تدریجی اسیدهای آلی و قندها - که به عنوان سوبسترهای اصلی تنفس عمل می‌کنند - منجر به نوسانات pH می‌شود [۸]. این روند در میوه‌های مختلف متفاوت است؛ به طوری که در برخی میوه‌ها کاهش اسیدها منجر به افزایش محسوس pH می‌شود، در حالی که در برخی دیگر این تغییرات کمتر مشهود است [۵۹].

در مورد توت‌فرنگی، تغییرات مشاهده شده در pH عمدتاً ناشی از تجزیه کربوهیدرات‌ها و مواد پکتیکی، هیدرولیز پروتئین‌ها و شکستن گلیکوسیدها به واحدهای سازنده کوچکتر در فرآیند تنفس است [۶۰].

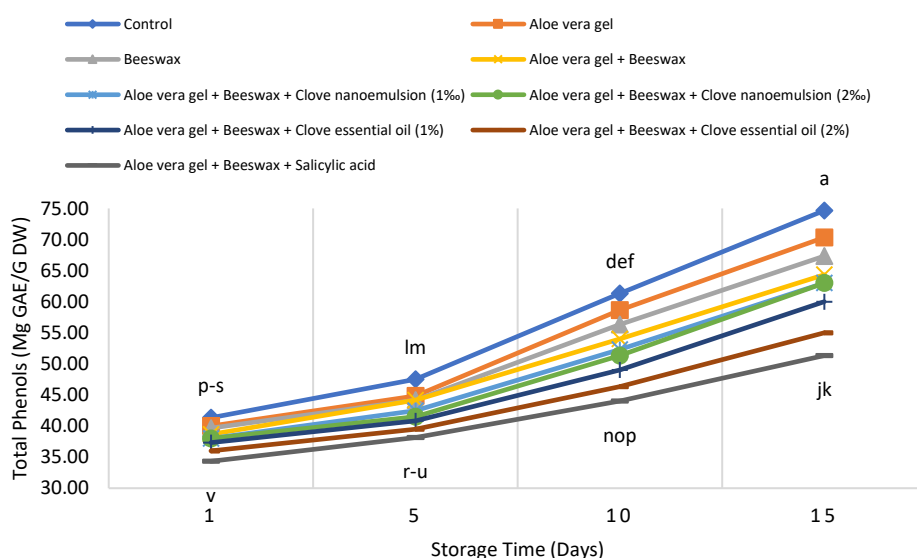


Fig 13 Comparison of the mean interaction effects of edible coating × storage time (days) on total phenolic content of strawberry fruit

مدت طولانی‌تر کمک کردند. به نظر می‌رسد این پوشش‌ها با حفظ pH در محدوده مناسب - با توجه به فعالیت بالای PPO در محیط‌های قلیایی - از افزایش فعالیت آن جلوگیری کرده و در نتیجه سطح ترکیبات فنلی را در حد مطلوب حفظ می‌کنند [۶۲].

مطالعات نشان می‌دهند که شرایط نامناسب نگهداری می‌تواند منجر به نوسانات محتوای فنولی در میوه‌ها شود. افزایش این ترکیبات ممکن است ناشی از واکنش‌های استیله‌زدایی در پاسخ به استرس یا آسیب‌های فیزیولوژیکی

آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز (PPO) و فنیل‌آلانین‌آمونیا لایاز (PAL) در مسیر فنیل‌پروپانویید که مسئول تولید متابولیت‌های ثانویه گیاهی با خواص دفاعی است، نقش کلیدی ایفا می‌کنند [۳۹، ۶۱]. با این حال، فعالیت بیش از حد این آنزیم‌ها می‌تواند منجر به تولید ترکیباتی مانند کوئینون‌ها شود که باعث قهوه‌ای شدن بافت و کاهش کیفیت محصول می‌گردد [۴۲]. در این پژوهش، پوشش‌های خوراکی با کاهش فعالیت آنزیم PPO، به حفظ کیفیت محصول برای

و زمان نگهداری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارهای پوشش خوراکی × زمان نگهداری، بیشترین پلی فنل اکسیداز میوه توت فرنگی در تیمارهای عدم کاربرد پوشش خوراکی (شاهد) در روزهای دهم و پانزدهم نگهداری حاصل شد. کمترین پلی فنل اکسیداز میوه توت فرنگی مربوط به تیمارهای عدم کاربرد پوشش خوراکی در روز اول نگهداری بود (شکل ۱۴).

باشد [۳۹]. در این زمینه، پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک سد نیمه‌تراوا، تبادلات گازی را تنظیم کرده و با کاهش سطح اکسیژن و افزایش دی‌اکسید کربن در محیط اطراف میوه، از تولید بیش از حد ترکیبات فنولی جلوگیری می‌کنند [۶]. این مکانیسم به حفظ کیفیت ظاهری و تغذیه‌ای میوه در طول دوره انبارداری کمک شایانی می‌نماید.

پلی فنل اکسیداز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پلی فنل اکسیداز میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی

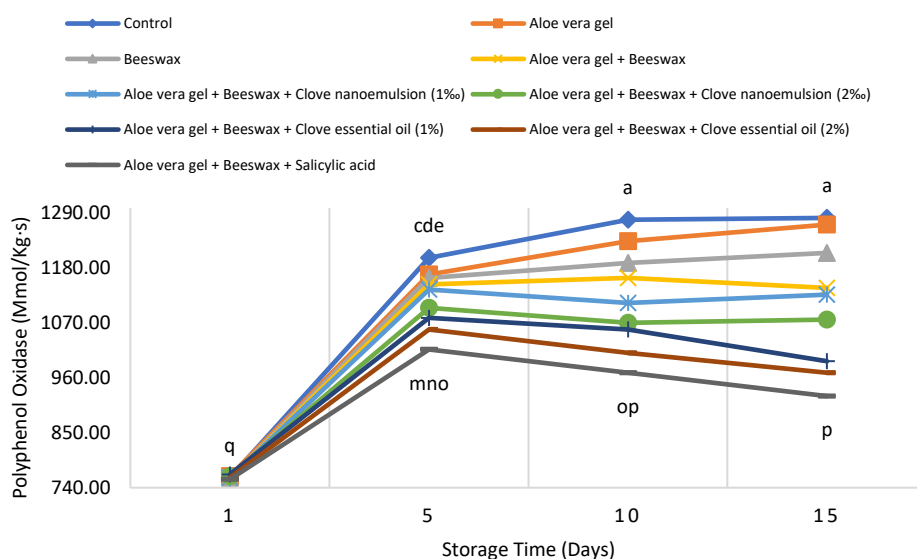


Fig 14 Comparison of the mean interaction effects of edible coating × storage time (days) on polyphenol oxidase activity of strawberry fruit. این ترکیبات ارزشمند، کیفیت تغذیه‌ای میوه را در طول دوره نگهداری حفظ می‌نماید.

همسو با یافته‌های این پژوهش، مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که پوشش‌های خوراکی می‌توانند به طور مؤثری میزان تنفس میوه را کاهش داده و از اکسیداسیون ترکیبات فنولی جلوگیری کنند [۴۸]. این اثر حفاظتی ناشی از ایجاد یک سد نیمه تراوا است که تبادلات گازی را تنظیم کرده و شرایط بهینه‌ای برای نگهداری میوه فراهم می‌آورد. بنابراین، به نظر می‌رسد پوشش‌های خوراکی با توجه به توانایی‌شان در ایجاد محیط اصلاح شده اتمسفری و کنترل فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو، می‌توانند به عنوان یک راهکار مؤثر در صنایع پس از برداشت مورد استفاده قرار گیرند.

آنزیم پراکسیداز با دارا بودن بیش از ۱۰۰۰ ایزوآنزیم مختلف که از نظر ساختاری و عملکردی تفاوت‌های اساسی دارند، رفتار متفاوتی در برابر عوامل محیطی و تیمارهای مختلف از خود نشان می‌دهد [۴۰]. این تنوع ایزوآنزیمی موجب شده است که در این پژوهش نیز پاسخ آنزیم پراکسیداز به تیمار پوشش خوراکی بر اساس منبع آنزیمی متفاوت باشد. پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک محیط اصلاح شده اتمسفری، از طریق کاهش سطح اکسیژن در دسترس، موجب کند شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی شده و دسترسی آنزیم‌های پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز به سوبسترای خود (اکسیژن) را محدود می‌کنند [۱۰؛ ۱۱؛ ۶۳]. این مکانیسم نه تنها از اکسیداسیون ترکیبات فنولی جلوگیری می‌کند، بلکه با حفظ

عمر انبارمائی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عمر پس از برداشت میوه توت فرنگی، تحت اثر اصلی پوشش خوراکی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۴).

Table 4 Analysis of variance (ANOVA) of the effect of edible coating treatment on shelf life of strawberry fruit

Source of variation	df	Shelf life (days)
Edible coating	8	0.81**
Error	24	0.27
CV (%)	-	4.68

** indicates significant differences at 1% probability level.

(شاهد) به دست آمد و بیشترین عمر انبارمائی میوه توت

فرنگی (میانگین ۱۱/۵ روز) در شرایط کاربرد ژل آلوئه‌ورا ۳۰ درصد+موم زنبور عسل ۱۰ درصد+اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار حاصل شد (شکل ۱۵).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها در اثر اصلی پوشش خوراکی، کمترین عمر پس از برداشت میوه توت فرنگی (میانگین ۷/۷۵ روز) در شرایط عدم کاربرد پوشش خوراکی

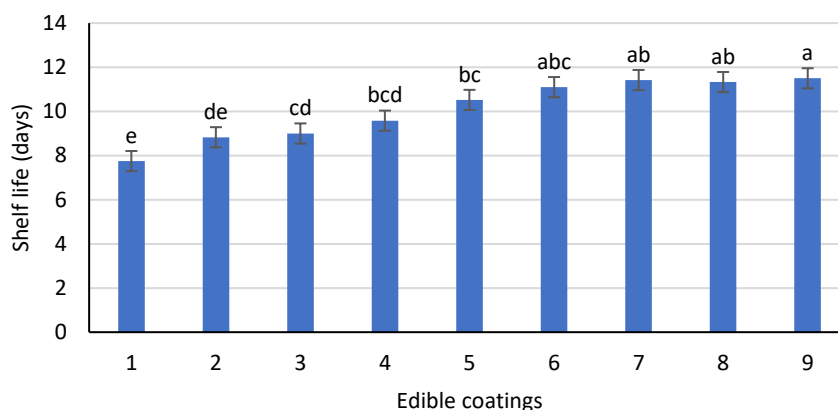


Fig 15 Comparison of the mean main effect of edible coating treatments on shelf life of strawberry fruit

(1) control (uncoated), (2) Aloe vera gel, (3) beeswax, (4) Aloe vera gel combined with beeswax, (5) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove nanoemulsion (1%), (6) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove nanoemulsion (2%), (7) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove essential oil (1%), (8) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + clove essential oil (2%), and (9) Aloe vera gel (30%) + beeswax (10%) + salicylic acid (1 mM). The results demonstrate the varying efficacy of these coatings in reducing postharvest weight loss in strawberries

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش به‌وضوح نشان داد که کاربرد پوشش‌های خوراکی ترکیبی تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انباری میوه توت‌فرنگی دارد. تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن بود که اثر اصلی پوشش‌های خوراکی بر کلیه صفات مورد بررسی شامل افت وزن، pH، مواد جامد محلول، سفتی بافت، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، آنتوسیانین، اسید آسکوربیک و عمر انباری معنی‌دار بوده است. تیمار ترکیبی ژل آلوئه‌ورا ۳۰٪ + موم زنبور عسل ۱۰٪ + اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار به‌عنوان مؤثرترین تیمار شناخته شد که توانست افت وزن را تا ۴۳٪

پوشش‌های خوراکی حاوی مواد معدنی مانند کلرید کلسیم و کلرید پتاسیم از طریق تعامل با آنزیم‌های میوه موجب مهار فعالیت آنزیمی و کاهش فرآیندهای تجزیه‌ای می‌شوند [۶۳]. در این میان، اسانس‌های گیاهی مانند اسانس میخک دارویی با دارا بودن ترکیبات فعالی نظیر کاریوفیلین و اوژنول، به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی قوی، نقش مؤثری در جلوگیری از فساد محصولات کشاورزی در شرایط انباری ایفا می‌کنند. این ترکیبات زیستی نه تنها عمر انباری محصولات را افزایش می‌دهند، بلکه با حفظ خواص کیفی و ارزش تغذیه‌ای، پاسخگوی تقاضای روزافزون بازار برای محصولات باغبانی تازه هستند.

شود. این روش نه تنها می‌تواند ضایعات پس از برداشت را کاهش دهد، بلکه کیفیت تغذیه‌ای و بازاریابی محصول را نیز به‌طور معنی‌داری بهبود می‌بخشد. برای دستیابی به نتایج بهینه، پیشنهاد می‌شود کاربرد این پوشش در مقیاس نیمه‌صنعتی و شرایط واقعی انبارداری نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

(از ۹/۱۰٪ به ۵/۱۹٪) کاهش، اسیدیته قابل تیتراسیون را ۱۸/۶٪ (از ۰/۵۹٪ به ۰/۷۰٪) افزایش، آنتوسیانین را ۷٪ (از ۱۷۱/۰۸ به ۱۸۳/۰۰ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم) بهبود بخشید و عمر انباری را تا ۵۰٪ (از ۷/۷۵ روز به ۱۱/۵ روز) افزایش دهد. همچنین این تیمار توانست ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را به میزان قابل توجهی (تا ۸۹/۶۷٪) افزایش داده و سفتی بافت میوه را بهتر حفظ نماید. با توجه به این نتایج، توصیه می‌شود از این ترکیب پوششی به‌عنوان یک روش طبیعی، ایمن و مقرون‌به‌صرفه در صنایع پس از برداشت توت‌فرنگی استفاده

۵-منابع

- [1] Martínez, K., Ortiz, M., Albis, A., Gilma-Gutiérrez-Castañeda, C., Valencia, M.E. & Grande-Tovar, C.D. 2018. The effect of edible chitosan coatings incorporated with *Thymus capitatus* essential oil on the shelf-life of strawberry (*Fragaria × ananassa*) during cold storage. *Biomolecules*. 8(2): 155.
- [2] Emamifar, A. & Bavaisi, S. 2020. Nanocomposite coating based on sodium alginate and nano-ZnO for extending the storage life of fresh strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Journal of Food Measurement and Characterization*. 14: 1012–1024.
- [3] Ehtesham Nia, A., Taghipour, S. & Siahmansour, S. 2022. Effects of salicylic acid preharvest and *Aloe vera* gel postharvest treatments on quality maintenance of table grapes during storage. *South African Journal of Botany*. 147: 1136–1145.
- [4] Oliveira Filho, J.G.D., Duarte, L.G.R., Silva, Y.B.B., Milan, E.P., Santos, H.V., Moura, T.C., Bandini, V.P., Vitolano, L.E.S., Nobre, J.J.C., Moreira, C.T., Mitsuyuki, M.C., Bogusz Junior, S. & Ferreira, M.D. 2023. Novel Approach for Improving Papaya Fruit Storage with Carnuba Wax Nanoemulsion in Combination with *Syzygium aromaticum* and *Mentha spicata* Essential Oils. *Coatings*. 13(5): 847.
- [5] Misir, J., Fatema, H. & Hoque, M.M. 2014. *Aloe vera* gel as a novel edible coating for fresh fruits: A review. *American Journal of Food Science and Technology*. 3: 93–97.
- [6] Mukdisari, Y., Suketi, K. & Widodo, W.D. 2016. Fruit coating with chitosan and beeswax to increase papaya shelf life. *Journal of Tropical Crop Science*. 3(2): 93–98.
- [7] Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V.D. & Moldão-Martins, M. 2013. Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT - Food Science and Technology*. 52: 80–92.
- [8] Eshetu, A., Ibrahim, A.M., Forsido, S.F. & 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.
- [9] Ghazimoghadam, M., Selahvarzi, Y. & Abedi, B. 2021. Increasing the shelf life and preserving of the quality of apple fruit Golab using an edible coating of *Aloe vera* gel and essential oil of Shirazi thyme. *Iranian journal of horticultural sciences (Iranian journal of agricultural sciences)*. 51(4): 899–911. (In Persian)
- [10] De Bruno, A., Gattuso, A., Ritorto, D., Piscopo, A. & Poiana, M. 2023. Effect of edible coating enriched with natural antioxidant extract and bergamot essential oil on the shelf life of strawberries. *Foods*. 20(3): 488.
- [11] Díaz-Montes, E., Castro-Muñoz, R. 2021. Edible Films and Coatings as Food-Quality Preservers: An Overview. *Foods*. 10: 249.
- [12] Shah, S., Hashmi, M.S., Qazi, I.M., Durrani, Y., Sarkhosh, A., Hussain, I. & Brecht, J.K. 2021. Pre-storage chitosan-thyme oil coating control anthracnose in mango fruit. *Scientia Horticulturae*. 284: 110139.
- [13] Khaliq, G., Abbas, H.T., Ali, I. & Waseem, M. 2019. *Aloe vera* gel enriched with garlic essential oil effectively controls anthracnose disease and maintains postharvest quality of banana fruit during storage. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 60: 659–669.
- [14] Liu, J., Liu, Y., Shao, S., Zheng, X. & 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.
- [15] Dong, F. & 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.

- [16] Efendi, D. & Hermawati, H. 2010. The use of bee wax, chitosan and BAP to prolong shelf-life of Mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) fruit. Jurnal Hortikultura Indonesia. 1(1).
- [17] Peyromousavi, M., Kashiri, M., Maghsoudlou, Y., Komeiri, M. & 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.
- [18] Jayamand, K. & Rezaei, M.B. 2011. Distillation devices, test methods and inhibition indices in essential oil decomposition. Medicinal Plants Association, Tehran. 350 p. (In Persian)
- [19] Jahantighi, F., Gholipour-Kanaani, H., Ebrahimi, P., Jafarian, H. & Shahsuni, D. 2016. Use of clove essential oil and clove nano-essential oil (*Eugenia caryophyllata*) in anesthesia of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). National Conference on Medicinal and Aromatic Plants. SID. <https://sid.ir/paper/885076/fa> (In Persian)
- [20] Mostofi, Y. & Najafi, F. 2005. Analytical Laboratory Methods in Horticultural Sciences. Tehran University Press (Translation). 136 pp. (In Persian)
- [21] Sun, T., Powers, J.R. & Tang, J. 2007. Evaluation of the antioxidant activity of *Asparagus*, broccoli and their juices. Food Chemistry. 105: 101-106.
- [22] Lee, J., Durst, R.W. & 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.
- [23] Jalili-Marandi, R. 2012. Postharvest Physiology (Transportation and Storage of Fruits, Vegetables, Ornamental Plants and Medicinal Plants). Jihad Daneshgahi Publications, Urmia. 624 pp. (In Persian)
- [24] Punna, R. & Paruchuri, U.R. 2003. Total insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. Journal of food composition and analysis. 16: 677-685.
- [25] Singleton, V.L. & Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture. 16(3): 144-158.
- [26] McDonald, S., Prenzler, P.D., Autolovich, M. & Robards, K. 2001. Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. Food Chemistry. 73: 73-84.
- [27] Oroojalian, F., Kasra-Kermanshahi, R., Azizi, M. & 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): 765-70.
- [28] Gonzalez, E.M., de Ancos, B. & Cano, M.P. 1999. Partial characterization of polyphenol oxidase activity in raspberry fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 47(10): 4068-4072.
- [29] Ungureanu, C., Tihan, G., Zgârian, R. & Pandelea, G. 2023. Bio-Coatings for Preservation of Fresh Fruits and Vegetables. Coatings. 13: 1420.
- [30] Baranzehi, T., Gholamnejad, J., Dehestani, M. & Jafari, A. 2018. The effect of plant extracts on increasing the shelf life of Thomson oranges by measuring the weight loss trait. First National Conference of Agricultural and Environmental Sciences of Iran, Bavi, <https://civilica.com/doc/870332> (In Persian)
- [31] Dehghani, B., Ghanbari Jahromi, M. & Saedi sar, S. 2021. Effect of *Zataria multiflora* bioss. essential oil on the shelf life of 'Green anjou' pear (*Pyrus communis*). Research in Pomology. 6(1): 129-147. (In Persian)
- [32] Khan, I., Tango, C.N., Chelliah, R. & Oh, D.H. 2019. Development of antimicrobial edible coating based on modified chitosan for the improvement of strawberries shelf life. Food Science and Biotechnology. 28: 1257-1264.
- [33] Resende, N.S., Gonçalves, G.A.S., Reis, K.C., Tonoli, G.H.D. & Boas, E.V.B.V. 2018. Chitosan/cellulose nanofibril nanocomposite and its effect on quality of coated strawberries. Journal of Food Quality. 1727426.
- [34] Miele, N.A., Volpe, S., Torrieri, E. & Cavella, S. 2022. Improving physical properties of sodium caseinate based coating with the optimal formulation: Effect on strawberries' respiration and transpiration rates. Journal of Food Engineering. 331: 111123.
- [35] Nunes, C., Silva, M., Farinha, D., Sales, H., Pontes, R. & Nunes, J. 2023. Edible Coatings and Future Trends in Active Food Packaging-Fruits' and Traditional Sausages' Shelf Life Increasing. Foods. 12(17): 3308.
- [36] Hesami, G., Darvishi, S., Zarei, M. & Hadidi, M. 2021. Fabrication of chitosan nanoparticles incorporated with *Pistacia atlantica* subsp. kurdica hulls' essential oil as a potential antifungal preservative against strawberry grey mold. International Journal of Food Science & Technology. 56(9): 4215-4223.
- [37] Rafaathaghighi, A., Jafari, L., Mirzaalian Dastjerdi, A. & Abdollahi, F. 2024. The effect of edible coating with alginate and Shirazi Thyme essential oil on the qualitative characteristics of Ber Fruit (*Ziziphus mauritiana* Lam.) during Storage. Iranian Food Science and Technology Research Journal. 20(4): 465-483. (In Persian)
- [38] Lamani, N.A. & Ramaswamy, H.S. 2023. Composite Alginate-Ginger Oil Edible Coating for Fresh-Cut Pears. Journal of Composites Science. 7: 245.
- [39] Yang, C., Lu, J.-H., Xu, M.-T., Shi, X.-C., Song, Z.-W. & Chen, T.-M. 2022. Herrera-Balandrano, D.D.; Zhang, Y.-J.; Laborda, P.; Shahriar, M.; et al. Evaluation of chitosan coatings enriched with turmeric and green tea extracts on postharvest preservation of strawberries. LWT. 163: 113551.

- [40] Pirozzi, A., Ferrari, G. & Donsì, F. 2021. The use of nanocellulose in edible coatings for the preservation of perishable fruits and vegetables. *Coatings*. 11: 990.
- [41] Horison, R., Sulaiman, F. O., Alfredo, D. & Wardana, 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.
- [42] Pinzon, M.I., Sanchez, L.T., Garcia, O.R., Gutierrez, R., Luna, J.C. & Villa, C.C. 2020. Increasing shelf life of strawberries (*Fragaria* spp.) by using a banana starch-chitosan-*Aloe vera* gel composite edible coating. *International Journal of Food Science & Technology*. 55(1): 92–98.
- [43] Eshghi, S., Hashemi, M., Mohammadi, A., Badiei, F., Mohammadhosseini, Z., Ahmadi-Soumeh, K. & Qanati, K. 2013. The effect of nanoemulsion coating containing chitosan on increasing the shelf life and quality characteristics of strawberry fruit after harvest. *Iranian Journal of Nutritional Sciences and Food Industry*. 2(8): 19-9. (In Persian)
- [44] Asghari, M. 2015. New (non-classical) plant growth hormones and regulators. *Urmia University Jihad Publications*, 349 p. (In Persian)
- [45] Muñoz-Tebar, N., Pérez-Álvarez, J.A., Fernández-López, J. & Viuda-Martos, M. 2023. Chitosan edible films and coatings with added bioactive compounds: antibacterial and antioxidant properties and their application to food products: A Review. *Polymers*. 15: 396.
- [46] Khan, M.R., Di Giuseppe, F.A., Torrieri, E. & Sadiq, M.B. 2021. Recent advances in biopolymeric antioxidant films and coatings for preservation of nutritional quality of minimally processed fruits and vegetables. *Food Package. Shelf Life*, 30: 100752.
- [47] Keshari, D., Tripathi, A.D., Agarwal, A., Rai, S., Srivastava, S.K. & Kumar, P. 2022. Effect of α -dl tocopherol acetate (antioxidant) enriched edible coating on the physicochemical, functional properties and shelf life of minimally processed carrots (*Daucus carota* subsp. sativus). *Future Foods*. 5: 100116.
- [48] Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M. S., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G. & 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.
- [49] Shahi, T., Ghorbani, M., Jafari, S.M., Sadeghi Mahoonak, A., Maghsoudlou, Y. & Beigbabaei, A. 2022. Effect of chitosan nano-coating loaded with pomegranate peel extract on physicochemical and microbial characteristics of pomegranate arils during storage. *FSCT*. 19 (126): 71-85. (In Persian)
- [50] Hassan, H.S., El-Hefny, M., Ghoneim, I.M., El-Lahot, M.S., Akrami, M., Al-Huqail, A.A., Ali, H.M. & Abd-Elkader, D.Y. 2022. Assessing the use of *Aloe vera* gel alone and in combination with lemongrass essential oil as a coating material for strawberry fruits: HPLC and EDX analyses. *Coatings*. 12: 489.
- [51] Zhou, Y., Hu, L., Chen, Y., Liao, L., Li, R., Wang, H., Mo, Y., Lin, L. & 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.
- [52] Najafi Marghmaleki, S., Mortazavi, S.M.H., Saei, H. & Mostaan, A. 2021. The Effect of Alginate-Based Edible Coating Enriched with Citric Acid and Ascorbic Acid on Texture, Appearance and Eating Quality of Apple Fresh-Cut. *International Journal of Fruit Science*. 21: 40–51.
- [53] López-Córdoba, A. & Aldana-Usme, A. 2019. Edible coatings based on sodium alginate and ascorbic acid for application on fresh-cut pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr). *Agronomía Colombiana*. 37: 317–322.
- [54] Guimarães, G., Dantas, R., Sousa, A., Soares, L., Raylson, D., Rosana, S., Lima, R., Rejane, M., Beaudry, R. & Silva, S. 2017. Impact of cassava starch-alginate based coatings added with ascorbic acid and elicitor on quality and sensory attributes during pineapple storage. *African Journal of Agricultural Research*. 12: 664–673.
- [55] Zheng, Y., Yang, Z. & Chen, X. 2008. Effect of high oxygen atmospheres on fruit decay and quality in *Chinese bayberries*, strawberries and blueberries. *Food Control*. 19(5): 470-474.
- [56] Yang, F.M., Li, H.M., Li, F., Xin, Z.H., Zhao, L.Y., Zheng, Y.H. & 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): 236–240.
- [57] Gadelha, J.R., Allende, A., López-Gálvez, F., Fernández, P., Gil, M.I. & Egea, J.A. 2019. Chemical risks associated with ready-to-eat vegetables: Quantitative analysis to estimate formation and/or accumulation of disinfection byproducts during washing. *EFSA Journal*. 17: e170913.
- [58] Sati, F. & Qubbaj, T. 2021. Effect of Calcium Chloride Post-Harvest Treatment in Combination with Plant Natural Substance Coating on Fruit Quality and Storability of Tomato (*Solanum lycopersicum*) Fruits during Cold Storage. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 94: 100-107.
- [59] Shiri, M.A., Ghasemnezhad, M., Bakhshi, D. & 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(6): 2506–2515.
- [60] Abdelgawad, K.F., El-Mogy, M.M., Mohamed, M.I.A., Garchery, C. & Stevens, R.G. 2019. Increasing ascorbic acid content and salinity tolerance of cherry tomato plants by suppressed expression of the acerbate oxidase gene. *Agronomy*. 9: 51-52.

[61] Castelo Branco Melo, N.F., de MendonçaSoares, B.L., Marques Diniz, K., Ferreira Leal, C., Canto, D., Flores, M.A.P., Henrique da Costa Tavares-Filho, J., Galembeck, A., Montenegro Stamford, T.L., Montenegro Stamford-Arnaud, T., *et al.* 2018. Effects of fungal chitosan nanoparticles as eco-friendly edible coatings on the quality of postharvest table grapes. *Postharvest Biology and Technology*. 139: 56–66.

[62] Nourozi, F. & Sayyari, M. 2020. Enrichment of *Aloe vera* gel with basil seed mucilage preserve bioactive compounds and postharvest quality of apricot fruits. *Scientia Horticulturae*. 262: 109041.

[63] Feng, Z., Wu, G., Liu, C., Li, D., Jiang, B. & Zhang, X. 2018. Edible coating based on whey protein isolate nanofibrils for antioxidation and inhibition of product browning. *Food Hydrocolloids*. 79: 179–188.



Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

The Effect of Beeswax and Aloe Vera Gel Combined with Clove (*Syzygium aromaticum*) Nanoemulsion and Salicylic Acid on the Shelf Life and Quality Characteristics of Strawberry Fruit (*Fragaria × ananassa*)

Kimia Najafi varnezhad¹, Sepideh Kalateh Jari^{2*}, Maryam Gharachourloo³

1-Department of Agricultural Science and Engineering, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2-* Department of Agricultural Science and Engineering, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3-Department of Agricultural Science and Engineering, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received:2025/3/30 Accepted:2025/5/16 Keywords: Firmness, Flavor index, Postharvest losses, Storage, Strawberry. DOI: 10.22034/FSCT.22.166.255. *Corresponding Author E- kalatehjari@srbiau.ac.ir	Strawberry, as a highly popular yet perishable fruit, requires safe and natural methods to enhance its postharvest shelf life. This study was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with two factors (edible coatings and different storage durations) in three replications. The treated fruits were stored in a dark cold room at 4±1°C with 85-90% relative humidity under regular ventilation. Results demonstrated that untreated control fruits exhibited the lowest fruit juice pH after 15 days of storage compared to other treatments. The combined treatment of 30% aloe vera gel + 10% beeswax + 1 mM salicylic acid proved most effective, forming a protective layer that prevented cellular degradation and maintained fruit quality. This treatment doubled ascorbic acid content compared to the control and achieved 9.03% total soluble solids by day 15. It also showed minimal weight loss (9.1%) and the least changes in titratable acidity (18.64% reduction) on day 15. Additionally, the treatment containing 2‰ clove nanoemulsion significantly extended the strawberry's shelf life. The findings indicate that these natural compounds can serve as suitable alternatives to synthetic chemicals in postharvest applications, particularly for sensitive fruits like strawberries, demonstrating their potential for commercial use in food preservation technologies.