

مقاله پژوهشی

بررسی اثر بسته‌بندی فعال زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه زئین حاوی اسانس آویشن شیرازی بر عمر پس از برداشت توت‌فرنگی

یگانه فیض‌اللهی^۱، عبدالله گلمحمدی^۲، علی نعمت‌اله‌زاده^۳، محمد طهماسبی^۴

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳. دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی

۴. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷)

چکیده

سالیانه بخش زیادی از محصول توت‌فرنگی تولیدی در اثر فساد پس از برداشت از بین می‌رود. از سوی دیگر، تقاضا برای مواد بسته‌بندی سازگار با محیط‌زیست به علت نگرانی‌های محیط‌زیست در رابطه با استفاده از پلیمرهای نفتی به شدت افزایش یافته است. بنابراین، مواد بسته‌بندی مبتنی بر بیوپلیمرها پتانسیل بالایی را برای جایگزینی با پلاستیک‌های نفتی دارند. همچنین پژوهش‌ها نشان داده است که اسانس‌های گیاهی امکان کنترل بیماری‌های پس از برداشت محصولات کشاورزی را فراهم می‌کنند؛ اما استفاده از آن‌ها به دلیل ناپایداری‌های فیزیکی و شیمیایی و ایجاد بو و مزه در محصول با دشواری‌هایی همراه است. یکی از بهترین روش‌ها برای مرتفع ساختن این مشکلات، گنجاندن اسانس در فیلم بسته‌بندی است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر فیلم زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه زئین حاوی اسانس آویشن شیرازی (با غلظت‌های ۰، ۵، ۱۰ و ۲۰٪ وزنی/وزنی) به عنوان یک بسته‌بندی فعال به منظور افزایش عمر پس از برداشت میوه توت‌فرنگی صورت گرفت. اثر فیلم‌ها بر حفظ خواص کیفی توت‌فرنگی طی ۱۵ روز نگهداری در دمای ۴ °C مورد بررسی و میزان تغییرات کیفی نمونه‌ها (وزن، سفتی، مواد جامد محلول، pH، اسیدیته قابل تیتراسیون، ویتامین ث و میزان آلودگی میکروبی) طی این مدت مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که در طول دوره نگهداری، کیفیت نمونه‌ها کاهش یافت اما روند کاهش در نمونه‌های بسته‌بندی شده بسیار کم‌تر از نمونه‌های بسته‌بندی نشده بود. همچنین افزودن اسانس به فیلم پلیمری موجب حفظ بهتر خواص کیفی توت‌فرنگی شد و با افزایش غلظت اسانس کاهش کیفیت نمونه‌های توت‌فرنگی روند کندتری یافت. لذا به نظر می‌رسد که می‌توان با استفاده از فیلم زیست‌تخریب‌پذیر زئین حاوی اسانس آویشن شیرازی به عنوان یک بسته‌بندی فعال ضایعات پس از برداشت توت‌فرنگی را حد بسیار زیادی کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، بسته‌بندی فعال، توت‌فرنگی، زئین، زیست‌تخریب‌پذیر، عمر پس از برداشت.

۱. مقدمه

غذایی این محصول ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر، تقاضا برای مواد بسته‌بندی سازگار با محیط‌زیست به علت نگرانی‌های محیط‌زیست در رابطه با استفاده از پلیمرهای مبتنی بر مواد نفتی به شدت افزایش یافته است. بنابراین، مواد بسته‌بندی مبتنی بر بیوپلیمرها به علت زیست‌تخریب‌پذیر بودن، پتانسیل بالایی را برای جایگزینی با پلاستیک نفتی دارند [۸]. فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر با اجزای مختلف مانند لیپیدها، پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها توسعه یافته‌اند؛ در این بین می‌توان به زئین اشاره نمود. این پلیمر، پروتئین آب‌گریز موجود در آندوسپرم ذرت و محصول جانبی آسیاب مرطوب ذرت است. این پلیمر همچنین به عنوان پرولامین شناخته می‌شود که دارای خواص ترموپلاستیک بالا و در مقابل نفوذپذیری گازها خواص ممانعتی خیلی خوبی از خود نشان می‌دهند؛ اما در مقابل نفوذپذیری بخار آب مقاومت کمی دارد. یکی دیگر از مشکلات زئین شکننده بودن فیلم حاصل از این پلیمر است [۸]؛ بنابراین علی‌رغم مزایای زیست‌محیطی زئین، کاربرد عملی آن‌ها به علت خواص مکانیکی و انسدادی نامطلوب امکان‌پذیر نیست. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، اتصال عرضی یک روش متداول و بسیار مؤثر برای افزایش خواص مکانیکی، انسدادی و مقاومت در برابر آب، فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر است [۹]. گرچه عوامل اتصال عرضی سنتزی مثل گلوآرال‌دئید و گلیوکسال به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما مشکلات التهابی و سیتوتوکسیک آن‌ها به اثبات رسیده است [۱۰]، لذا، جایگزینی این مواد با یک عامل اتصال عرضی زیست‌تخریب‌پذیر ضروری به نظر می‌رسد. ترکیبات فنلی موجود در اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهان می‌توانند به این منظور مورد استفاده قرار گیرند. اکسیداسیون ترکیبات فنولی منجر به تولید کینون‌ها می‌شود که می‌توانند با زنجیره جانبی گروه‌های پلیمری از طریق پیوند کووالانسی یا هیدروژنی واکنش نشان دهند؛ تعاملات بین‌مولکولی منجر به پیوند متقابل بین زنجیره‌ها و در نتیجه بهبود خواص فیلم می‌شود [۱۱]. علاوه بر این اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی به دلیل تأثیرگذاری در فاز بخار، امکان کنترل بیماری‌های پس از برداشت محصولات کشاورزی و غذایی را نیز فراهم

امروزه ضایعات پس از برداشت محصولات کشاورزی (به‌خصوص میوه‌ها و سبزی‌ها) در کشور ما یکی از معضلات مهمی است که ضمن نابودی بخش زیادی از محصول تولیدی، از ارزش صادرات و بازاریابی آن نیز می‌کاهد [۱]. سالانه بخش زیادی از محصول توت‌فرنگی تولیدی (حدود ۴۰٪) در اثر فساد پس از برداشت از بین می‌رود. فسادپذیری بالای توت‌فرنگی عامل مهم در محدود بودن دوره نگهداری میوه بوده و از این رو تولیدکنندگان را مجبور می‌سازد تا محصول خود را سریعاً به فروش برسانند [۲]. لذا بررسی عمر انبارمانی و طول عمر قفسه‌ای میوه و یافتن راه‌هایی برای افزایش آن یک مرحله حساس در این میوه به شمار می‌رود [۳]. کاهش کیفیت توت‌فرنگی در طول عمر پس از برداشت عمدتاً به علت فعالیت‌های فیزیولوژیک بالای آن و نیز حساسیت آن به پوسیدگی‌های قارچی که عمدتاً ناشی از کپک خاکستری است، می‌باشد. این محصول همچنین حساس به کاهش وزن و از دست دادن آب است. خسارات و آسیب‌ها مکانیکی توت‌فرنگی عموماً به دلیل بافت نرم آن و تخریب آنزیمی دیواره سلولی که از سلولز، همی سلولز و پکتین تشکیل شده است و نیز نداشتن پوسته محافظ می‌باشد [۴].

تاکنون تحقیقات زیادی در ارتباط با نگهداری و افزایش عمر انبارمانی این میوه انجام شده است و بیش‌ترین تلاش‌ها در جهت افزایش کیفیت پس از برداشت آن بوده است. استفاده از انبارهای سرد [۵]، اتمسفر تغییریافته یا کنترل‌شده [۶] از متداول‌ترین روش‌های افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی است. با این حال پژوهش‌های علمی و تجربیات عملی در عرضه تجاری این میوه نشان داده است که استفاده از این روش‌ها با مشکلات و کاستی‌هایی همراه است. به عنوان نمونه، دمای پایین سردخانه به‌تنهایی قادر به کنترل بیماری‌های قارچی توت‌فرنگی نیست؛ همچنین غلظت بالای دی‌اکسید کربن در بسته‌بندی با اتمسفر کنترل‌شده یا تغییریافته، سبب کاهش ترکیبات معطر، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای آنتوسیانین کل در میوه می‌شود [۷]. از این رو توجه به راهکارهای جدید به منظور افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی و درعین‌حال حفظ کیفیت و ارزش

مخلوط کیتوزان- پلی‌وینیل الکل در چهار غلظت ۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد وزنی کیتوزان مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج این پژوهش نشان داد که میوه‌های توت‌فرنگی بسته‌بندی‌شده با استفاده از این فیلم‌ها در مقایسه با توت‌فرنگی غیر بسته‌بندی‌شده تفاوت معنی‌داری در خواص کیفی نشان دادند. همچنین فیلم کیتوزان ۲۵ درصد وزنی می‌تواند برای حفظ کیفیت و به تأخیر انداختن فساد توت‌فرنگی بهترین عملکرد را داشته باشد. لیو و همکاران [۲۳] از الیاف الکترورسی شده به منظور ساخت فیلم‌های کامپوزیتی اسید پلی لاکتیک/نانولوله‌های کربنی/کیتوسان حاوی غلظت‌های مختلف کیتوسان استفاده و توانایی آن‌ها را به منظور نگهداری توت‌فرنگی بررسی نمودند. آزمایش‌ها نگره‌داری نشان داد که فیلم‌ها نانو کامپوزیت حاوی غلظت‌های مختلف کیتوسان اثرات حفاظتی خوبی را برای توت‌فرنگی نشان می‌دهد و فیبر حاوی ۰.۷٪ وزنی کیتوسان بهترین کارایی در افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی نشان داد. دینگ و همکاران [۲۴] فیلم‌های پلی‌وینیل الکل/کیتوسان را تهیه و ضمن بررسی اثرات شرایط آماده‌سازی و محتوای کیتوسان (۰.۲، ۲/۵ و ۳ درصد وزنی)، توانایی این فیلم‌ها برای حفظ کیفیت توت‌فرنگی ارزیابی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که با توجه به پارامترهای فیزیکوشیمیایی ارزیابی شده، بسته‌بندی با فیلم‌های پلی‌وینیل الکل/کیتوسان منجر به حفظ بهتر کیفیت میوه در طول دوره نگره‌داری می‌شود. در پژوهشی دیگر اثر هم‌افزایی ضد میکروبی فیلم‌های نانوکامپوزیتی پلی‌اتیلن سبک/مونت موریلونیت اصلاح‌شده آلی حاوی ترکیبات اسانس (کارواکرول و تیمول) به صورت درون‌تنی در توت‌فرنگی تلقیح شده با *Botrytis cinerea* ارزیابی شد. براساس نتایج این مطالعه هنگامی که فیلم‌ها از طریق تماس غیرمستقیم با توت‌فرنگی استفاده شدند، یک اثر ضد میکروبی هم‌افزایی برای مخلوط کارواکرول/ تیمول علیه *B.cinerea* مشاهده شد. در پژوهشی صورت گرفته توسط الازمر [۲۵] پکتین پوست مرکبات برای تهیه فیلم‌های (با یا بدون گلیسرول) حاوی نانو ذرات سیلیکا مزوپور بکار گرفته شد. فیلم‌های پکتین ۰.۱۶٪ خالص یا تقویت شده با ۳٪ نانو ذرات در حضور ۳۰٪ گلیسرول برای بسته‌بندی توت‌فرنگی و بررسی ماندگاری میوه‌ها در یک دوره ۸۰ روزه استفاده شد؛

می‌کنند [۱۲]. با این وجود مصرف آن‌ها عموماً به دلیل حلالیت کم در آب، فشار بخار بالا و ناپایداری فیزیکی و شیمیایی با دشواری‌هایی در کاربرد همراه است؛ علاوه بر این، اسانس‌ها در محصولات ایجاد بو و مزه می‌کنند که این امر خوشایند مصرف‌کنندگان نیست؛ بنابراین، امروزه تلاش می‌شود تا تأثیرات نامطلوب اسانس‌ها کاسته شود. از جمله این روش‌ها درون‌پوشانی اسانس‌های گیاهی و ترکیبات آن‌ها می‌باشد [۱۳]. در این بین اسانس‌های گیاهی مختلف می‌توان به آویشن شیرازی اشاره نمود؛ آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*) که یکی از گیاهان بومی ایران است. علاوه بر ایران در افغانستان و پاکستان نیز می‌روید و دارای خواص ضد عفونی‌کننده، بی‌حس‌کننده، ضد تشنج و آرامش‌بخش است. این گیاه در ایران به عنوان ادویه و بهبود دهنده عطر و طعم در غذاها مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسانس این گیاه از برگ گیاه استخراج می‌شود. ترکیبات اصلی ضد میکروبی اسانس آویشن کارواکرول و تیمول می‌باشد [۱۴]. این دو ترکیب دارای ساختاری بسیار مشابه بوده و تنها تفاوت آن‌ها در محل قرارگیری گروه هیدروکسیل در حلقه فنلی است و هر دو قادر به تجزیه غشای خارجی باکتری‌ها و قارچ‌ها و افزایش نفوذپذیری غشای سیتوپلاسمی هستند [۱۵] و اثرات ضد قارچی آن علیه قارچ‌های مختلف از جمله کپک خاکستری در مقالات متعددی گزارش شده است [۱۷-۱۹]. نتایج پژوهش‌های قبلی ما نشان داد که افزودن اسانس این گیاه به عنوان یک عامل اتصال عرضی موجود بهبود و اصلاح خواص فیلم زئین می‌شود [۲۰].

قابلیت فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر به عنوان ماده بسته‌بندی در افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی در مقالات مختلفی گزارش شده است؛ دوران و همکاران [۲۱] پتانسیل بسته‌بندی‌های فعال ضد میکروبی کیتوسان حاوی ناتامیسین، نایسین و عصاره پوست انار و هسته انگور را در افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی بررسی و گزارش نمودند که کلیه تیمارها کیفیت توت‌فرنگی‌ها را در مقایسه با تیمار شاهد حفظ نمودند، همچنین در بین تیمارها فیلم حاوی ناتامیسین اثر بهتری بر به تأخیر انداختن تغییرات پارامترهای کیفی نمونه‌ها داشت. همچنین در پژوهشی دیگر لیو و همکاران [۲۲] بسته‌بندی‌های توت‌فرنگی با فیلم



با دمای 25°C خشک شد. فیلم‌ها پس از خشک شدن از پلیت‌ها جدا و تا زمان استفاده در بسته‌بندی نایلونی و درون یخچال با دمای 4°C نگهداری شدند.

۳.۲. بسته‌بندی نمونه‌ها

بدین منظور میوه‌هایی از نظر شکل و رنگ یکنواخت و بدون هیچ‌گونه نشانه‌ای از آسیب‌های مکانیکی و یا پوسیدگی قارچی انتخاب و قبل از انجام آزمایش‌ها با آب مقطر شستشو و پس از خشک شدن شش عدد میوه توت‌فرنگی با وزن تقریبی 100 gr مطابق روش مورد استفاده توسط امپوس-ریکوئنا و همکاران [۲۶]. بسته‌بندی شدند. هر شش میوه در یک ظرف از جنس پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) که به منظور جلوگیری از تماس فیزیکی بین نمونه‌ها فضای داخلی آن به شش قسمت تقسیم شده بود قرار داده شدند؛ به منظور ایجاد یک بسته‌بندی نیم تراوا و زیست فعال، درون درب بسته سوراخی به قطر 100 mm ایجاد و یک قطعه دایره‌ای از فیلم بر روی آن قرار داده شده و به کمک متیل آلفا سیانو آکریلات موهر و موم شد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ روز و در دمای 4°C نگهداری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در روز-های اول، پنجم، دهم و پانزدهم نگهداری به شرح زیر ارزیابی گردید.

۴.۲. آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی

۱.۴.۲. خواص فیزیکی

۱.۱.۴.۲. کاهش وزن

به منظور تعیین میزان کاهش وزن، نمونه‌ها در شروع آزمایش و نیز طی دوره نگهداری با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی در سه تکرار وزن و کاهش وزن بر اساس درصد از وزن اولیه محاسبه شد [۲۷].

۲.۱.۴.۲. سفتی

این آزمون با استفاده از دستگاه سفتی سنج میوه (STEP SYSTEM, Germany) و توسط میله فولادی با قطر استاندارد 8 mm انجام شد. نیروی متناظر با مقدار نفوذ بیشینه (نیروی نفوذ) تا عمق 5 mm به عنوان شاخص سفتی

که بکارگیری این فیلم‌ها با بهبود حفظ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها در طول دوره نگهداری همراه بود؛ بنابراین، فقط با یک سوم غلظت کل ترکیبات اسانس‌ها مورد نیاز برای فیلم‌ها، فیلم حاوی کارواکرول: تیمول مهار مؤثر B.cinerea را بدون تغییر معنی‌دار در خواص ارگانولپتیک توت‌فرنگی، فراهم می‌کند. با این حال به نظر می‌رسد پتانسیل فیلم زئین حاوی اسانس آویشن شیرازی به عنوان یک فیلم بسته‌بندی فعال زیست تخریب‌پذیر و ضد میکروبی در حفظ محصول توت‌فرنگی تاکنون مورد ارزیابی قرار نگرفته است و لذا هدف از این پژوهش، بررسی اثر این فیلم فعال و زیست تخریب‌پذیر بر برخی خواص کیفی توت‌فرنگی در طول دوره نگهداری می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. اسانس آویشن شیرازی

اسانس آویشن شیرازی از طرف شرکت طیب دارو به ما اهدا شد. مطابق آنالیز صورت گرفته در پژوهش‌های قبلی ما با استفاده از دستگاه کارماتوگرافی گازی-طیف سنج جرمی (GC-MS) ترکیبات عمده این اسانس شامل تیمول ($32/68\%$) و کرواکرول ($30/57\%$) بود [۱۹].

۲.۲. تهیه فیلم‌ها

فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر زئین حاوی غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد اسانس آویشن شیرازی به روش قالب‌گیری محلول سنتز شد [۲۰]. بدین منظور 2 gr زئین در 10 ml اتانول 80% توسط همزن مغناطیسی با 900 rpm به مدت 30 min حل شد؛ سپس 15% (وزنی/وزنی) گلیسرول به عنوان نرم‌کننده به محلول فوق اضافه و هم زدن به مدت 10 min ادامه یافت؛ در مرحله بعدی اسانس‌ها در غلظت‌های مختلف با هم زدن به مدت 15 min به محلول فیلم‌ها افزوده شد. محلول‌های تهیه شده به منظور حذف حباب‌های هوا در یک شیشه در بسته ریخته شده و با استفاده از یک سرنگ هوای داخل شیشه خارج و به مدت 24 ساعت در آن با دمای 35°C قرار داده شد. در مرحله بعد محلول تهیه شده داخل پلیت‌های پلاستیکی پخش و در مدت 24 ساعت درون آن

پتاسیم (KIO_3) استفاده شد. بدین منظور ۲۰ ml آب میوه، با آب مقطر به حجم ۱۵۰ ml رسانده شد و پس از افزودن نشاسته ۰/۵٪ به عنوان شناساگر، ۵ ml ۱M/1 HCl و ۵ ml یدید پتاسیم (KI) با غلظت ۰/۰۰۶ M/1 با استفاده از یدات پتاسیم با غلظت ۰/۰۰۲ M/1 تا ظهور رنگ آبی تیترا شد و سپس میزان ویتامین ث بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد.

$$Vit C = \frac{5/2836V}{10^3} \quad (2)$$

که در این رابطه Vit C میزان ویتامین ث موجود در هر ml ۱۰۰ آب میوه بر حسب میلی‌گرم و V میزان یدات پتاسیم مصرفی بر حسب میکرولیتر می‌باشد [۳۱].

۵.۲.۴.۲. آلودگی میکروبی

بدین منظور نمونه‌ها از نظر میزان پیشرفت پوسیدگی سطحی بر اساس نمره‌دهی در پنج گروه قرار گرفتند؛ که عدد ۱ برای نمونه‌هایی که هیچ‌گونه پوسیدگی در آن‌ها مشاهده نشود اختصاص داده شد. عدد ۲ به نمونه‌های دارای حداکثر ۵٪ پوسیدگی سطحی، عدد ۳ به ۲۰٪-۵٪، عدد ۴ به ۵۰٪-۲۰٪ و عدد ۵ به نمونه‌های دارای بیش از ۵۰٪ آلودگی اختصاص یافت. میزان وقوع و شدت آلودگی به عنوان میانگین‌های وزنی حداکثر سطح ممکن گزارش شد که براساس رابطه (۳) زیر محاسبه شده بودند.

$$I = \left[\sum \frac{(d \times f)}{(N \times D)} \right] \times 100 \quad (3)$$

که در این رابطه I شدت پوسیدگی، f دامنه پوسیدگی است، N تعداد کل میوه مورد بررسی (سالم و آلوده) است و D بالاترین شدت پوسیدگی مشاهده شد است [۳۲].

۵.۲. آنالیز آماری

در آزمایش اثر متغیرهای مستقل نوع اسانس، غلظت و زمان نگهداری بر شاخص‌های کیفی محصول در قالب آزمایش فاکتوریل بر اساس طرح کاملاً تصادفی با حداقل سه تکرار، اجرا و داده‌های آزمایشی با نرم‌افزار آماری SPSS تجزیه و تحلیل شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با حداقل خطای قابل قبول ۵٪ ($P < 0.05$) استفاده شد.

در نظر گرفته شد. آزمون نفوذ در قسمت مرکزی میوه در ۴ نقطه با فاصله یکسان روی محیط میوه انجام گرفت [۲۸].

۲.۴.۲. بررسی خواص شیمیایی

بدین منظور از هر تیمار در هر دوره نگهداری میوه آگیری و آب حاصل باهم مخلوط و سپس خواص شیمیایی به صورت زیر در ۳ تکرار اندازه‌گیری شد:

۱.۲.۴.۲. مواد جامد محلول^۱ (SSC)

میزان مواد جامد محلول برحسب درصد توسط دستگاه رفرکتومتر چشمی و با ریختن یک یا دو قطره آب‌میوه بر روی صفحه شیشه‌ای رفرکتومتر انجام گرفت [۲۹].

۲.۴.۲. pH

به‌منظور اندازه‌گیری pH آب‌میوه، از pH متر دیجیتالی (Metrohm 827) در دمای محیط استفاده شد. مقداری از آب‌میوه در بشر ریخته و با قرار دادن الکتروود در آب‌میوه، مقدار pH اندازه‌گیری شد [۲۴].

۳.۲.۴.۲. اسیدیته قابل تیتراسیون

برای تعیین میزان اسیدیته کل میوه، از روش تیتراسیون استفاده شده و از روی میزان سود مصرفی مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون بر اساس اسید مالیک محاسبه شد. بدین منظور ۵ ml آب میوه و ۱ ml فنل‌فالتین (10 g.m^{-1}) با آب مقطر به حجم ۲۰۰ ml رسانده و محلول تا $\text{pH}=8.2$ و ظهور رنگ صورتی با استفاده از سود ۰/۱ نرمال تیترا شد. میزان اسیدیته قابل تیتراسیون برحسب اسیدسیتریک (اسید قالب میوه) و مطابق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$TA = \frac{ml(\text{NaOH}) \times N(\text{NaOH}) \times \text{acidmeq.factor}}{ml(\text{juice})} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه TA میزان درصد اسیدیته قابل تیتراسیون بر حسب درصد، ml(NaOH) حجم سود مصرفی، N(NaOH) نرمالیت سود مصرفی و برابر با ۰/۱، acidmeq.factor فاکتور اسید قالب میوه و برابر با ۰/۰۶۴ و ml(juice) میزان آب میوه و برابر با ۵ ml است [۳۰].

۴.۲.۴.۲. ویتامین ث

برای اندازه‌گیری میزان ویتامین ث از روش تیتراسیون با یدات

۴. نتایج و بحث

۱.۴. کاهش وزن

اسانس بود. در بین بسته‌بندی‌های مختلف کمترین روند کاهشی در طول دوره نگهداری مربوط به نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم شاهد بود و با افزودن غلظت اسانس به فیلم زئین، کاهش وزن بیشتری در نمونه‌های بسته‌بندی مشاهده شد. این پدیده را می‌توان به افزایش نفوذپذیری به فیلم نسبت به بخار آب در اثر حضور اسانس نسبت داد [۳۳].

نتایج مشابه در رابطه با بسته‌بندی انبه با فیلم PVA حاوی نانو ذرات TiO_2 و اسانس برگاموت [۳۴] و موز با فیلم حاوی اسانس میخک صدپر [۳۵] توسط سایر محققان گزارش شده است.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۱) تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر غلظت اسانس، زمان نگهداری و اثرات متقابل این صفات بر کاهش وزن محصول در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین که در شکل (۱) نشان داده شده است. در کلیه تیمارها در طول دوره نگهداری وزن نمونه‌ها کاهش یافته است. بطوریکه بیشترین درصد کاهش وزن مربوط به تیمار شاهد در روز ۱۵ نگهداری (۰.۴۸/۰۸) و کمترین میزان کاهش وزن (۰.۶/۵۶) مربوط به نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم حاوی ۲۰٪

جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت اسانس و زمان نگهداری بر خواص کیفی توت فرنگی

Table 1. Results of Variance Analysis for effect of essential oil concentration and storage time on the quality properties of Strawberry

| میانگین مربعات Mean Square | | | | | | | درجه آزادی Df | منابع تغییر Source of variations |
|--|------------------------------|--|---------|---------------------------|------------------|-------------------------------|---------------------|--|
| فساد میکروبی Microbial spoilage | ویتامین ث Vitamin C | اسیدیته قابل تیتراسیون Titratable acidity | pH | مواد جامد محلول SSC | سفتی Firmness | کاهش وزن Weight loss | | |
| 3084.61** | 71.840** | 0.013** | 0.050** | 1.264** | 0.341** | 247.11** | 3 | زمان نگهداری (T) storage time (T) |
| 8283.04** | 1288/59** | 0.496** | 0.418** | 4.245** | 7.349** | 2367.43** | 4 | غلظت اسانس Essential oil concentration (C) |
| 639.72* | 26.52** | 0.006** | 0.011** | 0.581* | 0.052** | 120.39** | 12 | T×C |
| 4.500 | 0.730 | 0.012 | 0.000 | 0.011 | 0.009 | 0.260 | 40 | خطا Error |
| | | | | | | | 59 | کل Total |

* و ** به ترتیب نشان دهنده اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

* and **, are significant at 5% and 1%, respectively

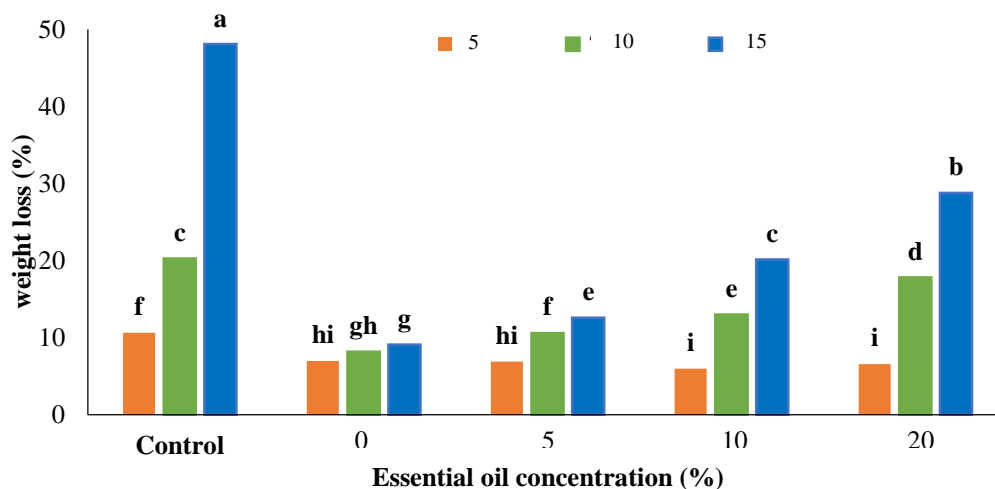
۲.۴. سفتی

تماس سلول با سلول و تورژسانس^۱ سلولی است [۳۷]. از آنجایی که گسترش عفونت قارچی در میوه موجب تخریب دیواره سلولی و مرگ سلول‌های میوه می‌گردد [۲۴]. با افزایش غلظت اسانس در فیلم بسته‌بندی میزان رشد عوامل بیماری‌زا و در نتیجه آن سفتی با روند کندتری کاهش می‌یابد. از طرف دیگر زئین و سایر پلیمرهای زیستی به عنوان یک مانع انتخابی برای CO_2 و O_2 عمل نموده و موجب اصلاح جو داخل بسته، کاهش سرعت تنفس و در نتیجه کاهش تخریب فیزیولوژیک میوه می‌شوند [۳۸].

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها که در جدول (۱) نشان داده شده است، غلظت اسانس، زمان نگهداری و اثر متقابل این دو تیمار بر سفتی توت‌فرنگی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. همان‌گونه که در شکل (۲) مشخص است میزان سفتی نمونه‌ها در طول دوره نگهداری کاهش می‌یابد با افزایش غلظت اسانس میزان سفتی با شیب ملایم‌تری کاهش می‌یابد. سفتی در طی رسیدن و نگهداری میوه به دلیل تخریب دیواره سلول‌های پارانسیم میوه کاهش می‌یابد [۳۶]. علاوه بر این سفتی تحت تأثیر استحکام دیواره سلولی،

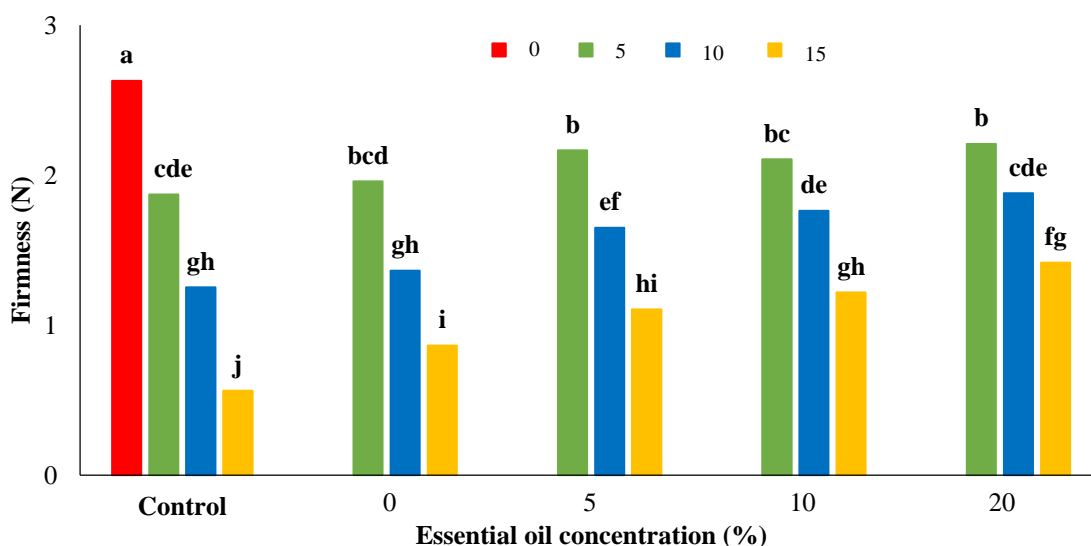
۱. باد کردن و حجیم شدن سلول‌های گیاهی در اثر جذب آب توسط سلول

نتایج مشابه توسط سایر محققان در رابطه پوشش خوراکی صمغ ژلان-نشاسته حاوی اسانس آویشن برای سیب و خرمالو گزارش شده است [۳۹].



شکل (۱) اثر غلظت اسانس و زمان نگهداری بر کاهش وزن میوه

Fig 1. Effect of essential oil concentration and storage time on fruit weight loss



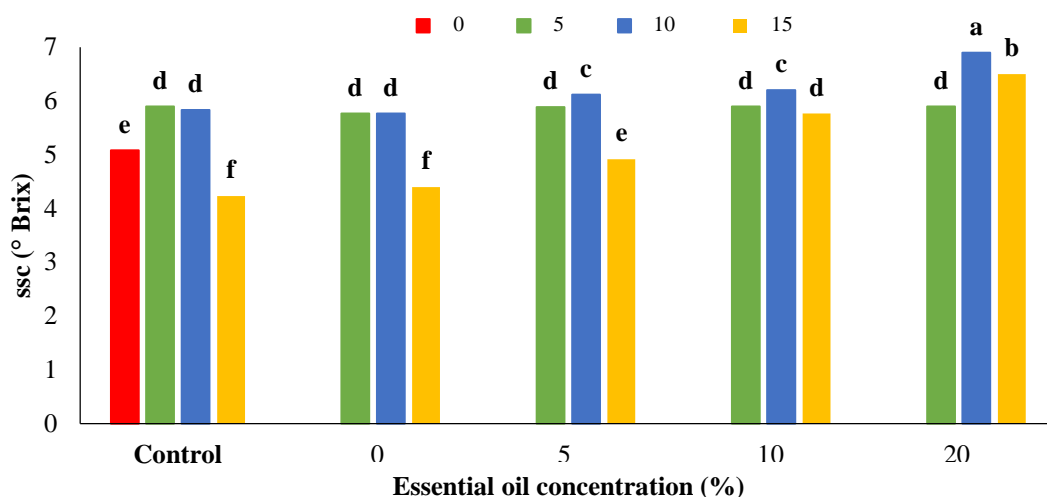
شکل (۲) اثر غلظت اسانس و زمان نگهداری بر کاهش سفتی

Fig 2. Effect of essential oil concentration and storage time on firmness

SSC افزایش یافته است. این روند افزایشی در ابتدای زمان نگهداری و سپس کاهش SSC را می‌توان به افزایش میزان قند در طول فرآیند رسیدگی [۴۰] و هیدرولیز ساکاروز برای حفظ فعالیت‌های فیزیولوژیکی میوه نسبت داد [۴۱]. نتایج مشابه در رابطه با بسته‌بندی گوآوا با فیلم بر پایه صمغ عربی حاوی اسانس دارچین [۴۲] و انبه با فیلم زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه نشاسته حاوی اسانس آویشن [۴۳] گزارش شده است.

۳.۴. مواد جامد محلول (SSC)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر غلظت اسانس، زمان نگهداری در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵٪ اثر معنی‌داری بر مواد جامد محلول دارند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین که در شکل (۳) نشان داده شده است با افزایش زمان نگهداری میزان SSC ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. همچنین با افزایش غلظت اسانس در فیلم بسته‌بندی میزان

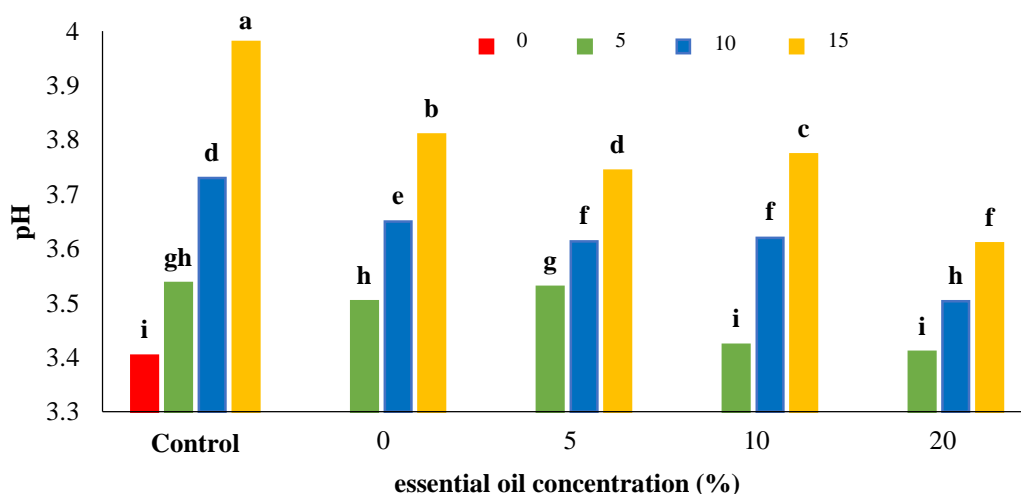


شکل (۳) اثر غلظت اسانس و زمان نگهداری بر مواد جامد محلول
 Fig 3. Effect of essential oil concentration and storage time on SSC

اسیدهای آلی ناشی از پیری میوه در طول دوره نگهداری نسبت داده می‌شود [۴۳]. همان‌گونه که در مورد سفتی گفته شد بسته‌بندی با پلیمرهای زیستی که به عنوان یک مانع انتخابی برای CO_2 و O_2 عمل می‌کنند و موجب اصلاح جو داخل بسته، کاهش سرعت تنفس و در نتیجه کندتر شدن روند افزایش pH در محصول می‌شود [۳۸]. نتایج مشابه در رابطه با بسته‌بندی گوآوا با فیلم بر پایه صمغ عربی حاوی اسانس دارچین [۲۹] و فیلم زیست‌تخریب‌پذیر PVA و کیتوسان برای بسته‌بندی توت‌فرنگی [۲۴] گزارش شده است.

۴.۴. pH

اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها که در جدول (۱) نشان داده شده است، اثرات اصلی و متقابل کلیه عوامل مورد بررسی اثر معنی‌داری بر pH نمونه‌ها در سطح احتمال ۱٪ داشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها که در شکل (۴) نشان داده شده است، در کلیه تیمارها با افزایش زمان نگهداری مقدار pH با گذشت زمان افزایش یافت. همچنین در اکثر تیمارها با بسته‌بندی و افزودن اسانس به فیلم بسته‌بندی مقدار pH کاهش یافته و سپس با افزایش غلظت به ۱۰٪ مقدار pH ثابت مانده و با افزایش غلظت به ۲۰٪ مقدار pH کاهش یافت. این یافته‌ها به اثرات تنفس و مصرف

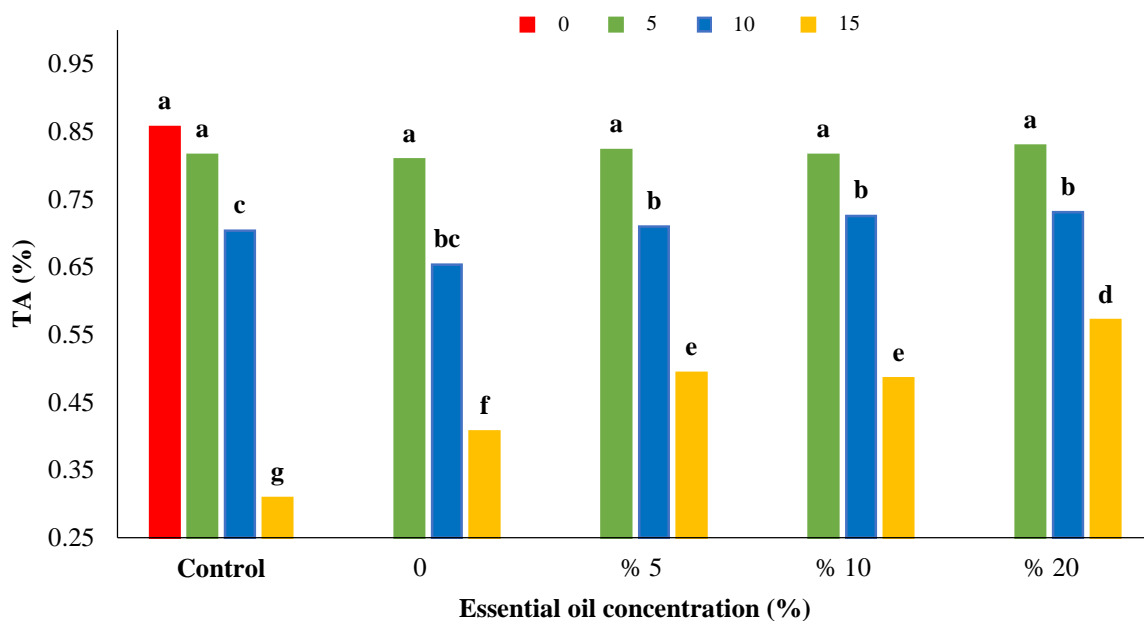


شکل (۴) اثر غلظت اسانس و زمان نگهداری بر pH
 Fig 4. Effect of essential oil concentration and storage time on pH

۵.۴. اسیددینه قابل تیتراسیون

آنتوسیانین و در نتیجه رنگ میوه تأثیر بگذارد [۲۴]. تصور می‌شود مصرف اسیدهای آلی و پیری میوه یکی از عوامل اثرگذار در کاهش اسیددینه در طول نگهداری باشد [۴۴]. مطابق با پژوهش‌های صورت گرفته توسط سایر محققین در رابطه با اثر بسته‌بندی با فیلم‌های بیوپلیمری [۴۵] مواد بسته‌بندی می‌تواند پیری و در نتیجه میزان استفاده از اسیدهای آلی را به تأخیر بیندازد. از طرف دیگر کاهش میزان استفاده از اسیدهای آلی با حضور و افزایش غلظت اسانس در فیلم بسته‌بندی به خاصیت ضد میکروبی اسانس‌ها و در نتیجه کاهش سرعت زوال میوه به علت جلوگیری از گسترش آلودگی‌ها قارچی نسبت داد [۲۹]. نتایج مطالعه سایر محققان نیز حاکی از حفظ بهتر pH با افزایش غلظت اسانس پونه در پوشش توت‌فرنگی با کربکسی‌متیل سلولز است [۴۶].

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) اثر غلظت اسانس، زمان نگهداری و اثرات متقابل این صفات بر اسیددینه قابل تیتراسیون محصول در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۵) با گذشت زمان تا روز پنجم مقدار اسیددینه قابل تیتراسیون در کلیه تیمارها تغییرات معنی‌داری نداشت، در روز دهم در کلیه تیمارها مقدار اسیددینه کاهش یافت اما تنها نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر اسیددینه با بقیه تیمارها داشت. این روند کاهشی در روز ۱۵ ام نیز تداوم داشت اما میزان کاهش در بین تیمارها کاملاً متفاوت و معنی‌دار بود. بیشترین کاهش مربوط به نمونه شاهد و سپس نمونه بسته‌بندی شده با فیلم بدون اسانس بود. این اسیدها در توت‌فرنگی تا حد زیادی توسط سیتریک اسید بیان می‌شوند که در تنظیم pH سلول نقش دارند همچنین ممکن است بر پایداری



شکل (۵) اثر غلظت اسانس و زمان نگهداری بر اسیددینه قابل تیتراسیون
Fig 5. Effect of essential oil concentration and storage time on titratable acidity

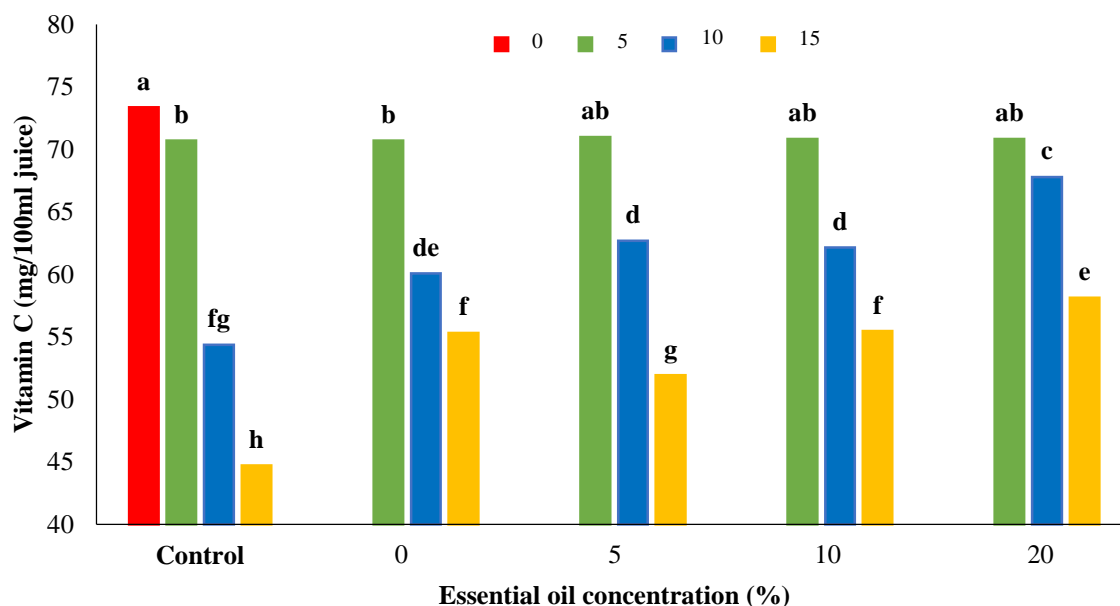
مقایسه میانگین داده‌ها که در شکل (۶) نشان داده شده است، در ابتدا (روز پنجم) میزان ویتامین ث به غیر از نمونه‌های شاهد در باقی تیمارها تغییرات معنی‌داری نداشت، اما با گذشت زمان نگهداری به ۱۰ روز میزان ویتامین ث در کلیه

۶.۴. ویتامین ث

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۱) اثر غلظت اسانس، زمان نگهداری و اثرات متقابل این صفات بر ویتامین ث محصول در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بر اساس نتایج

کند شدن روند کاهش ویتامین ث توت‌فرنگی می‌شود. با توجه به نتایج مطالعات قبلی کاهش انتقال گاز اکسیژن موجب کاهش اکسیداسیون ویتامین ث در محصول می‌شود بنابراین در مطالعه حاضر نیز اثر بسته‌بندی و افزودن اسانس در کاهش اکسیداسیون ویتامین ث را به کاهش تراوایی فیلم در اثر این عوامل نسبت داد [۴۶،۲۴].

تیمارها کاهش داشت. در این دوره بیشترین میزان کاهش مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن مربوط به نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم حاوی ۲۰٪ آویشن شیرازی بود و بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در روز ۱۵ ام نگهداری این روند کاهشی به تداوم داشت. همچنین بسته‌بندی با فیلم زئین و افزایش غلظت اسانس در فیلم موجب

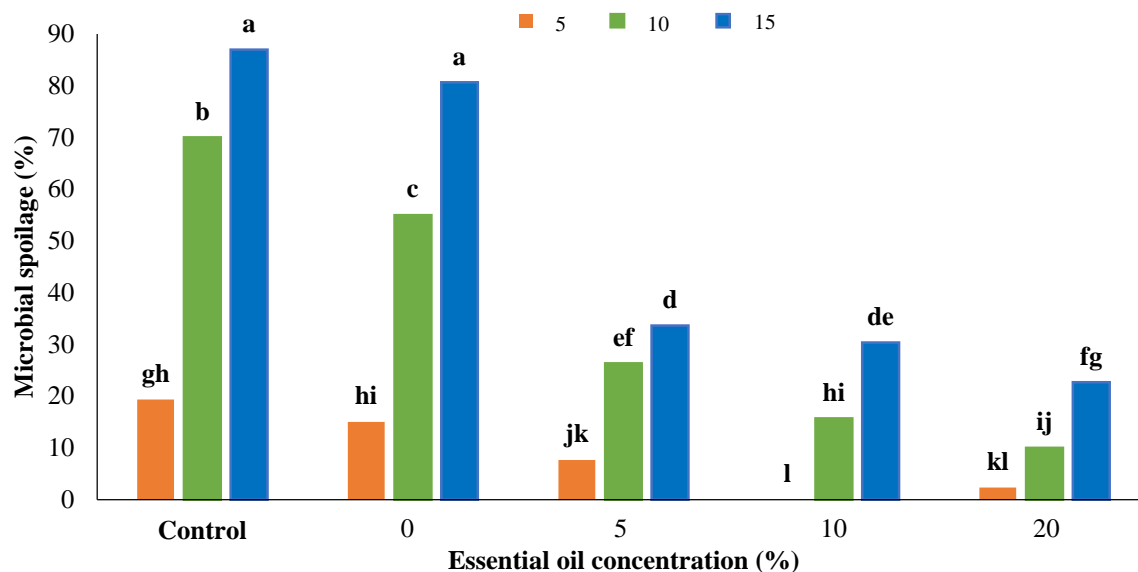


شکل (۶) اثر غلظت اسانس و زمان نگهداری بر میزان ویتامین ث
Fig 6. Effect of essential oil concentration and storage time on Vitamin C

میکروبی کاهش یافت. تاکنون مطالعات متعددی در زمینه استفاده از اسانس‌های گیاهی در کنترل قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی صورت گرفته است و خاصیت قارچ‌کشی اسانس گیاهانی نظیر آویشن شیرازی [۱۶-۱۹]، دارچین [۱۶-۱۹]، مرزه [۴۷]، نعنا [۴۸]، زنجبیل [۴۹]، اسطوخودوس [۵۰] و بسیاری دیگر از گیاهان در هر دو حالت درون‌تنی و برون‌تنی به اثبات رسیده است. لذا این کاهش در فساد قارچی در نمونه‌ها را می‌توان به حضور اسانس‌های گیاهی در فیلم بسته‌بندی نسبت داد.

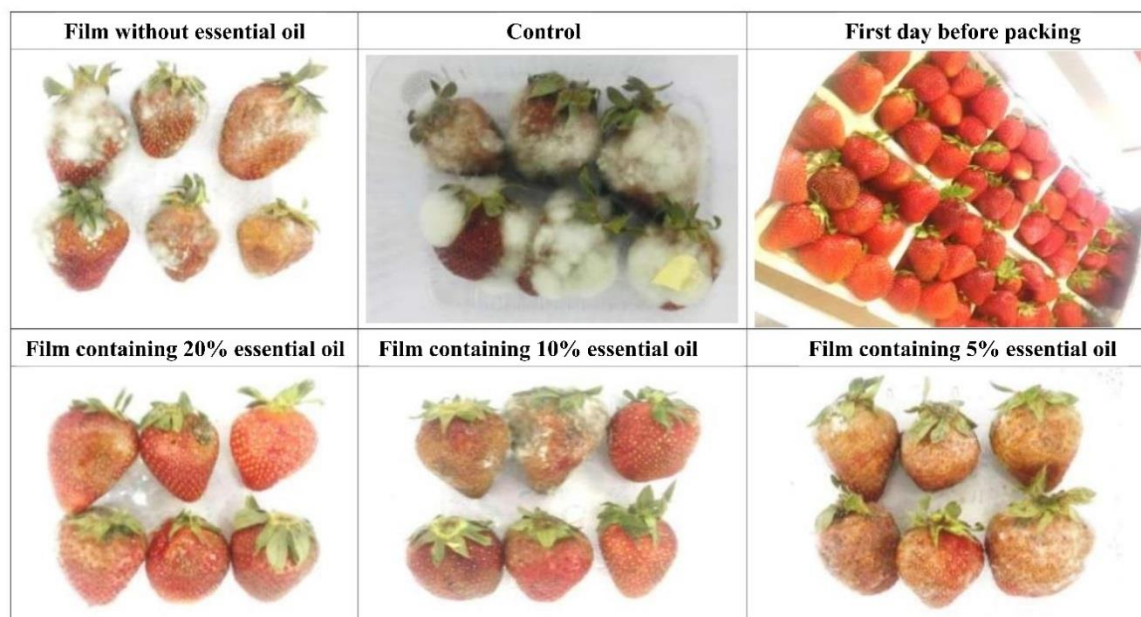
۷.۴. فساد میکروبی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) اثر نوع و غلظت اسانس و زمان نگهداری بر فساد میکروبی محصول در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها که در شکل (۷) نشان داده شده است، مطابق شکل (۸) با افزایش زمان نگهداری میزان نمونه‌های آلوده افزایش یافت. با این حال نرخ افزایش در نمونه‌های بسته‌بندی شده حاوی اسانس بسیار کمتر از تیمارهای شاهد و بسته‌بندی شده بدون اسانس بود. همچنین با افزایش غلظت میزان فساد



شکل (۷) اثر غلظت اسانس و زمان نگهداری بر فساد میکروبی میوه

Fig 7. Effect of essential oil concentration and storage time on fruit Microbial spoilage



شکل (۸) تغییرات نمونه‌ها پس از ۱۵ روز نگهداری

Fig 8. Changes in samples after 15 days of storage

۵. نتیجه‌گیری

توت‌فرنگی پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در طول دوره نگهداری در تیمارها، کیفیت نمونه‌ها کاهش یافت اما روند کاهش در نمونه‌های بسته‌بندی شده بسیار کم‌تر از نمونه‌های بسته‌بندی نشده بود. همچنین افزودن اسانس به

در این تحقیق به بررسی زمان نگهداری و اثر غلظت‌های مختلف اسانس آویشن شیرازی در بسته‌بندی فعال زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه زئین بر عمر پس از برداشت

فيلم پليمري موجب حفظ بهتر خواص كيفي توت‌فرنگي شد و با افزايش غلظت اسانس کاهش كيفيت نمونه‌هاي توت‌فرنگي روند كندترى يافت. لذا به نظر مي‌رسد كه مي‌توان با استفاده از فيلم زيست‌تخریب‌پذير زئين حاوي اسانس آويشن شيرازي به عنوان يك بسته‌بندی فعال ضايعات پس از برداشت توت‌فرنگي را حد بسيار زيادي کاهش داد.

منابع

- [1] Malakouti, M.J., & Tabatabai, S.J. (1999). *Proper nutrition of fruit trees for improving the yield and quality of horticultural crops in Iran*. Tehran, I.R. Iran: Publication of agricultural education. [In Persian]
- [2] Karami, F., & Rostami, A. (2005). Investigation of waste reduction methods in Strawberry. In: *2th Natl. conf. Agric. waste*. Tehran, Iran [In Persian].
- [3] Behnamian, M., & Masiha, M. (2002). Strawberry. Tabriz, I.R. Iran: Sotoudeh Publication. [In Persian]
- [4] Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2005). Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT-Food Sci. Technol.*, 38(6), 617-624.
- [5] Cordenunsi, B.R., Nascimento, J.D., & Lajolo, F.M. (2003). Physico-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. *Food Chem.*, 83(2), 167-173.
- [6] Larsen, M., & Watkins, C.B. (1995). Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.*, 5(1-2), 39-50.
- [7] Pelayo, C., Ebeler, S.E., & Kader, A.A. (2003). Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5°C in air or air+ 20 kPa CO₂. *Postharvest Biol. Technol.*, 27(2), 171-183.
- [8] Shah, A.A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnol. Adv.*, 26(3), 246-265.
- [9] De Almeida, C.B., Catelam, K.T., Cornélio, M.L., & Lopes Filho, J.F. (2010). Morphological & structural characteristics of zein biofilms with added xanthan gum. *Food Technol. Biotechnol.*, 19-27.
- [10] Hager, A.S., Vallons, K.J., & Arendt, E.K. (2012). Influence of gallic acid and tannic acid on the mechanical and barrier properties of wheat gluten films. *J. Agric. Food Chem.*, 60(24), 6157-6163.
- [11] Makishi, G.L.A., Lacerda, R.S., Bittante, A.M.Q.B., Chambi, H.N.M., Costa, P.A., Gomide, C.A., ... & Sobral, P.J.A. (2013). Films based on castor bean (*Ricinus communis* L.) proteins crosslinked with glutaraldehyde and glyoxal. *Ind Crops. Prod.*, 50, 375-382.
- [12] Tripathi, P., Dubey, N.K., & Shukla, A.K. (2008). Use of some essential oils as post-harvest botanical fungicides in the management of grey mould of grapes caused by *Botrytis cinerea*. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 24(1), 39-46.
- [13] Fadaei, S., Abroumand, A., Sharifan A., & Larijani, K. (2011). Evaluation of antimicrobial activity of *Mentha piperita* L. essential oil and its comparison with sodium benzoate. *Food Sci. Nutr.*, 8, 34-41.
- [14] Misaghi, A., & Basti, A.A. (2007). Effects of *Zataria multiflora* Boiss. essential oil and nisin on *Bacillus cereus* ATCC 11778. *Food Control.*, 18(9), 1043-1049.
- [15] Jukic, M., Politeo, O., Maksimovic, M., Milos, M., & Milos, M. (2007). In vitro acetylcholinesterase inhibitory properties of thymol, carvacrol and their derivatives thymoquinone and thymohydroquinone. *Phytother Res.*, 21(3), 259-261.
- [16] Tahmasebi, M., Golmohammadi, A., Nematollahzadeh, A., Davari, M., & Chamani, E. (2020). Modeling and Optimization of Antifungal effects of Some Essential oils against soft rot (*Rhizopus stolonifer*) through response surface methodology. *Boil. Control plant pests dis.*, 8(2), 39-49.
- [17] Razavi, M., Golmohammadi, A., Nematollahzadeh, Ghanbari, A., & Davari, M. (2020). Optimizing the antifungal effects of *Cinnamomum zeylanicum*, *Zataria multiflora*, and *Satureja khuzestanica* essential oils against the blue mold fungus (*Penicillium expansum*) using Response Surface Methodology. *Iran J Plant Prot Sci.*, 51 (1), 67-78.
- [18] Mohammadi, A., Hashemi, M., & Hosseini, S. M. (2015). The control of Botrytis fruit rot in strawberry using combined treatments of Chitosan with *Zataria multiflora* or *Cinnamomum zeylanicum* essential oil. *J. Food Sci. Technol.*, 52(11), 7441-7448.
- [19] Tahmasebi, M., Golmohammadi, A., Nematollahzadeh, A., Davari, M., & Chamani, E. (2020). Control of Nectarine Fruits Postharvest Fungal Rots Caused by *Botrytis Cinerea* and *Rhizopus Stolonifer* via Some Essential Oils. *J. Food Sci. Technol.*, 57(5), 1647-1655.

- [20] Feyzollahi, Y., Golmohammadi, A., Nematollahzadeh, A., & Tahmasebi, M. (2021). The effect of *Zataria multiflora* essential oil as a crosslinking agent on biodegradable zein film properties. *J. Environ. Sci. Stud.*, 6(2), 3730-3739.
- [21] Duran, M., Aday, M.S., Zorba, N.N.D., Temizkan, R., Büyükcın, M.B., & Caner, C. (2016). Potential of antimicrobial active packaging containing natamycin, nisin, pomegranate and grape seed extract in chitosan coating to extend shelf life of fresh strawberry. *Food Bioprod. Process.*, 98, 354-363.
- [22] Liu, Y., Wang, S., Lan, W., & Qin, W. (2017). Fabrication and testing of PVA/Chitosan bilayer films for strawberry packaging. *Coatings.*, 7(8), 109.
- [23] Liu, Y., Wang, S., Lan, W., & Qin, W. (2019). Fabrication of polylactic acid/carbon nanotubes/chitosan composite fibers by electrospinning for strawberry preservation. *Int. J. Biol. Macromol.*, 121, 1329-1336.
- [24] Ding, J., Zhang, R., Ahmed, S., Liu, Y., & Qin, W. 2019. Effect of Sonication Duration in the Performance of Polyvinyl Alcohol/Chitosan Bilayer Films and Their Effect on Strawberry Preservation. *Molecules.*, 24(7), 1408-1414.
- [25] Al-Asmar, A., Giosafatto, C.V.L., Sabbah, M., Sanchez, A., Villalonga Santana, R., & Mariniello, L. (2020). Effect of mesoporous silica nanoparticles on the physicochemical properties of pectin packaging material for strawberry wrapping. *Nanomaterials.*, 10(1), 52-59.
- [26] Campos-Requena, V.H., Rivas, B.L., Pérez, M.A., Figueroa, C.R., & Sanfuentes, E.A. (2015). The synergistic antimicrobial effect of carvacrol and thymol in clay/polymer nanocomposite films over strawberry gray mold. *LWT-Food Sci. Technol.*, 64(1), 390-396.
- [27] Meng, X., Li, B., Liu, J., & Tian, S. (2008). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chem.*, 106(2), 501-508.
- [28] Valero, C., Crisosto, C.H., & Slaughter, D. (2007). Relationship between nondestructive firmness measurements and commercially important ripening fruit stages for peaches, nectarines and plums. *Postharvest Biol. Technol.*, 44(3), 248-253.
- [29] Etemadipoor, R., Ramezani, A., Dastjerdi, A.M., & Shamili, M. (2019). The potential of gum arabic enriched with cinnamon essential oil for improving the qualitative characteristics and storability of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Sci. Hortic.*, 251, 101-107.
- [30] Saini, R.S. (2001). Laboratory manual of analytical techniques in horticulture. Jodhpur, India.
- [31] Igwemmar, N. C., Kolawole, S. A., & Imran, I. A. (2013). Effect of heating on vitamin C content of some selected vegetables. *Int J Sci Technol Res.*, 2(11), 209-212.
- [32] Shin, Y., Liu, R.H., Nock, J.F., Holliday, D., & Watkins, C. B. (2007). Temperature and relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concentrations, and antioxidant activity of strawberry. *Postharvest Biol. Technol.*, 45(3), 349-357.
- [33] Maqbool, M., Ali, A., Alderson, P.G., Mohamed, M.T.M., Siddiqui, Y., & Zahid, N. (2011). Postharvest application of gum arabic and essential oils for controlling anthracnose and quality of banana and papaya during cold storage. *Postharvest Biol. Technol.*, 62(1), 71-76.
- [34] Chi, H., Song, S., Luo, M., Zhang, C., Li, W., Li, L., & Qin, Y. (2019). Effect of PLA nanocomposite films containing bergamot essential oil, TiO₂ nanoparticles, and Ag nanoparticles on shelf life of mangoes. *Sci. Hortic.*, 249, 192-198.
- [35] de Figueiredo Sousa, H.A., de Oliveira Filho, J.G., Egea, M.B., da Silva, E.R., Macagnan, D., Pires, M., & Peixoto, J. (2019). Active film incorporated with clove essential oil on storage of banana varieties. *Nutr. Food Sci.*, 49(5), 262-270.
- [36] Perkins-veazie, P.M., Huber, D.J., & Brecht, J. K. (1996). In vitro growth and ripening of strawberry fruit in the presence of ACC, STS or propylene. *Ann. Appl. Biol.*, 128(1), 105-116.
- [37] Toivonen, P.M., & Brummell, D.A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.*, 48(1), 1-14.
- [38] Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Ocio, M.J., & Gavara, R. (2006). Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Postharvest Biol. Technol.*, 39(3), 247-253.
- [39] Sapper, M., Palou, L., Pérez-Gago, M.B., & Chiralt, A. (2019). Antifungal starch-gellan edible coatings with thyme essential oil for the postharvest preservation of apple and persimmon. *Coatings.*, 9(5), 333-347.
- [40] Cordenunsi, B.R., Nascimento, J.D., & Lajolo, F.M. 2003. Physico-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool-storage. *Food Chem.*, 83(2), 167-173.
- [41] Koehler, G., Wilson, R. C., Goodpaster, J. V., Sønsteby, A., Lai, X., Witzmann, F. A., ... & Alsheikh, M. (2012). Proteomic study of low-temperature responses in strawberry cultivars (*Fragaria x ananassa*) that differ in cold tolerance. *Plant Physiol.*, 159(4), 1787-1805.

- [42] Cai, C., Ma, R., Duan, M., Deng, Y., Liu, T., & Lu, D. (2020). Effect of starch film containing thyme essential oil microcapsules on physicochemical activity of mango. *LWT-Food Sci. Technol.*, 131, 1097-1100.
- [43] Roopa, N., Chauhan, O.P., Madhukar, N., Ravi, N., Kumar, S., Raju, P.S., & Dasgupta, D.K. (2015). Minimal processing and passive modified atmosphere packaging of bread fruit (*Artocarpus altilis*) sticks for shelf life extension at refrigerated temperature. *J. Food Sci. Technol.*, 52(11), 7479-7485.
- [44] Khalifa, I., Barakat, H., El-Mansy, H.A., & Soliman, S.A. (2016). Improving the shelf-life stability of apple and strawberry fruits applying chitosan-incorporated olive oil processing residues coating. *Food Packag. Shelf Life.*, 9, 10-19.
- [45] Shahbazi, Y. (2018). Application of carboxymethyl cellulose and chitosan coatings containing *Mentha spicata* essential oil in fresh strawberries. *Int. J. Biol. Macromol.*, 112, 264-272.
- [46] Wang, S.Y., & Gao, H. (2013). Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *LWT-Food Sci. Technol.*, 52(2), 71-79.
- [47] Farzaneh, M., Kiani, H., Sharifi, R., Reisi, M., & Hadian, J. (2015). Chemical composition and antifungal effects of three species of Satureja (*S. hortensis*, *S. spicigera*, and *S. khuzistanica*) essential oils on the main pathogens of strawberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 109, 145-151.
- [48] Liu, D., Hu, L., Liu, X., Kang, X., Hu, Y., Xie, H., ... & Xie, L. (2016). Antibacterial, antifungal and in vitro cytotoxic activities of three extracts isolated from mint. *J. Med. Plant Res.*, 10(32), 546-552.
- [49] Singh, G., Maurya, S., Catalan, C., & De Lampasona, M.P. (2005). Studies on essential oils, Part 42: chemical, antifungal, antioxidant and sprout suppressant studies on ginger essential oil and its oleoresin. *Flavour. Fragr. J.*, 20(1), 1-6.
- [50] Cassella, S., Cassella, J.P., & Smith, I. (2002). Synergistic antifungal activity of tea tree (*Melaleuca alternifolia*) and lavender (*Lavandula angustifolia*) essential oils against dermatophyte infection. *Int. J. Aromather.*, 12(1), 2-15.



Research Article

Evaluation the effect of biodegradable active packaging based on Zein containing shelf life of strawberry *Zataria multiflora* essential oil on postharvest

Yegane Feyzollahi¹, Abdollah Golmohammadi^{2*}, Ali Nematollahzadeh³, Mohammad Tahmasebi⁴

- 1. MSc Graduate, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran**
- 2. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran**
- 3. Associate Professor, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran**
- 4. PhD candidate, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran**

Abstract

Every year, a large part of the Produced strawberries is losses due to postharvest corruption. On the other hand, the demand for Biodegradable packaging materials has increased sharply due to environmental concerns about the use of petroleum polymers. Therefore, biopolymer-based packaging materials have a high potential for replacement with petroleum plastics. Research has also shown that plant essential oils can control postharvest diseases of agricultural products. However, their use is associated with difficulties due to physical and chemical instabilities odors and taste in the product. One of the best way to solve this problems is to include essential oils in the packaging film. Therefore, the present study aimed to investigate the effect of biodegradable film based on Zein containing *Zataria multiflora* essential oil (with concentrations of 0, 5, 10 and 20% w/w) as an active packaging to increase the Postharvest shelf life of strawberry fruit. The effect of films on maintaining the quality properties of strawberries during 15 days of storage at 4°C was evaluated and the amount of changes in weight, firmness, soluble solids, pH, treatable acidity, vitamin C and microbial contamination of strawberry samples during this period were evaluated. The results showed that during the storage, the quality of the samples decreased but the decreasing trend in packaged samples was much less than unpackaged samples. Also, the addition of essential oil to the polymer film improved the quality properties of strawberries, and with increasing the concentration of essential oil, the quality of strawberry samples decreased. Therefore, it seems that it is possible to greatly reduce the waste after harvest of strawberries by using the biodegradable film of saddle containing *Zataria multiflora* essential oil as an active packaging.

Keywords: Essential oil, Active packaging, Strawberry, Zein, Biodegradable, Postharvest shelf life.

* Corresponding Author: golmohammadi@uma.ac.ir