



## ارزیابی تغییرات فیزیکوشیمیایی توت‌فرنگی در اتمسفر اصلاح شده با استفاده از فیلم بسته‌بندی

### نانوکامپوزیت

رضا طباطبایی کلور<sup>۱\*</sup>، حسن یوسف نیا پاشا<sup>۲</sup>

۱- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۲- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

### اطلاعات مقاله

### چکیده

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱

ماهیت فسادپذیری میوه توت‌فرنگی (*Fragaria×ananassa Duch.*) یک فاکتور کلیدی است که مصرف آن به دلیل کاهش تازگی و ماندگاری پس از برداشت محدود است. شرایط بسته‌بندی مناسب، دمای ذخیره‌سازی پایین و ترکیب اتمسفر مطلوب درون بسته در حفظ ویژگی‌های کیفی و افزایش ماندگاری میوه‌های فسادپذیر ضروری هستند. در این مطالعه، فیلم‌های بسته‌بندی بر پایه پلی‌لاکتیک اسید (شامل neat PLA و PLA/TA10 و PLA/C20A1/TA10) تحت دو ترکیب گازی مختلف (شامل 10 KPa O<sub>2</sub>+15 KPa CO<sub>2</sub>+75 KPa N<sub>2</sub> و (MAP-A) CO<sub>2</sub>+75 KPa N<sub>2</sub> و (MAP-B)) و یک نمونه شاهد بدون تزریق گاز روی میوه توت‌فرنگی تازه ارزیابی شدند. تأثیر تیمارهای اشاره شده بر برخی خواص فیزیکوشیمیایی میوه توت‌فرنگی تازه نظیر کاهش وزن، مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، pH و سفتی در دمای ۴ °C برای ۲۳ روز ذخیره‌سازی براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان دادند که کاهش وزن و سفتی میوه توت‌فرنگی با گذشت زمان کاهش می‌یابد در حالی که مقدار pH افزایش یافت. مقدار مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون همه تیمارها طی زمان ذخیره‌سازی افزایش یافت و در پایان زمان ذخیره‌سازی کاهش یافت. همچنین گزارش شد که میوه‌های بسته‌بندی شده در PLA/C20A1/TA10 به دلیل نفوذپذیری بخار آب و نرخ انتقال اکسیژن کمتر نسبت به دو فیلم neat PLA/TA10 و neat PLA باعث خصوصیات کیفی بهتر شد. همچنین ترکیب گازی MAP-A نسبت به MAP-B به دلیل دی‌اکسید کربن بیشتر درون بسته‌ها و میزان تنفس کمتر برای میوه توت‌فرنگی مناسب‌تر بود. بنابراین استفاده از فیلم نانوکامپوزیت با اتمسفر اصلاح شده برای نگهداری میوه توت‌فرنگی در دمای پایین پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی:

توت‌فرنگی،

بسته‌بندی اتمسفری اصلاح شده،

فیلم نانوکامپوزیت،

ذخیره‌سازی سرد،

پارامترهای کیفی.

DOI: 10.22034/FSCT.19.132.341  
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.132.25.8

\* مسئول مکاتبات:

r.tabatabaei@sanru.ac.ir

## ۱- مقدمه

رشد پیش‌بینی شده جمعیت جهان به طور معنی‌داری فشار بر منابع طبیعی را برای پاسخگویی به نیازهای غذایی افزایش می‌دهد. دستیابی به امنیت غذایی با توجه به محدودیت منابع و تغییرات آب و هوایی بدون به خطر انداختن اکوسیستم و تنوع زیستی یک استراتژی مهم جهانی می‌باشد [۱]. بنابراین حفظ ارزش تغذیه‌ای و ویژگی‌های کیفی محصولات تازه یک چالش مهم است [۲]. یکی از فاکتورهای کلیدی برای افزایش مصرف میوه توت‌فرنگی وجود ترکیبات سالم و فراوان در این میوه است. همچنین مقادیر مهم فیبر و مواد مغذی دیگر از قبیل ویتامین‌ها، کلسیم، فسفر، آهن و فلاونوئیدها به همراه خواص جاذب رادیکال‌های آزاد و آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های توت‌فرنگی شناسایی شده است. مطالعات مختلف نشان داد که این ترکیبات نقش مهمی در سلامتی انسان‌ها دارد. با این وجود، فراوانی این ترکیبات پس از برداشت به دلیل تخریب ویژگی‌های کیفی کاهش می‌یابد. یکی از عوامل مهم کاهش مصرف میوه توت‌فرنگی ماهیت فسادپذیری آن است که موجب کاهش زمان ماندگاری آن طی ذخیره‌سازی می‌شود. همچنین، عوامل اصلی کاهش کیفیت میوه توت‌فرنگی از قبیل دهیدراسیون سطحی، تغییر رنگ، پیری زودرس، قهوه‌ای شدن، فعالیت متابولیکی نسبتاً بالا، وجود قارچ‌های میکروبی و پوسیدگی می‌باشند. بنابراین ارائه روش‌های مناسب برای حفظ خواص کیفی و ارزش تغذیه‌ای میوه توت‌فرنگی پس از برداشت بسیار مهم است [۳]. به طور کلی برای کاهش فسادپذیری بالای میوه‌ها و سبزی‌های تازه، بایستی از سطوح سردخانه‌ای برای توزیع آنها در طول زنجیره پس از برداشت استفاده گردد. علاوه بر یخچال، معمولاً از بسته‌بندی‌های پلاستیکی نیز برای حفظ محصولات تازه از عوامل بیرونی استفاده می‌شوند که به دلیل عدم تجدیدپذیری سبب مشکلات زیست محیطی می‌شوند. امروزه، بیوپلیمرها به عنوان مواد بسته‌بندی به دلیل تجدیدپذیری و تجزیه‌پذیری توجهات زیادی را جلب کرده است. اگرچه دو تکنولوژی بسته‌بندی و دمای پایین کیفیت محصول تازه را تا حدودی حفظ می‌کند اما مقدار ضایعات کلی میوه‌ها و سبزی‌ها هنوز بسیار زیاد است که مطابق گزارش محققان حتی به ۴۰ الی ۶۶ درصد می‌رسد [۴]. در دهه‌های اخیر، محققان تلاش‌های

زیادی برای تولید و توسعه راه‌حل‌های مناسب برای کاهش تلفات میوه‌ها و سبزی‌های تازه انجام داده‌اند. بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده یک روش امیدبخش برای حفظ کیفیت، افزایش ماندگاری و کاهش ضایعات محصولات تازه است [۵]. این تکنولوژی بر پایه اصلاح ترکیب گازی درون بسته حاوی میوه می‌باشد که فعالیت‌های فیزیکی و بیوشیمی محصول را کاهش می‌دهد، میزان تنفس محصول را محدود می‌کند، پیری و تخریب محصول را به تأخیر می‌اندازد و در نهایت موجب بهبود کیفیت ذخیره‌سازی، حفظ تازگی و افزایش ماندگاری محصولات تازه بسته‌بندی شده می‌شود [۶]. مطالعات نشان داد که ترکیبات اتمسفر تعادلی درون بسته به نوع محصول، دمای ذخیره‌سازی، میزان تنفس محصول و خصوصیات نفوذپذیری فیلم وابسته هستند و انتخاب ترکیب گازی نامناسب منجر به کاهش ماندگاری محصول می‌گردد [۷]. انتقال جرم ترکیبات با وزن مولکولی پایین شامل بخار آب و گازها از طریق دیواره مواد بسته‌بندی نقش مهمی در کنترل واکنش‌های تخریب مواد غذایی بازی می‌کند. همچنین بهینه‌سازی شرایط گازی درون بسته واکنش‌های اکسیداسیونی را محدود می‌کند و رشد میکروارگانیسم‌های هوازی را کاهش می‌دهد که عوامل اصلی فسادپذیری مواد غذایی در طول ذخیره‌سازی هستند. بنابراین انتخاب مواد بسته‌بندی با خواص ممانعت‌کنندگی مناسب برای حفظ شاخص‌های کیفی و افزایش ماندگاری محصولات تازه بسته‌بندی شده بسیار ضروری است [۸؛ ۹]. علاوه بر این، کنترل دما یکی از عوامل بسیار مهم برای سیستم اتمسفر اصلاح شده محسوب می‌شود. دما به شدت بر رشد پاتوژن‌ها، میزان تنفس محصول و نفوذپذیری گازها از طریق فیلم‌های بسته‌بندی تأثیر می‌گذارد و اتمسفر درون بسته را تغییر می‌دهد. بنابراین نگهداری دمای اطراف بسته در محدوده ۴ درجه سلسیوس یا پایین‌تر از آن برای ایمنی میکروبی ضروری است [۱۰]. محققان دریافتند که تیمارهای ترکیب اتمسفر اصلاح شده حاوی ۵-۱۰ درصد اکسیژن و ۲۰-۱۵ درصد دی‌اکسیدکربن در دمای ۵-۰ درجه سلسیوس روی حفظ میوه توت‌فرنگی مؤثر است [۱۱]. کیفیت میوه توت‌فرنگی از طریق نگاه‌داری در اتمسفر اصلاح شده حاوی ۱۱-۱۴ درصد اکسیژن و ۹-۱۲ درصد دی‌اکسید کربن می‌تواند حفظ شود [۱۲]. نتایج نشان دادند که غلظت‌های اکسیژن و دی‌اکسید کربن به ترتیب حدود ۱۰ درصد و ۲۰-۱۰ درصد برای

پلیمر و پتروشیمی ایران تولید شدند. آمیزه‌سازی مواد پلیمری با استفاده از اکسترودر دو ماریچ (Coperison, Germany) با نسبت طول به قطر ماریچ ۴۵، قطر ماریچ ۲۴ میلی‌متر و سرعت ماریچ ۲۵۰ دور بر دقیقه انجام شد. فشار و درجه حرارت مذاب در مناطق مختلف اکسترودر از ناحیه تغذیه تا ناحیه خروجی به ترتیب برابر ۷۰ بار و ۱۸۰ درجه سلسیوس بود. مواد تشکیل دهنده فیلم در ترکیبات مختلف مطابق جدول ۱ آمده است. از اکسترودر تک ماریچ و غلتک اکستروژن برای تولید فیلم نهایی استفاده شد. در این مرحله، آمیزه‌های پلیمری با قرارگیری در ناحیه تغذیه وارد محفظه ماریچ شده و مذاب شدند. مواد مذاب به سمت کانال اسپیرال جریان پیدا کرده و فیلم نازک تشکیل شد [۱۵]. پارامترهای اندازه‌گیری از قبیل خواص مکانیکی، میزان رطوبت، نفوذپذیری بخار آب و نرخ انتقال عبور اکسیژن برای ارزیابی فیلم‌ها تعیین شدند. استحکام کششی و انعطاف‌پذیری در نقطه شکست با استفاده از یک آنالیزور بافت TA-XT2 (Stable Micro Systems, UK) مجهز به لودسل ۲۵ کیلوگرم مطابق روش استاندارد به دست آمد. فاصله اولیه گریپ‌ها ۳۰ میلی‌متر و سرعت عرضی ۵ میلی‌متر بر دقیقه بود [۷]. میزان رطوبت (برحسب درصد) با تقسیم اختلاف وزن به وزن اولیه هر فیلم ضربدر ۱۰۰ تعیین شد [۱۶]. میزان انتقال بخار آب (WVTR) با روش ASTM E96-95 و میزان انتقال اکسیژن (OTR) با روش ASTM D3985 با استفاده از OX-TRAN (Mocon, Model 2/40, USA) تعیین شدند. سه نمونه از هر فیلم بسته‌بندی با سطح مقطع  $5 \text{ cm}^2$  در دمای  $25^\circ \text{C}$  و رطوبت نسبی ۵۰ درصد تست شده و مقایسه میانگین ثبت شد [۶].

**Table 1** The formulation of all compounds in this work.

Code	Composition	PLA	TA	C20A
P1	Neat PLA	100	-	-
P2	PLA/TA10	90	10	-
P3	PLA/C20A1/TA10	89	10	1

## ۲-۳- آماده‌سازی نمونه و بسته‌بندی میوه توت‌فرنگی

میوه‌های توت‌فرنگی (Fragaria×ananassa Duch.) رقم

حفظ کیفیت میوه تمشک تازه مطلوب هستند [۱۳]. با این وجود، ترکیب گازی پیشنهاد شده برای نگهداری میوه توت‌فرنگی طبق گزارشات مختلف متغیر بود. این می‌تواند به نوع رقم، شرایط رشد، درجه رسیدگی، دمای ذخیره‌سازی و انتخاب پارامتر کیفی مرتبط باشد که نقش مهمی در تعیین اتمسفر ذخیره‌سازی مناسب‌تر بازی می‌کند [۱۴]. اگرچه اثرات مطلوب تکنولوژی اتمسفر اصلاح شده در یک محدوده گسترده برای محصولات تازه استفاده شده است، مطالعات کمی برای بسته‌بندی میوه توت‌فرنگی تحت شرایط اتمسفر اصلاح شده، دمای نگهداری پایین و کاربرد فیلم‌های بسته‌بندی بیونانو کامپوزیت انجام شده است. بنابراین، این روش تلفیقی می‌تواند به عنوان یک تکنیک ذخیره‌سازی مناسب برای میوه‌ها و سبزی‌های تازه مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق موارد زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد: (۱) بررسی تأثیر غلظت گازها و مواد بسته‌بندی مختلف روی خواص فیزیکوشیمیایی میوه توت‌فرنگی و (۲) ارائه یک روش مؤثر و بهینه جهت افزایش دوره ذخیره‌سازی میوه توت‌فرنگی.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد مورد نیاز

پلی‌لاکتیک‌اسید (PLA<sup>1</sup>) با گرید 2003D، وزن مخصوص  $1.14 \text{ g cm}^{-3}$ ، شاخص جریان مذاب  $6 \text{ g/10min}$  (دمای  $210^\circ \text{C}$ )،  $210 \text{ Kg}$  (۲/۱۶) و دمای مذاب  $210^\circ \text{C}$  از شرکت NatureWorks LLC (Minnetonka USA) تهیه شد. همچنین پلاستی‌سایزر تری‌استین (TA<sup>2</sup>) به فرم مایع با فرمول شیمیایی  $\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}_6$ ، وزن مولکولی  $182 \text{ g mol}^{-1}$  و وزن مخصوص  $1.16 \text{ g cm}^{-3}$  از شرکت Sigma Aldrich استفاده شد. نانوذره رس مونتموریلونیت اصلاح شده از نوع Cloisite 20A (C20A) نیز بعنوان عامل تقویت کننده با وزن مخصوص  $1.77 \text{ g cm}^{-3}$  از شرکت (China) Shanghai port تهیه شد.

### ۲-۲- آماده‌سازی و ویژگی‌های فیلم

فیلم‌های بسته‌بندی شامل neat PLA، PLA/TA10 و PLA/C20A1/TA10 به روش دمشی مذاب در پژوهشگاه

1. Polylactic acid  
2. Triacetin

## ۲-۴- ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی

### ۲-۴-۱- کاهش وزن (WL<sup>۲</sup>)

درصد کاهش وزن بسته‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت  $\pm 0.01$  گرم (Gbertini Europe, Italy) تعیین شدند. سه تکرار برای هر دوره زمانی (۰، ۳، ۷، ۱۱، ۱۷، ۱۹ و ۲۳ روز) نمونه‌گیری انجام شده و مقادیر متوسط ثبت گردیدند [۶].

### ۲-۴-۲- مواد جامد محلول (TSS<sup>۳</sup>)

مواد جامد محلول پارامتر مهمی برای تعیین کیفیت میوه می‌باشد. مقدار مواد جامد محلول با استفاده از یک رفراکتومتر دیجیتالی بر حسب درصد (Atago, Tokyo, Japan) تعیین شد [۱۷]. در این آزمون، دستگاه با آب مقطر کالیبره شد. سه تکرار برای هر بسته انجام شده و مقادیر متوسط ثبت گردید. مقدار TSS بعنوان شاخص بریکس (Brix) در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  بیان می‌شود.

### ۲-۴-۳- اسیدیته قابل تیتراسیون (TA<sup>۴</sup>)

اسیدیته قابل تیتراسیون به روش تیتراژ کردن ۲ میلی‌لیتر آب میوه توت‌فرنگی در ۳۸ میلی‌لیتر آب مقطر با هیدروکسید سدیم (NaOH) ۰.۱ مول بر لیتر برای رسیدن به pH برابر ۸/۱ تعیین شد و بر حسب درصد اکسی والان اسید سیتریک گزارش شد [۱۷].

### ۲-۴-۴- pH

میوه‌های توت‌فرنگی با پارچه نظیف فشرده شدند و آب به دست آمده برای pH، TSS و TA آنالیز شد. مقدار pH میوه‌های توت‌فرنگی با استفاده از یک pH متر (Crison, Barcelona, Spain) در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  تعیین شد [۱۸].

### ۲-۴-۵- سفتی (F<sup>۵</sup>)

سفتی بافت میوه‌های توت‌فرنگی با استفاده از دستگاه آنالیزور بافت TA-XT2 (Stabk Micro Systems, Surrey, UK) مجهز به لودسل ۲۵ کیلوگرم تعیین شد. سرعت نفوذ ۱ میلی‌متر بر ثانیه، قطر پروب استوانه‌ای ۸ میلی‌متر و عمق نفوذ ۳ میلی‌متر بود. سه تکرار برای هر بسته طی دوره ذخیره‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت و مقدار متوسط برحسب نیوتن ثبت شد [۱۴].

کاماروسا<sup>۱</sup> به صورت دستی از یک مزرعه محلی در شهر بهنمیر استان مازندران برداشت شدند. میوه‌های همگن به لحاظ رنگ، اندازه و عدم نواقص فیزیکی انتخاب شدند و بلافاصله به آزمایشگاه تحقیقاتی پس از برداشت در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری منتقل شدند. سه میوه توت‌فرنگی درون هر یک از فیلم‌های بسته‌بندی (100 mm×100mm) قرار گرفته و وزن شدند. سپس ترکیب‌های گاز با استفاده از ماشین بسته‌بندی تزریق گاز (MAP 500D, Jugang Machine Co, China) درون بسته‌ها مطابق جدول (۲) تزریق شدند. سه فیلم بر پایه PLA شامل neat PLA (با ضخامت 65.33 میکرومتر)، PLA/TA10 (با ضخامت 62.67 میکرومتر) و PLA/C20A1/TA10 (با ضخامت 63.67 میکرومتر) و دو ترکیب گازی MAP-A با مشخصات  $10\text{ KPa O}_2+15\text{ KPa CO}_2+75\text{ KPa N}_2$  و MAP-B با مشخصات  $15\text{ KPa O}_2+10\text{ KPa CO}_2+75\text{ KPa N}_2$  و یک ترکیب بدون تزریق گاز استفاده شدند (جدول ۲).

در همه آزمایش‌ها، بسته بدون تزریق گاز به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. همه فیلم‌های استفاده شده در این مطالعه به روش دمشی مذاب ساخته شدند. بسته‌ها کاملاً پرس شده و سپس تحت شرایط یکسان در دمای ۴ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۹۰ درصد ذخیره شدند. نمونه‌ها به طور مرتب بعد از ۰، ۳، ۷، ۱۱، ۱۵، ۱۹ و ۲۳ روز از ذخیره‌سازی آنالیز شدند. زمان ذخیره‌سازی به دلیل فسادپذیری میوه توت‌فرنگی به ۲۳ روز محدود شد. مدیریت پروسه قبل از برداشت میوه توت‌فرنگی روی ماندگاری آن مؤثر هستند که در این آزمایش مد نظر قرار نگرفت.

**Table 2** Packages of strawberry fruit in this study.

Code	Composition	Conditions inside packages
P1A1	Neat PLA	10 KPa O <sub>2</sub> +15 KPa CO <sub>2</sub> +75 KPa N <sub>2</sub>
P2A1	PLA/TA10	(MAP-A)
P3A1	PLA/C20A1/TA10	
P1A2	Neat PLA	15 KPa O <sub>2</sub> +10 KPa CO <sub>2</sub> +75 KPa N <sub>2</sub>
P2A2	PLA/TA10	(MAP-B)
P3A2	PLA/C20A1/TA10	
P1A3	Neat PLA	Air inside initially
P2A3	PLA/TA10	(Passive-Blank)
P3A3	PLA/C20A1/TA10	

1. Camarosa

2. Weight loss
3. Total soluble solid
4. Titratable acidity
5. Firmness

## ۲-۴-۶- تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز واریانس (ANOVA) برای تعیین اثرات نوع فیلم بسته‌بندی، اتمسفر اصلاح شده و دوره ذخیره‌سازی روی خواص فیزیکوشیمیایی میوه توت‌فرنگی در دمای ۴ درجه سلسیوس استفاده شد. تست دانکن (Duncan) در سطح احتمال ۹۵ درصد ( $P < 0.05$ ) برای تعیین تفاوت معنی‌داری بین تیمارها براساس آزمون فاکتوریل سه متغیره در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نرم‌افزار SPSS (version 22.0.0, IBM Institute) (Inc, USA) برای این هدف استفاده شد و مقادیر به صورت میانگین (Mean) گزارش شدند.

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- خواص کلی فیلم

خواص مواد بسته‌بندی استفاده شده در این مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. انعطاف‌پذیری در نقطه شکست فیلم PLA خالص به طور معنی‌داری با افزودن پلاستی‌سایزر تری‌استین در سطح 10 wt.% بهبود یافت در حالی که استحکام کششی کاهش یافت. از طرفی دیگر، افزودن نانوذره رس C20A منجر به بهبود استحکام کششی فیلم PLA-TA10 شد که با نتایج محققان

مطابقت دارد [۱۹].

میزان رطوبت فیلم PLA با افزودن پلاستی‌سایزر افزایش یافت. افزایش میزان رطوبت فیلم PLA/TA10 ممکن است بخاطر ماهیت آبدوستی پلاستی‌سایزر باشد که گروه‌های کربونیل و هیدروکسیل آزاد منجر به حرکت بالای مولکول‌های آب می‌شود. از طرفی دیگر، افزودن نانوذره C20A به PLA میزان رطوبت فیلم نانوکامپوزیت را افزایش داد که به دلیل ماهیت آبدوستی C20A می‌باشد [۲۰؛ ۲۱]. نفوذپذیری بخار آب فیلم PLA خالص ۶/۰۷ درصد بود که با افزودن پلاستی‌سایزر افزایش یافت. مقادیر نفوذپذیری بخار آب و نرخ انتقال گاز برای فیلم نانوکامپوزیت PLA/C20A1/TA10 نسبت به فیلم PLA/TA10 کاهش یافت. حضور صفحات رس باعث طولانی شدن و ایجاد مسیرهای مارپیچ در ماتریس پلیمر شده و در نتیجه انتقال و نفوذ مولکول‌های آب از طریق ماتریس کاهش یافت مطابق این یافته‌ها، استفاده از نانوکامپوزیت انتخابی مناسب برای بهبود خواص ممانعت‌کنندگی می‌باشد به طوری که فیلم نانوکامپوزیت تقویت شده با نانوذره رس در غلظت مناسب بهبود قابل توجهی در خواص فیزیکی در مقایسه با PLA خالص داشت [۲۲؛ ۲۳].

**Table 3** Tensile strength (TS), elongation at break ( $E_{ab}$ ), Moisture content (MC), oxygen transmission rate ( $O_2TR$ ), and water vapor permeability (WVP) of films.

Code	Composition	TS (MPa)	$E_{ab}$ (%)	MC (%)	$O_2TR$ ( $ccm^{-2}day^{-1}atm^{-1}$ )	WVP ( $\times 10^{-7} gm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$ )
P1	Neat PLA	35.1±1.5 <sup>a</sup>	7.2±0.3 <sup>c</sup>	0	260.6±6.2 <sup>b</sup>	6.07±0.8
P2	PLA/TA10	22.3±1.3 <sup>c</sup>	14.3±0.5 <sup>a</sup>	3.25±0.4 <sup>b</sup>	278.1±4.5 <sup>a</sup>	6.79±0.3
P3	PLA/C20A1/TA10	28.7±2.1 <sup>b</sup>	10.1±0.8 <sup>b</sup>	3.88±0.2 <sup>a</sup>	224.3±5.8 <sup>c</sup>	5.31±0.5

با کاهش وزن تحت تأثیر عوامل اصلی و عوامل متقابل تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد. نتایج مقایسه میانگین درصد کاهش وزن میوه توت‌فرنگی در جدول ۵ آمده است. مطابق با این نتایج، درصد کاهش وزن میوه توت‌فرنگی با گذشت زمان به طور معنی‌داری کاهش یافت. به طور کلی، کاهش وزن (کاهش آب) میوه به عوامل مختلفی مانند نوع فیلم

## ۳-۲- کاهش وزن

یکی از مشکلات اصلی میوه توت‌فرنگی در طول ذخیره‌سازی کاهش وزن بالای آن است که در کیفیت، ماندگاری و بازارپسندی میوه نقش مهمی دارد [۳]. نتایج آنالیز واریانس درصد کاهش وزن در جدول ۴ خلاصه شده است. مطابق جدول ۴، اطلاعات مرتبط

فیلم‌های Neat PLA، PLA/C20A1/TA10 و PLA/TA10 مشاهده شد. بنابراین فیلم حاوی نانوذره رس سبب کنترل مطلوب روند کاهش وزن میوه توت‌فرنگی طی دوره نگهداری گردید زیرا نانوذره در ماتریس پلیمر نه تنها رطوبت درون میوه را حفظ می‌کند بلکه همچنین خاصیت ممانعت-کنندگی بخار آب فیلم بسته‌بندی را بهبود می‌بخشد. بنابراین درصد کاهش وزن با کاهش نفوذپذیری فیلم نسبت به بخار آب کمتر می‌شود [۲۸؛ ۱۵]. محققان نشان دادند که فیلم‌های بسته‌بندی نانوکامپوزیت درصد کاهش وزن میوه را کاهش داد [۲۹؛ ۳۰]. در نتیجه، فیلم و ترکیب گازی مناسب برای ذخیره‌سازی میوه توت‌فرنگی طی ۲۳ روز به ترتیب PLA/C20A1/TA10 و MAP-A بودند. زیرا آنها کاهش وزن میوه را در دمای ۴ درجه سلسیوس به دلیل خاصیت نفوذپذیری پایین به رطوبت محدود کردند. علاوه بر این، تجمع آب درون بسته گسترش نیافت و علائم قارچ روی میوه‌ها کمتر مشاهده شد [۲۴].

بسته‌بندی، اتمسفر اصلاح شده، افزایش فعالیت متابولیکی، تنفس، تعرق، رشد سریع میکروبی و تخریب بافت آن طی دوره ذخیره‌سازی بستگی دارد [۲۴؛ ۲۵]. در حقیقت، بیشترین درصد کاهش وزن میوه توت‌فرنگی در پایان دوره نگهداری در فیلم‌های بسته‌بندی بدون تزریق گاز (نمونه شاهد) مشاهده شد. در حالی که کمترین آن مربوط به نمونه‌های حاوی ترکیب گازی MAP-A و MAP-B بود. محققان گزارش دادند که اتمسفر اصلاح شده با داشتن رطوبت نسبتاً بالا در اتمسفر سر فضا و محدود کردن روانی آب باعث کاهش وزن کمتر در میوه‌ها شد [۲۶]. همچنین ترکیب گازی MAP-A به دلیل داشتن میزان اکسیژن کمتر، دی‌اکسید کربن بیشتر و در نتیجه فشار مناسب برای تشکیل هیدرات دارای کاهش وزن کمتر نسبت به MAP-B بود. بنابراین اتمسفر اصلاح شده با ترکیب گازی تعادلی درون بسته توانایی لازم برای فراهم کردن خواص ارگانولپتیکی بهینه و در نهایت افزایش عمر ماندگاری محصول را دارد [۲۷]. مطابق نتایج حاصل، کمترین و بیشترین درصد کاهش وزن به ترتیب در

**Table 4** Analysis of variance for effects of packaging film (P), modified atmosphere (M), and storage day (D) on weight loss for strawberry fruit

Mean square	Df	Variable
7.72**	2	P
9.31**	2	M
164.93**	6	D
0.48**	4	P×M
0.88**	12	P×D
1.63**	12	M×D
0.57**	24	P×M×D
0.004	126	Error

\*: Significant difference at 5% and \*\*: Significant difference at 1%

**Table 5** Effects of packaging film, modified atmosphere, and storage day on weight loss (WL) for strawberry fruit

Code	Storage date (day)						
	0	3	7	11	15	19	23
P1A1	0	0.83 <sup>l</sup>	2 <sup>k</sup>	2.8 <sup>i</sup>	3.94 <sup>g</sup>	5.21 <sup>e</sup>	5.94 <sup>d</sup>
P1A2	0	0.83 <sup>l</sup>	1.93 <sup>k</sup>	2.82 <sup>i</sup>	4.02 <sup>h</sup>	5.17 <sup>e</sup>	6.08 <sup>c</sup>
P1A3	0	0.77 <sup>m</sup>	2.1 <sup>j</sup>	2.95 <sup>i</sup>	4.24 <sup>f</sup>	6.32 <sup>b</sup>	8.1 <sup>a</sup>
P2A1	0	0.98 <sup>n</sup>	2.27 <sup>l</sup>	3.05 <sup>j</sup>	4.27 <sup>g</sup>	5.56 <sup>c</sup>	6.5 <sup>c</sup>
P2A2	0	1 <sup>n</sup>	2.45 <sup>k</sup>	3.47 <sup>i</sup>	4.91 <sup>f</sup>	6.24 <sup>d</sup>	7.21 <sup>b</sup>
P2A3	0	1.22 <sup>m</sup>	2.9 <sup>j</sup>	3.99 <sup>h</sup>	5.65 <sup>e</sup>	7.16 <sup>b</sup>	8.32 <sup>a</sup>
P3A1	0	0.73 <sup>n</sup>	1.65 <sup>k</sup>	2.36 <sup>h</sup>	3.33 <sup>f</sup>	4.34 <sup>e</sup>	5.02 <sup>d</sup>
P3A2	0	0.88 <sup>m</sup>	2.17 <sup>g</sup>	3.06 <sup>g</sup>	4.42 <sup>e</sup>	5.65 <sup>c</sup>	5.92 <sup>b</sup>
P3A3	0	0.92 <sup>l</sup>	2.27 <sup>i</sup>	3.1 <sup>g</sup>	4.48 <sup>e</sup>	5.64 <sup>c</sup>	6.53 <sup>a</sup>

**۳-۳- مواد جامد محلول**

توت‌فرنگی طی دوره ذخیره‌سازی در جدول ۷ آمده است. مطابق جدول ۷، ماده جامد محلول برای میوه توت‌فرنگی در زمان برداشت ۵/۲۵ درصد بود که مقدار آن برای همه نمونه‌ها طی دوره ذخیره‌سازی به تدریج افزایش و سپس کاهش یافت. مقدار ماده جامد محلول در پایان دوره ذخیره‌سازی برای بسته بدون تزریق گاز (نمونه شاهد) بیشتر از بسته‌های MAP-A و MAP-B کاهش یافت. این امر به دلیل فرایندهای رسیدگی فیزیولوژیکی میوه است که تعیین کننده تجمع قندهای استفاده شده در فرایندهای تنفس می‌باشد. قابل ذکر است که این پدیده در نمونه‌های اتمسفر اصلاح شده کمتر دیده شد [۲۶].

مواد جامد محلول فاکتور کلیدی در تعیین کیفیت میوه و رضایت مصرف‌کننده می‌باشد. قندها متابولیت‌های اصلی محلول شامل گلوکز، فروکتوز و ساکارز هستند که ۹۹ درصد میزان قند کل را تشکیل می‌دهند. مواد جامد محلول که عمدتاً شامل قندها و اسیدها هستند ارتباط نزدیکی با مزه و طعم محصول دارد و نشان‌دهنده درجه رسیدگی آن است. بنابراین مواد جامد محلول به هیدرولیز قندها برای فراهم کردن تنفس نرمال بیان می‌شود [۱۴]. نتایج آنالیز واریانس برای مواد جامد محلول در جدول ۶ نشان داد که همه اثرات اصلی و متقابل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین مواد جامد محلول برای میوه

**Table 6** Analysis of variance for effects of packaging film, modified atmosphere, and storage day on Total soluble solid (TSS), Titratable acidity (TA), pH, and firmness (F) for strawberry fruit

	Mean square			Df	Variable	
	pH	F (N)	TA (%)			TSS (%)
	0.07 <sup>**</sup>	4.48 <sup>**</sup>	2.69 <sup>**</sup>	0.2 <sup>**</sup>	۲	P
	0.19 <sup>**</sup>	4.44 <sup>**</sup>	2.49 <sup>**</sup>	8.84 <sup>**</sup>	۲	M
	0.84 <sup>**</sup>	32.80 <sup>**</sup>	5.18 <sup>**</sup>	24.90 <sup>**</sup>	۳	D
	0.03 <sup>**</sup>	0.03 <sup>**</sup>	0.10 <sup>**</sup>	0.35 <sup>**</sup>	۴	P×M
	0.02 <sup>**</sup>	0.52 <sup>**</sup>	0.92 <sup>**</sup>	0.02 <sup>**</sup>	۶	P×D
	0.08 <sup>**</sup>	1.12 <sup>**</sup>	0.39 <sup>**</sup>	1.98 <sup>**</sup>	۶	M×D
	0.01 <sup>**</sup>	0.19 <sup>**</sup>	0.18 <sup>**</sup>	0.11 <sup>**</sup>	۱۲	P×M×D
	0.00	0.09	0.00	0.05	۷۲	Error

\*: Significant difference at 5% and \*\*: Significant difference at 1%

**Table 7** Effects of packaging film, modified atmosphere, and storage day on Total soluble solid (TSS), Titratable acidity (TA), pH, and firmness (F) for strawberry fruit

Code	Storage date (day)	TSS	TA	F	pH
P1A1	0	5.25 <sup>f</sup>	3.75 <sup>f</sup>	5.12 <sup>a</sup>	3.47 <sup>c</sup>
	7	7 <sup>c</sup>	3.95 <sup>e</sup>	4.07 <sup>b</sup>	3.44 <sup>f</sup>
	15	7.5 <sup>a</sup>	5.03 <sup>a</sup>	3.5 <sup>c</sup>	3.64 <sup>d</sup>
	23	7.2 <sup>b</sup>	4.15 <sup>c</sup>	2.77 <sup>d</sup>	3.66 <sup>d</sup>
P1A2	0	5.25 <sup>f</sup>	3.75 <sup>f</sup>	5.12 <sup>a</sup>	3.47 <sup>c</sup>
	7	6.8 <sup>d</sup>	3.95 <sup>e</sup>	3.4 <sup>c</sup>	3.64 <sup>d</sup>
	15	7.5 <sup>a</sup>	4.22 <sup>b</sup>	2.7 <sup>d</sup>	3.87 <sup>c</sup>
	23	7 <sup>c</sup>	3.28 <sup>i</sup>	2.5 <sup>e</sup>	3.95 <sup>b</sup>
P1A3	0	5.25 <sup>f</sup>	3.75 <sup>f</sup>	5.12 <sup>a</sup>	3.47 <sup>c</sup>
	7	6.5 <sup>d</sup>	4.02 <sup>d</sup>	2.43 <sup>c</sup>	3.63 <sup>d</sup>
	15	7.2 <sup>b</sup>	3.69 <sup>g</sup>	2.11 <sup>f</sup>	3.84 <sup>c</sup>
	23	5.5 <sup>e</sup>	3.32 <sup>h</sup>	2 <sup>i</sup>	4.15 <sup>a</sup>
P2A1	0	5.25	3.75 <sup>e</sup>	5.12 <sup>a</sup>	3.47 <sup>c</sup>
	7	7.5 <sup>c</sup>	4.69 <sup>a</sup>	3.13 <sup>b</sup>	3.44 <sup>f</sup>
	15	8 <sup>a</sup>	4.22 <sup>b</sup>	2.9 <sup>c</sup>	3.65 <sup>c</sup>
	23	7.8 <sup>b</sup>	2.88 <sup>h</sup>	2.47 <sup>d</sup>	3.76 <sup>b</sup>
P2A2	0	5.25 <sup>g</sup>	3.75 <sup>e</sup>	5.12 <sup>a</sup>	3.47 <sup>c</sup>
	7	7 <sup>e</sup>	3.82 <sup>d</sup>	3.17 <sup>b</sup>	3.55 <sup>d</sup>
	15	7.5 <sup>c</sup>	3.48 <sup>g</sup>	2.47 <sup>d</sup>	3.67 <sup>c</sup>
	23	7.2 <sup>d</sup>	2.88 <sup>h</sup>	2.2 <sup>f</sup>	3.78 <sup>b</sup>
P2A3	0	5.25 <sup>g</sup>	3.75 <sup>e</sup>	5.12 <sup>a</sup>	3.47 <sup>c</sup>
	7	6.5 <sup>f</sup>	4.02 <sup>c</sup>	2.33 <sup>e</sup>	3.56 <sup>d</sup>
	15	7.2 <sup>d</sup>	3.69 <sup>f</sup>	2.07 <sup>g</sup>	3.65 <sup>c</sup>
	23	5.3 <sup>g</sup>	2.68 <sup>i</sup>	1.77 <sup>h</sup>	3.89 <sup>a</sup>
P3A1	0	5.25	3.75 <sup>h</sup>	5.12 <sup>a</sup>	3.47 <sup>g</sup>
	7	7.5 <sup>c</sup>	5.36 <sup>a</sup>	4.37 <sup>b</sup>	3.69 <sup>c</sup>
	15	8.5 <sup>a</sup>	4.69 <sup>d</sup>	3.77 <sup>d</sup>	3.58 <sup>e</sup>
	23	8.1 <sup>b</sup>	4.22 <sup>e</sup>	3.37 <sup>e</sup>	3.64 <sup>d</sup>
P3A2	0	5.25 <sup>h</sup>	3.75 <sup>h</sup>	5.12 <sup>a</sup>	3.47 <sup>g</sup>
	7	7 <sup>e</sup>	4.82 <sup>b</sup>	4.07 <sup>c</sup>	3.57 <sup>c</sup>
	15	7.3 <sup>d</sup>	4.22 <sup>e</sup>	3.53 <sup>f</sup>	3.64 <sup>d</sup>
	23	7 <sup>e</sup>	3.85 <sup>g</sup>	3.1 <sup>g</sup>	3.79 <sup>b</sup>
P3A3	0	5.25 <sup>h</sup>	3.75 <sup>h</sup>	5.12 <sup>a</sup>	3.47 <sup>g</sup>
	7	6.3 <sup>f</sup>	4.76 <sup>c</sup>	3.17 <sup>g</sup>	3.52 <sup>f</sup>
	15	6.9 <sup>e</sup>	3.89 <sup>f</sup>	2.9 <sup>h</sup>	3.55 <sup>f</sup>
	23	5.5 <sup>g</sup>	3.11 <sup>i</sup>	2.37 <sup>i</sup>	4.19 <sup>a</sup>



زمان در ترکیب گازی نسبت به نمونه شاهد کمتر بود. همچنین میوه‌های ذخیره شده در ترکیب گازی MAP-B به علت داشتن اکسیژن بالاتر و دی‌اکسید کربن پایین‌تر نسبت به MAP-A اسیدیته قابل تیتراسیون کمتری دارند. در پایان دوره ذخیره‌سازی، بالاترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون (۴/۲۲) در میوه‌های بسته‌بندی شده با فیلم نانوکامپوزیت و ترکیب گازی MAP-A ثبت شد که دارای کمترین درصد کاهش وزن (۵/۰۲) بود. با نتایج سایر محققان مطابقت دارد [۲۴].

### ۳-۵- pH

امکان افزایش pH به وسیله مصرف اسیدهای ارگانیک موجود در میوه‌ها بخاطر تنفس وجود دارد. به طور کلی، وقتی میوه‌ها ذخیره می‌شوند قندها و اسیدهای موجود برای فعالیت‌های متابولیک مانند تنفس استفاده می‌شوند و منجر به تغییرات در pH، اسیدیته قابل تیتراسیون و مواد جامد محلول می‌شوند. افزایش مواد جامد محلول در میوه‌ها به وسیله تبدیل کربوهیدرات‌ها به قندها و حلال‌های دیگر از طریق فرایندهای متابولیکی طی ذخیره‌سازی به وجود می‌آید. میزان pH برای میوه توت‌فرنگی معمولاً بین ۳ الی ۳/۹ است و می‌تواند با توجه به نوع واریته، درجه رسیدگی، شرایط ذخیره‌سازی و آلودگی میکروبی متغیر باشد [۱۸]. همچنین گزارش شده است که تغییرات pH، مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون در میوه‌های با پوشش فیلم پلاستیکی و نفوذپذیری کم به گازهای اتمسفری به دلیل افزایش دی‌اکسید کربن و کاهش تنفس ظاهر شد [۲۵]. نتایج آنالیز واریانس مربوط به pH در جدول ۶ نشان داد که اثرات اصلی و متقابل روی pH در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین pH برای همه نمونه‌ها طی ذخیره‌سازی در جدول ۷ آمده است. مقدار pH اولیه برای میوه توت‌فرنگی ۳/۴۷ بود که طی ذخیره‌سازی برای همه نمونه‌ها افزایش یافت. از طرف دیگر، ترکیب گاز بهینه نقش موثری در کاهش رشد میکروارگانیسم‌های هوازی و میزان تنفس غیر هوازی میوه توت‌فرنگی دارد که منجر به افزایش pH میوه گردید. این یافته‌ها در توافق با گزارش محققان قبلی است [۳۴]. از آنجایی که فعالیت متابولیکی میوه توت‌فرنگی در شرایط اتمسفری بهینه طی دوره ذخیره‌سازی کاهش یافت، تغییرات pH در فیلم‌های حاوی ترکیب گازی در

به طور کلی، اتمسفر اصلاح شده می‌تواند کاهش مواد جامد محلول را کاهش دهد و در نتیجه فرایند پیری زودرس میوه توت‌فرنگی را به تأخیر بیندازد [۳۱]. همانطور که می‌دانیم رسیدگی میوه‌ها نسبت عکس با میزان تنفس آنها دارد. آن مشهود است که گازها می‌توانند میزان تنفس و همچنین مصرف مواد آلی را کاهش دهند. در نتیجه انتخاب ترکیب گاز بهینه با میزان اکسیژن ۱۰ KPa به حفظ بهتر مواد جامد محلول طی دوره ذخیره‌سازی کمک بیشتری کرد. بنابراین کاربرد اتمسفر اصلاح شده تفاوت معنی‌داری بین مواد جامد محلول تیمارهای مختلف ایجاد میکند. این یافته‌ها با نتایج سایر محققان مطابقت دارد [۳۲].

### ۳-۶- اسیدیته قابل تیتراسیون

اسیدیته قابل تیتراسیون بیانگر مقدار کل اسیدهای آب میوه است که به صورت درصد براساس اسیدهای آلی غالب میوه اندازه‌گیری می‌شود. نتایج آنالیز واریانس تست میزان اسیدیته قابل تیتراسیون برای میوه توت‌فرنگی طی دوره ذخیره‌سازی در جدول ۶ آمده است. مطابق جدول ۶، اسیدیته قابل تیتراسیون تحت تأثیر همه عوامل اصلی و متقابل در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. مطابق جدول ۷، میزان اسیدیته قابل تیتراسیون برای میوه توت‌فرنگی در زمان برداشت ۳/۷۵ درصد بود که مقدار آن برای همه نمونه‌ها طی دوره ذخیره‌سازی به تدریج افزایش یافت و سپس کاهش یافت. در نتیجه، کیفیت میوه توت‌فرنگی در پایان زمان ذخیره‌سازی کاهش پیدا کرد. نتایج مشابهی توسط محققان دیگر مشاهده شد که این رفتار به عدم حلالیت دی‌اکسید کربن در آب موجود در سطح میوه و تولید اسید کربونیک در میوه اشاره دارد. میزان اسیدیته قابل تیتراسیون به مدت زمان ذخیره‌سازی میوه ارتباط دارد. بنابراین، میزان اسیدیته با افزایش دوره نگهداری میوه کاهش می‌یابد که این کاهش در همه نمونه‌ها در پایان دوره ذخیره‌سازی قابل مشاهده است [۳۳]. قندها و اسیدها طی فرایند متابولیکی تنفس مصرف می‌شوند و بدین ترتیب تغییرات در مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون طی ذخیره‌سازی رخ می‌دهد [۳۳]. فیلم با ترکیب گازی احتمال می‌رود به دلیل کاهش شدت تنفس، ایجاد اتمسفر مطلوب و جلوگیری از مصرف اسیدهای فرایندهای متابولیکی بیشتر از نمونه شاهد اسیدیته قابل تیتراسیون را حفظ کند. بنابراین تغییرات کاهش TA با گذشت

تغییرات در سفتی به تغییرات در میزان آب میوه توت‌فرنگی مرتبط است. به طور کلی، فیلم بسته‌بندی و اتمسفر اصلاح شده در حفظ سفتی میوه طی دوره ذخیره‌سازی نقش موثری دارد. حفظ سفتی در نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم نانوکامپوزیت بخاطر تأخیر در پیری زودرس، کاهش در نفوذپذیری فیلم و کاهش در تبادل گازها بوده که به دلیل وجود نانوذره رس در ماتریس پلیمری اتفاق افتاد [۲۵]. نتایج این تحقیق آشکار ساخت که استفاده از فیلم بسته‌بندی نانوکامپوزیت حاوی نانوذره رس توانسته است فرایند نرمی‌سازی میوه را طی دوره ذخیره‌سازی به تأخیر بیندازد.

#### ۴- نتیجه‌گیری کلی

افزایش علاقه در بازار برای میوه‌ها و سبزی‌های تازه بخاطر افزایش تمایل مصرف‌کننده برای محصولات طبیعی، سالم و تازه وجود دارد. توت‌فرنگی‌ها مدت ماندگاری کوتاهی دارند، به شدت فسادپذیر هستند و نرخ تنفس بالایی دارند. همچنین تلفات و ضایعات پس از برداشت به دلیل گسترش قارچ، صدمات مکانیکی، فسادپذیری فیزیولوژیکی و کاهش آب نسبتاً بالا است. استفاده از فیلم بسته‌بندی، اتمسفر اصلاح شده و دمای پایین برای افزایش ماندگاری میوه توت‌فرنگی مورد استفاده قرار گرفت. سیستم اتمسفر اصلاح شده یک تکنولوژی دینامیکی است که تنفس محصولات بسته‌بندی شده و نفوذپذیری گازها را از طریق فیلم‌های بسته‌بندی شبیه‌سازی می‌کند. انباشتگی دی‌اکسید کربن و حذف اکسیژن با سطوح مناسب از طریق کاربرد اتمسفر اصلاح شده برای افزایش ماندگاری و حفظ ارزش محصول شناخته شد. تأثیر سه نوع فیلم بسته‌بندی، دو ترکیب گازی و یک ترکیب بدون تزریق گاز برای ۲۳ روز ذخیره‌سازی در دمای ۴ درجه سلسیوس روی خواص فیزیکوشیمیایی میوه توت‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهایی از قبیل کاهش وزن، مواد جامد محلول، اسیدپتید قابل تیتراسیون، pH و سفتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که درصد کاهش وزن میوه توت‌فرنگی طی دوره ذخیره‌سازی به طور معنی‌داری افزایش یافت. به طوری که نمونه شاهد درصد کاهش وزن بالاتری نسبت به ترکیب گازی در پایان ذخیره‌سازی داشت. سیستم بسته‌بندی با ترکیب گازی در حفظ اسیدپتید قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول و سفتی بافت میوه در

مقایسه با نمونه شاهد کمتر بود. در نتیجه، تغییرات شیمیایی در بافت میوه در میزان کمتری رخ داد. تغییرات pH بسته‌های بدون تزریق گاز (نمونه شاهد) تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های دیگر نشان داد. در واقع، این بیانگر میزان تنفس و مصرف بیشتر اسیدهای آلی در نمونه‌های شاهد است [۳۵]. بنابراین بالاترین تغییرات pH در پایان ذخیره‌سازی در نمونه‌های شاهد مشاهده شد و کمترین تغییرات در فیلم‌های نانوکامپوزیت یافت شد. علاوه بر این، فیلم نانوکامپوزیت به دلیل نفوذپذیری بخار آب و نرخ انتقال گاز پایین (مطابق جدول ۳) نقش قابل توجهی در کاهش میزان تنفس درون بسته بازی می‌کند و بدین ترتیب تغییرات pH میوه کاهش می‌یابد [۲۵].

#### ۳-۶- سفتی

سفتی بافت یک کاراکتر مهم در ارتباط با کیفیت و تازگی میوه توت‌فرنگی است. نتایج آنالیز واریانس مرتبط با اثرات اصلی و اثرات متقابل روی سفتی بافت میوه توت‌فرنگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۶). نتایج نشان داد که سفتی بافت میوه توت‌فرنگی در همه بسته‌ها به طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) طی زمان ذخیره‌سازی کاهش یافت [۲۵؛ ۱۸]. سفتی همبستگی منفی بالایی با کاهش وزن میوه دارد که به کاهش فشار بخار در نتیجه فرایند تعرق آب نسبت داده می‌شود. علاوه بر این، تخریب دیواره سلولی فیلم می‌تواند در نرمی‌سازی میوه موثر باشد. با این وجود، نمونه‌های در ترکیب گازی در پایان زمان ذخیره‌سازی میزان سفتی بالاتری را نسبت به نمونه شاهد نشان دادند (جدول ۷). این دستاورد به کاهش وزن کمتر در بسته‌های با اتمسفر اصلاح شده مرتبط است که با نتایج سایر محققان مطابقت دارد [۱۴]. در واقع، ترکیب گازی با ایجاد شرایط اتمسفر مناسب موجب کاهش فعالیت آنزیم عامل نرم‌شدگی میوه می‌شود [۳۶]. نرمی‌سازی میوه توت‌فرنگی در نتیجه تغییرات در خواص فیزیکی و مکانیکی بافت بوجود می‌آید که مرتبط با تغییرات در ساختار شیمیایی با دیواره سلولی فیلم بسته‌بندی است [۳۷]. همچنین میوه توت‌فرنگی در بسته‌های PLA/C20A1/TA10 دارای سفتی نسبتاً بالاتری از دو فیلم neat PLA و PLA/TA10 طی دوره ذخیره‌سازی بود. زیرا فیلم حاوی نانوذره دارای خاصیت ممانعت‌کنندگی خوبی نسبت به بخار آب بوده است. بنابراین

- [5] Li, Y., Ishikawa, Y., Satake, T., Kitazawa, H., Qiu, X., & Rungchang, S. (2014). Effect of active modified atmosphere packaging with different initial gas compositions on nutritional compounds of shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*). *Postharvest Biology and Technology*, 92, 107-113 .
- [6] Costa, C., Lucera, A., Conte, A., Mastromatteo, M., Speranza, B., Antonacci, A., & Del Nobile, M. A. (2011). Effects of passive and active modified atmosphere packaging conditions on ready-to-eat table grape. *Journal of Food Engineering*, 102(2), 115-121.
- [7] Banda, K., Caleb, O. J., Jacobs, K., & Opara, U. L. (2015). Effect of active-modified atmosphere packaging on the respiration rate and quality of pomegranate arils (cv. Wonderful). *Postharvest Biology and Technology*, 109, 97-105 .
- [8] Guillard, V., Gaucel, S., Fornaciari, C., Angellier-Coussy, H., Buche, P., & Gontard, N. (2018). The next generation of sustainable food packaging to preserve our environment in a circular economy context. *Frontiers in nutrition*, 5, 121 .
- [9] Tumwesigye, K., Sousa, A., Oliveira, J., & Sousa-Gallagher, M. (2017). Evaluation of novel bitter cassava film for equilibrium modified atmosphere packaging of cherry tomatoes. *Food packaging and shelf life*, 13, 1-14 .
- [10] Oliveira, M., Abadias, M., Usall, J., Torres, R., Teixidó, N., & Viñas, I. (2015). Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 6(1), 13-26
- [11] Soltani, M., Alimardani, R., Mobli, H., & Mohtasebi, S. S. (2015). Modified atmosphere packaging: a progressive technology for shelf-life extension of fruits and vegetables. *Journal of Applied Packaging Research*, 7(3), 27-38.
- [12] Nielsen, T., & Leufvén, A. (2008). The effect of modified atmosphere packaging on the quality of Honeoye and Korona strawberries. *Food Chemistry*, 107, 1053-1063.
- [13] Adobati, A., Uboldi, E., Franzetti, L., & Limbo, S. (2015). Shelf life extension of raspberry: Passive and active modified atmosphere inside master bag solutions.

مقایسه با نمونه شاهد بهترین بود. علاوه بر این، فیلم بسته بندی PLA/C20A1/TA10 نتایج بهتری در همه آنالیزها در مقایسه با دو فیلم Neat PLA و PLA/TA10 نشان داد که به خاصیت ممانعت‌کنندگی فیلم در حضور نانوذره رس مرتبط است. نتایج این مطالعه تأیید می‌کند که فیلم بسته‌بندی حاوی نانوذره به همراه ترکیب گازی MAP-A سبب حفظ بهتر خواص کیفی برای میوه توت‌فرنگی طی دوره ذخیره‌سازی شد. به طور کلی، این مطالعه چشم‌انداز جدید از ترکیب اتمسفر اصلاح شده با فیلم بسته‌بندی نانوکامپوزیت در دمای پایین برای افزایش عمر ماندگاری میوه توت‌فرنگی ارائه داد.

## ۵- سپاسگزاری

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به خاطر حمایت مالی این مقاله که مستخرج از طرح پژوهشی با کد ۰۹-۱۴۰۰-۰۲ می باشد نهایت قدردانی و سپاسگزاری دارند.

## ۶- منابع

- [1] Caldeira, C., De Laurentiis, V., Corrado, S., van Holsteijn, F., & Sala, S. (2019). Quantification of food waste per product group along the food supply chain in the European Union: a mass flow analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 479-488 .
- [2] Caleb, O. J., Opara, U. L., & Witthuhn, C. R. (2012). Modified atmosphere packaging of pomegranate fruit and arils: a review. *Food and bioprocess technology*, 5(1), 15-30 .
- [3] Fernández-León, M., Fernández-León, A., Lozano, M., Ayuso, M., Amodio, M. L., Colelli, G., & González-Gómez, D. (2013). Retention of quality and functional values of broccoli 'Parthenon' stored in modified atmosphere packaging. *Food Control*, 31(2), 302-313 .
- [4] Matar, C., Salou, T., Hélias, A., Pénicaud, C., Gaucel, S., Gontard, N., . . . Guillard, V. (2021). Benefit of modified atmosphere packaging on the overall environmental impact of packed strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 177, 111521 .

- poly (lactic acid)-based cast films: Effect of plasticizer and organoclay on processability and final properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 127(6), 4947-4956 .
- [23] Briano, R., Giuggioli, N. R., Girgenti, V., & Peano, C. (2015). Biodegradable and Compostable Film and Modified Atmosphere Packaging in Postharvest Supply Chain of Raspberry Fruits (cv. G randeur). *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2061-2073 .
- [24] Ebrahimi, H., Abedi, B., Bodaghi, H., Davarynejad, G., Haratizadeh, H., & Conte, A. (2018). Investigation of developed clay/nanocomposite packaging film on quality of peach fruit (*Prunus persica* Cv. Alberta) during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13466 .
- [25] Tinebra, I., Sortino, G., Inglese, P., Fretto, S., & Farina, V. (2021). Effect of Different Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Mulberry Fruit (*Morus alba* L. cv Kokuso 21). *International Journal of Food Science*.
- [26] Akbudak, B., & Eris, A. (2004). Physical and chemical changes in peaches and nectarines during the modified atmosphere storage. *Food Control*, 15(4), 307-313 .
- [27] Conte, A., Scrocco, C., Lecce, L., Mastromatteo, M., & Del Nobile, M. (2009). Ready-to-eat sweet cherries: Study on different packaging systems. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 564-571 .
- [28] Zandi, K., Weisany, W., Ahmadi, H., Bazargan, I & Naseri, L. (2013). Effect of Nanocomposite-Based Packaging on Postharvest Quality of Strawberry during Storage.
- [29] Zhou, L., Lv, S., He, G., He, Q., & Shi, B. (2011). Effect of pe/ag<sub>2</sub>o nano-packaging on the quality of apple slices. *Journal of Food Quality*, 34(3), 171-176 .
- [30] Afifi, E. H. (2016). Effect of active and passive modified atmosphere packaging on quality attributes of strawberry fruits during cold storage. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 24(1), 157-168 .
- [31] Zandi, M., Ganjloo, A., Bimakr, M., Moradi, N., & Nikoomanesh, N. (2021). Effect of active coating containing radish leaf extract with or without vacuum packaging on the Chemical Engineering Transactions, 44, 337-342 .
- [14] Zhao, X., Xia, M., Wei, X., Xu, C., Luo, Z., & Mao, L. (2019). Consolidated cold and modified atmosphere package system for fresh strawberry supply chains. *Lwt*, 109, 207-215 .
- [15] Barikloo, H., & Ahmadi, E. (2018). Shelf life extension of strawberry by temperatures conditioning, chitosan coating, modified atmosphere, and clay and silica nanocomposite packaging. *Scientia Horticulturae*, 2. 496-508, 40
- [16] Khodayari, M., Basti, A. A., Khanjari, A., Misaghi, A., Kamkar, A., Shotorbani, P. M., & Hamed, H. (2019). Effect of poly (lactic acid) films incorporated with different concentrations of *Tanacetum balsamita* essential oil, propolis ethanolic extract and cellulose nanocrystals on shelf life extension of vacuum-packed cooked sausages. *Food packaging and shelf life*, 19, 200-209 .
- [17] Selcuk, N., & Erkan, M. (2014). Changes in antioxidant activity and postharvest quality of sweet pomegranates cv. Hicannar under modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 9, 29-36.
- [18] Khodaei, D., Hamidi-Esfahani, Z., & Rahmati, E. (2021). Effect of edible coatings on the shelf-life of fresh strawberries: A comparative study using topsis-shannon entropy method. *NFS Journal*, 23, 17-23 .
- [19] Ozdemir, E., & Hacaloglu, J. (2017). Characterizations of PLA-PEG blends involving organically modified montmorillonite. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 127, 343-349. Bharti, S. K., Pathak, V., Arya, A., Alam, T.,
- [20] Rajkumar, V., & Verma, A. K. (2021). Packaging potential of Ipomoea batatas and κ-carrageenan biobased composite edible film: Its rheological, physicomechanical, barrier and optical characterization. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2), e15153 .
- [21] Ozkoc, G., & Kemalolu, S. (2009). Morphology, biodegradability, mechanical, and thermal properties of nanocomposite films based on PLA and plasticized PLA. *Journal of Applied Polymer Science*, 114(4), 2481-2487.
- [22] Scatto, M., Salmini, E., Castiello, S., Coltelli, M. B., Conzatti, L., Stagnaro, P., . . . Bronco, S. (2013). Plasticized and nanofilled

- Postharvest Biology and Technology, 38(2), 106-114 .
- [35] Karabulut, O. A., & Baykal, N. (2004). Integrated control of postharvest diseases of peaches with a yeast antagonist, hot water and modified atmosphere packaging. *Crop Protection*, 23(5), 431-435 .
- [36] Azodanlou, R., Darbellay, C., Luisier, J.-L., Villettaz, J.-C., & Amadò, R. (2004). Changes in flavour and texture during the ripening of strawberries. *European Food Research and Technology*, 218(2), 167-172
- [37][ Hu, Q., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N., & Zhao, L. (2011). Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. *Food research international*, 44(6), 1589-1596 .
- postharvest changes of sweet lemon during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3), e15252 .
- [32] Caner, C., & Aday, M. S. (2009). Maintaining quality of fresh strawberries through various modified atmosphere packaging. *Packaging Technology and Science: An International Journal*, 22(2), 115-122 .
- [33] Lyn, F. H., Adilah, Z. M., Nor-Khaizura, M., Jamilah, B., & Hanani, Z. N. (2020). Application of modified atmosphere and active packaging for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Food packaging and shelf life*, 23, 100451 .
- [34] Malakou, A., & Nanos, G. D. (2005). A combination of hot water treatment and modified atmosphere packaging maintains quality of advanced maturity 'Caldesi 200' nectarines and 'Royal Glory' peaches.



## Evaluation of physicochemical changes of strawberry under modified atmosphere using nanocomposite packaging film

Tabatabaekolour, R. <sup>1\*</sup>, YousefniaPasha, H. <sup>2</sup>

1. Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.

2. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran.

### ABSTRACT

The perishable nature of strawberry fruit is one of the key factors that limit its consumption, specified by its decreased freshness and shelf life after harvest. The suitable packaging conditions, low temperature storage, and desired atmosphere composition inside packaged are important to preserve the quality attributes and extend the shelf life of perishable fruits. In this study, the packaging films based on PLA (such as neat PLA, PLA/TA10, and PLA/C20A1/TA10) with two different gas mixtures (such as 10 KPa O<sub>2</sub>+15 KPa CO<sub>2</sub>+75 KPa N<sub>2</sub> (MAP-A) and 15 KPa O<sub>2</sub>+10 KPa CO<sub>2</sub>+75 KPa N<sub>2</sub> (MAP-B)) and a control sample without gas injection on fresh strawberry fruit were evaluated. The effects of the mentioned treatments on some physicochemical properties such as weight loss, total soluble solid, tritritable acidity, pH, and firmness kept at 4 °C for 23 days of storage period were evaluated based on a completely randomized design. The results showed that the weight loss and firmness of strawberry fruit decreased during storage time, while pH value increased. The total soluble solid and tritritable acidity of all the treatments increased throughout the storage time and decreased at the end of the storage time. It has been also reported that fruits packaged in PLA/C20A1/TA10 caused better quality attributes due to lower water vapor permeability and oxygen transmission rate than two films of neat PLA and PLA/TA10. In addition, the gas mixture of MAP-A was more suitable in comparison to MAP-B due to higher carbon dioxide inside packages and lower respiration rate of strawberry fruit. Therefore, the use of nanocomposite film with modified atmosphere has been proposed to maintain strawberry fruit at a low temperature.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2022/ 02/ 01

Accepted 2022/ 12/12

#### Keywords:

Strawberry,  
Modified atmosphere packaging,  
Nanocomposite film,  
Cold storage,  
Quality parameters.

**DOI: 10.22034/FSCT.19.132.341**

**DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.132.25.8**

\*Corresponding Author E-Mail:  
[r.tabatabaei@sanru.ac.ir](mailto:r.tabatabaei@sanru.ac.ir)