استفاده از پوشش‌های خوراکی متیل‌سلولز و موم کارنوبا و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده در بهبود کیفیت سیب قرمز لبنانی

مرضیه رضائی[a] ، ناصرصداقت[b*]

[a] دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[b] استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۱۷
https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080123.1402.20.4.2.6 DOI: 10.30495/jftn.2023.69773.11225

چکیده

مقدمه: سیب از میوه‌هایی است که نگهداری آن در سردخانه بسیار متداول می‌باشد و از مهم‌ترین عوارض معمول در دوره نگهداری سیب در سردخانه می‌توان به از دست دادن آب و پژمردگی، کاهش وزن و سفتی بافت، تغییرات در مزه و بو و قهوه‌ای شدن اشاره کرد. استفاده از پوشش‌های خوراکی بر روی میوه‌ها و سبزی‌ها موجب کاهش افت رطوبت، سرعت تنفس وترکیبات مغذی شده و به طور کلی باعث افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت محصولات تازه می‌شود. هدف از این مطالعه استفاده از دو نوع پوشش خوراکی متیل‌سلولز و موم کارنوبا به منظور کاهش شدت تنفس به همراه بسته بندی با اتمسفر اصلاح شده برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت سیب درختی بود.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر سیب تازه با دو نوع پوشش خوراکی (متیل سلولز و موم کارنوبا) پوشش‌دهی شده و سپس در بسته‌هایی از جنس فیلم پلاستیکی سه لایه PE/PA/PE ، تحت درصد مشخص گاز (۱- هوای معمولی در بسته منفذدار (نمونه شاهد)، ۲- ٪۶ اکسیژن+ ۴٪ دی اکسید کربن+۹۰٪ نیتروژن و ۳- هوای معمولی در بسته نفوذ ناپذیر، اتمسفر اصلاح شده غیرفعال) بسته‌بندی گردید. نمونه‌ها در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪ برای مدت سه ماه نگهداری شدند. آزمون‌های تغییرات وزن، سفتی بافت، تغییرات رنگ، مواد جامد محلول و تغییرات درصد گاز اکسیژن و کربن‌دی‌اکسید بسته‌بندی در زمان یک، دو و سه ماه پس از شروع انبارمانی انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد پوشش خوراکی متیل‌سلولز اثر مثبت و معنی‌داری بر کاهش وزن و تغییرات رنگ در سیب‌ها داشته و سفتی بافت در نمونه‌های پوشش‌دار بیشتر از نمونه شاهد بود ($p\leq$۰/۰۵). در پایان زمان نگهداری نمونه‌ها بیشترین سفتی (۹۵۸/۲) مربوط به نمونه با پوشش متیل‌سلولز و کمترین سفتی (۷۸۰/۲) مربوط به نمونه بدون پوشش (شاهد) بود پوشش به عنوان یک مانع برای تبادل گاز بین میوه و محیط عمل کرد. در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با متیل‌سلولز افت وزن نمونه‌ها به طور معنی‌داری کمتر از سایر نمونه‌ها بوده و افت وزن با سرعت آهسته‌تری صورت گرفت ($p\leq$۰/۰۵). در پایان ماه سوم بیشترین (۷/۶) وکمترین (۴/۷) میزان افت وزن به ترتیب مربوط به نمونه بدون پوشش و نمونه با پوشش متیل‌سلولز بود. در پایان زمان نگهداری نمونه‌ها به ترتیب نمونه بدون پوشش (شاهد) دارای بیشترین بریکس (۱۷/۲) و نمونه با پوشش موم کارنوبا (۱۶/۱) دارای کمترین میزان بریکس بود. در تمامی نمونه‌ها میزان L^* در پایان زمان انبارمانی کاهش یافت. در تمام طول مدت انبارمانی سیب‌ها، میزان L^* نمونه‌های پوشش‌دار بیشتر از نمونه‌های شاهد بود. میزان L^* در نمونه‌های شاهد کاهش پیدا کرد و به (۱۹/۲) رسید، در حالیکه در نمونه‌های دارای پوشش متیل‌سلولز به (۲۵/۶) رسید.

نتیجه‌گیری: متیل‌سلولز پوشش مناسبی برای حفظ کیفیت و افزایش زمان ماندگاری سیب درختی واریته رددلیشز بود. این پوشش باعث جلوگیری از افت وزن، حفظ سفتی بافت، کاهش تغییرات رنگ نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های شاهد شد.

واژه‌های کلیدی: *بسته‌بندی، پوشش خوراکی، سیب، کیفیت*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: sedaghat@um.ac.ir

مقدمه

سیب از متداول‌ترین میوه‌هایی است که به صورت تازه در سطح جهان مصرف می‌شود. سیب ایرانی در بازارهای اروپایی از جایگاه خاصی برخوردار است اما مشکلات حمل و نقل و بسته‌بندی محدودیت‌هایی را در این عرصه ایجاد کرده است. سیب رددلیشز[1] از مهم‌ترین ارقام تجارتی دنیاست و در ایران بعد از گلدن‌دلیشز[2] قرار دارد. میوه‌ی سیب حاوی مقادیر زیادی ترکیبات فنولی، ویتامین‌ها و اسیدهای آلی است. با این وجود، سیب به دلیل فسادپذیری نسبتاً بالا، بسیار مستعد کاهش کیفیت در طی نگهداری طولانی مدت است. این میوه پس از برداشت به مدت چند ماه در سردخانه، به منظور کاهش ضایعات پس از برداشت و حفظ کیفیت نگهداری می‌شود. اما سردخانه طولانی مدت باعث ایجاد اختلالات فیزیولوژیکی مانند سوختگی سطحی، آبریزش و قهوه‌ای شدن داخلی خواهد شد (Mditshwa *et al*., 2018; Rashid *et al*., 2020). اگرچه سردخانه به طور گسترده‌ای برای کند کردن روند خرابی استفاده می‌شود، اما اغلب لازم است با روش حفاظتی دیگری ترکیب شود تا ویژگی‌های کیفی پس از برداشت بهتر حفظ شود. روش اتمسفر اصلاح شده[3] جایگزین مناسبی است زیرا به سرمایه‌گذاری و سطح فناوری پایینی نیاز داشته و امکان ذخیره طولانی مدت با حفظ کیفیت محصول را فراهم می‌نماید (Fante *et al*., 2014).

با به‌کارگیری روش‌های مختلف جهت افزایش ماندگاری میوه‌های تازه می‌توان این محصولات را در بازه زمانی طولانی‌تر و بدون مشاهده افت کیفیت محصول، در اختیار مصرف‌کننده قرار داد و یا به مناطق دوردست منتقل نمود. استفاده از پوشش‌های خوراکی بر روی میوه‌ها و سبزی‌ها در طول انبارمانی با کنترل سرعت انتقال رطوبت، شدت تنفس و اکسیداسیون، موجب حفظ کیفیت پس از برداشت و افزایش ماندگاری محصول خواهد شد (Maringgal *et al*., 2020; Guimaraes *et al*., 2018). از جمله پوشش‌های قابل استفاده، سلولز و مشتقات آن است. سلولز فراوان‌ترین منبع پلیمری تجدیدپذیر موجود در طبیعت بوده و به دلیل تجدیدپذیری، هزینه پایین، غیرسمی بودن، زیست سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیری و پایداری شیمیایی آن، به طور گسترده‌ای در تولید فیلم و پوشش‌های خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.ساده‌ترین مشتق سلولز، متیل‌سلولز است. متیل سلولز دارای خواص عالی برای تولید فیلم و پوشش از جمله: حلالیت بالا، نفوذپذیری پایین در برابر اکسیژن و چربی است. (Mohamed *et al*., 2020). فیلم‌ها و پوشش‌های لیپیدی به دلیل قطبیت کم، آبگریزند، بنابراین برای کاهش از دست دادن رطوبت بسیار موثر خواهند بود (Yousuf *et al*., 2021). در میان لیپیدها، موم کارنوبا که یک موم گیاهی است، نقطه ذوب بالا (۸۲–۸۶ درجه سانتی‌گراد) و حلالیت کم دارد. اجزای این موم نسبتاً بی‌اثر و پایدار هستند و می‌توان به طور گسترده در مواد غذایی از آن استفاده کرد. (de Freitas *et al*., 2019).

مطالعات متعددی در زمینه استفاده از پوشش‌های خوراکی مختلف به منظور افزایش کیفیت و زمان ماندگاری پس از برداشت میوه‌های تازه مانند میوه‌ی سیب انجام شده است، از جمله: پوشش کیتوزان و پوشش مرکب کیتوزان حاوی عصاره پوست موز (Zhuang *et al*., 2020)، کیتوزان حاوی آلژینات سدیم (Zhang *et al*., 2019)، ایزوله پروتئین آب پنیر و سیتریک اسید (Azevedo *et al*., 2018)، اسید فرولیک و ایزوله پروتئین سویا (Alves *et al*,. 2017)، کیتوزان حاوی ماده ضدمیکروبی (Khalifa *et al*., 2016)، کربوکسی متیل سلولز، کیتوزان و اسید آسکوربیک (Koushesh and Banin 2016)، موم پارافین (Hayat *et al*., 2015)، اثر سالیسیلیک اسید بر شاخص‌های کیفی سیب گلاب (Hadian-Deljou, and Sarikhani, 2012)، پوشش خوراکی صمغ کتیرا (Jahanshahi *et al*., 2018)، پوشش‌های پلی‌ساکاریدی شنبلیله و بذرکتان (Turhan and Şahbaz, 2004). اگرچه ترکیبی از روش‌های مختلف برای حفظ ویژگی‌های کیفی پس از برداشت میوه‌های تازه استفاده می‌شود، مطالعات محدودی در مورد استفاده از ترکیب پوشش خوراکی به همراه بسته بندی با اتمسفر اصلاح شده انجام شده است. هدف از این مطالعه بررسی تأثیرپوشش‌خوراکی متیل‌سلولز، موم کارنوبا و بسته‌بندی با اتمسفراصلاح شده بر کیفیت و زمان ماندگاری سیب درختی واریته رددلیشز است.

[1] Red Delicious [2] Golden Delicious [3] Modified Atmosphere (MA)

مواد و روش‌ها

- مواد اولیه

سیب درختی قرمز لبنانی واریته رد دلیشز[1] از باغی در مشهد تهیه شد. پودر متیل سلولز، موم کارنوبا از شرکت سیگما آلدریچ، فیلم پلاستیکی سه لایه PE/PA[3]/PE[2] از شرکت تحول کالای نوین تهیه شد. در ضمن سایر مواد شیمیایی مورد نیاز آزمون‌ها از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

- تهیه پوشش متیل سلولز

مقدار ۳ گرم پودر متیل‌سلولز در ۱۰۰ میلی‌لیتر مخلوط آب – اتانول (نسبت ۱ به ۱) حل شده و تحت دمای ۷۵°C به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. سپس گلیسیرول اضافه شده و روی همزن مغناطیسی به مدت ۱۵ دقیقه همزده شد (Turhan and Şahbaz, 2004).

- تهیه پوشش موم کارنوبا

محلول۰/۵درصد وزنی – وزنی موم کارنوبا تهیه و امولسیفایر توئین ۸۰ به آن افزوده شد. محلول به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۵°C (دمای ذوب ترکیبات لیپیدی) روی هیتر شیکر با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه، همزده شد تا کاملا یکنواخت شود (Bai *et al*., 2002).

- پوشش‌دهی، بسته‌بندی و شرایط نگهداری نمونه‌ها

برای پوشش‌دهی ابتدا نمونه‌ها با آب شستشو شده و بعد از خشک شدن با پوشش‌های مختلف پوشش‌دهی شدند. برای پوشش‌دهی از روش غوطه‌وری استفاده گردید. نمونه‌ها به مدت ۳۰ ثانیه در محلول‌های مورد نظر قرار گرفته و سپس در دمای اتاق خشک شد (Shariatifar and Jafarpour, 2013). نمونه‌های پوشش داده شده و همچنین یک نمونه به عنوان شاهد که هیچ گونه تیماری روی آن اعمال نشده بود، در بسته‌های با اتمسفراصلاح شده از جنس فیلم پلاستیکی سه لایه PE/PA/PE با ضخامت ۸۰ میکرون، تحت درصد مشخص گاز (۱– هوای معمولی در بسته منفذدار (نمونه شاهد)، ۲– ۶٪ اکسیژن+ ۴٪ دی اکسید کربن+۹۰٪ نیتروژن و ۳– هوای معمولی در بسته نفوذ ناپذیر، اتمسفر اصلاح شده غیرفعال) به‌وسیله‌ی دستگاه بسته‌بندی مدل هنکلمن[4] ۲۰۰A، بسته‌بندی کرده و نمونه‌ها در دمای ۲°C برای مدت سه ماه نگهداری شدند (۶ عدد میوه در هر بسته‌بندی با ابعاد ۲۵×۳۰ قرار گرفت) (Babich *et al*., 2019).

- آزمون‌ها

- تغییرات وزن

اندازه‌گیری توسط ترازو مدل px3000 ا دقت ۰,۰۱ گرم، انجام شده و برای هر اندازه‌گیری از سه عدد سیب استفاده شد. درصد افت وزن با کمک فرمول زیر محاسبه گردید (Liu *et al*., 2017).

$$\%weight\ loss = \frac{Wf - Ws}{Wf} \times 100$$

%weight loss: درصد افت وزن

W_f: وزن اولیه (گرم)

W_s: وزن ثانویه (گرم)

- سفتی بافت میوه

سفتی نمونه‌های سیب با استفاده از دستگاه تکسچر آنالایزر[5] مدل TA.XT-plus اندازه‌گیری شد. آزمون بافت بر اساس تست نفوذ صورت گرفت. سفتی توسط نیروی لازم پروب استوانه‌ای[6] شکل (به قطر ۵ میلی‌متر) برای نفوذ در برش سیب تا عمق ۵ میلی‌متر و با سرعت ۳/۳ mm/s مشخص گردید. برای هر اندازه‌گیری سه برش سیب استفاده شد (Jo *et al*., 2014).

- مواد جامد محلول (بریکس)

میزان مواد جامد محلول با استفاده از رفرکتومتر دیجیتال مدل PR-101 تعیین شده و مقدار آن برحسب درجه بریکس بیان شد (Jo *et al*., 2014).

- تغییرات رنگ

از روش پردازش تصویر کامپیوتری[7] برای بررسی رنگ استفاده شد. اندازه‌گیری رنگ نمونه با استفاده از مدل L^* b^* a^* CIE (CIE LAB) صورت گرفت. دوربین در فاصله‌ی

[1] *Red Delicious* [2] Polyethylene [3] Polyamid [4] Henkelman 200A
[5] Texture Analyzer [6] Cylinder probe [7] Computer Vision System (CVS)

۳۰ سانتی‌متری نمونه‌ها و موازی با آن‌ها روی پایه ثابت شده و سپس دوربین با پورت USB به رایانه متصل شده و تصویربرداری با نرم‌افزار ZoomBrowser EX 5.0 انجام گرفت. تصاویر گرفته شده با فرمت JPEG ذخیره و توسط نرم‌افزار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Yam and Papadakis, 2004).

- تغییرات درصد ترکیب گازی بسته بندی

محتوی گاز بسته‌ها از جنبه تغییرات اکسیژن و دی‌اکسیدکربن توسط دستگاه گاز آنالایزر[1] (Gases analysers model oxybaby, WITT company Germany) اندازه‌گیری شد (Hyun and Lee, 2018). میزان اکسیژن و کربن دی اکسید بسته‌ها در طی نگهداری یا همان تنفس ظاهری اندازه گیری شد.

- تجزیه و تحلیل آماری

آزمون‌ها در قالب طرح پایه‌ی کاملا تصادفی با استفاده از طرح فاکتوریل با سه نوع پوشش متیل‌سلولز (۳٪)، موم کارنوبا (۰/۵٪) و فاقد پوشش (۰٪) و سه نوع بسته‌بندی (منفذدار،MAP فعال وMAP غیرفعال)، سه زمان نگهداری (ماه اول، دوم و سوم) و در سه تکرار انجام شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس توسط نرم‌افزار Minitab 16 و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون توکی و در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 رسم شدند.

یافته‌ها

- سفتی بافت میوه

شکل ۱، اثر متقابل نوع پوشش خوراکی و زمان نگهداری بر میزان سفتی بافت سیب را نشان می‌دهد. نتایج نشان داده شده در شکل ۱ بیان می‌کند که با گذشت زمان سفتی بافت نمونه‌های سیب کاهش یافت و این کاهش، در نمونه‌های بدون پوشش بیشتر بود. نمونه‌های پوشش داده شده نسبت به نمونه‌های بدون پوشش، سفتی بافت خود را بهتر حفظ کردند، به طوری‌که در پایان زمان نگهداری نمونه‌ها بیشترین سفتی (gr) ۹۵۸/۲ مربوط به نمونه با پوشش متیل‌سلولز و پس از آن پوشش موم کارنوبا با میزان (gr)۹۴۵/۴ و کمترین سفتی (gr)۷۸۰/۲ مربوط به نمونه بدون پوشش (شاهد) بود. اثر نوع بسته‌بندی بر میزان سفتی بافت نشان داد که نمونه‌های بسته‌بندی هوای معمولی (منفذدار) در طی دوره انبارمانی، سفتی کمتری نسبت به دو نوع بسته‌بندی دیگر داشتند (شکل ۲). شکل ۳، نشان می‌دهد که بیشترین سفتی (gr)۱۱۴۴/۰ مربوط به نمونه با پوشش متیل‌سلولز و بسته‌بندی MAP فعال بود. کمترین میزان سفتی (gr)۹۹۵/۴ را نیز نمونه بدون پوشش(شاهد) با بسته‌بندی هوای معمولی داشت.

تغییرات وزن

شکل ۴، اثر متقابل نوع پوشش‌خوراکی و نوع بسته‌بندی در طی زمان انبارمانی بر میزان افت وزن نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۴- A مشخص است، در طی زمان انبارمانی افت وزن افزایش یافته ولی تا ماه دوم نگهداری، تفاوت معنی‌داری میان پوشش‌ها وجود نداشت، اما در پایان ماه سوم بیشترین (۷/۶) وکمترین (۴/۷) درصد افت وزن به ترتیب مربوط به نمونه بدون پوشش و نمونه با پوشش متیل‌سلولز بود. در مورد نوع بسته‌بندی نیز همان‌طور که در شکل ۴- B، مشخص است، در پایان زمان نگهداری، نمونه‌های بسته‌بندی شده در بسته‌ی هوای معمولی (منفذدار) بیشترین (۷/۲) و نمونه‌های بسته‌بندی شده در MAP فعال کمترین درصد افت وزن را داشتند.

- مواد جامد محلول (بریکس)

در پایان زمان نگهداری نمونه‌ها به ترتیب نمونه بدون پوشش (شاهد) دارای بیشترین بریکس (۱۷/۲) و نمونه با پوشش موم کارنوبا (۱۶/۱) دارای کمترین میزان بریکس بود. همان‌گونه که در شکل ۵- A، مشخص است، در طی زمان انبارمانی میزان بریکس تمام پوشش‌ها در طی زمان افزایش یافته و این افزایش در نمونه‌های بدون پوشش (شاهد) بیشتر است. در بین سایر پوشش‌ها نیز، پوشش موم کارنوبا دارای کاهش بریکس کمتری در پایان زمان نگهداری بود. شکل ۵- B، نشان می‌دهد که نمونه‌های بسته‌بندی شده در هوای‌معمولی (بسته‌ی منفذدار) بریکس بالاتری نسبت به نمونه‌های دو نوع بسته‌بندی دیگر داشتند. با گذشت زمان نگهداری میوه‌ها، بریکس نمونه‌های بسته‌بندی شده در این

[1] Gas Analyser

نوع بسته‌بندی افزایش بیشتری داشت.

- تغییرات رنگ

نتایج نشان داد که در طی زمان انبارمانی به طور پیوسته میزان a^* در تمام نمونه‌ها کاهش یافت. از لحاظ فاکتور a^* بین نمونه بدون پوشش (شاهد) و نمونه‌های پوشش‌دار تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت. در پایان زمان نگهداری بیشترین میزان a^* مربوط به نمونه شاهد (۳۸/۵) و کمترین میزان آن مربوط به پوشش متیل‌سلولز (۳۰/۸) بود. شکل (۶) اثر پوشش خوراکی بر میزان a^* در طی زمان نگهداری سیب را نشان می‌دهد.

بررسی نتایج نشان داد به طـور کلـی روشـنایی رنگ سیب واریته رددلیشز بر حسب سفیدی - سیاهی در طول زمان نگهداری کاهش می‌یابد. میزان روشنایی سیب پوشش‌دار با شدت و مقدار کمتری نسبت به نمونه شاهد افت نمود. همانطور که شکل A ۸ نشان می‌دهد، در تمامی نمونه‌ها میزان L^* در پایان زمان انبارمانی کاهش یافت. در تمام طول مدت انبارمانی سیب‌ها، میزان L^* نمونه‌های پوشش‌دار بیشتر از نمونه‌های شاهد است. پس از تنفس فرازگرا، میزان L^* در نمونه‌های شاهد کاهش پیدا کرد و به (۱۹/۲) رسید، در حالیکه در نمونه‌های دارای پوشش متیل سلولز به (۲۵/۶) رسید. اثر نوع بسته‌بندی بر میزان L^* نمونه‌ها نشان داد که دونوع بسته‌بندی MAP غیرفعال و MAP فعال موجب کاهش روشنایی (تیرگی) سیب‌ها شدند. در پایان زمان نگهداری بیشترین میزان L^* (۲۷/۴) مربوط به بسته‌بندی منفذدار بود. در این نوع بسته‌بندی به دلیل وجود منافذ اشکالی در تنفس میوه‌ها به وجود نیامد. (Liu *et al*., 2010; Li *et al*., 2014)

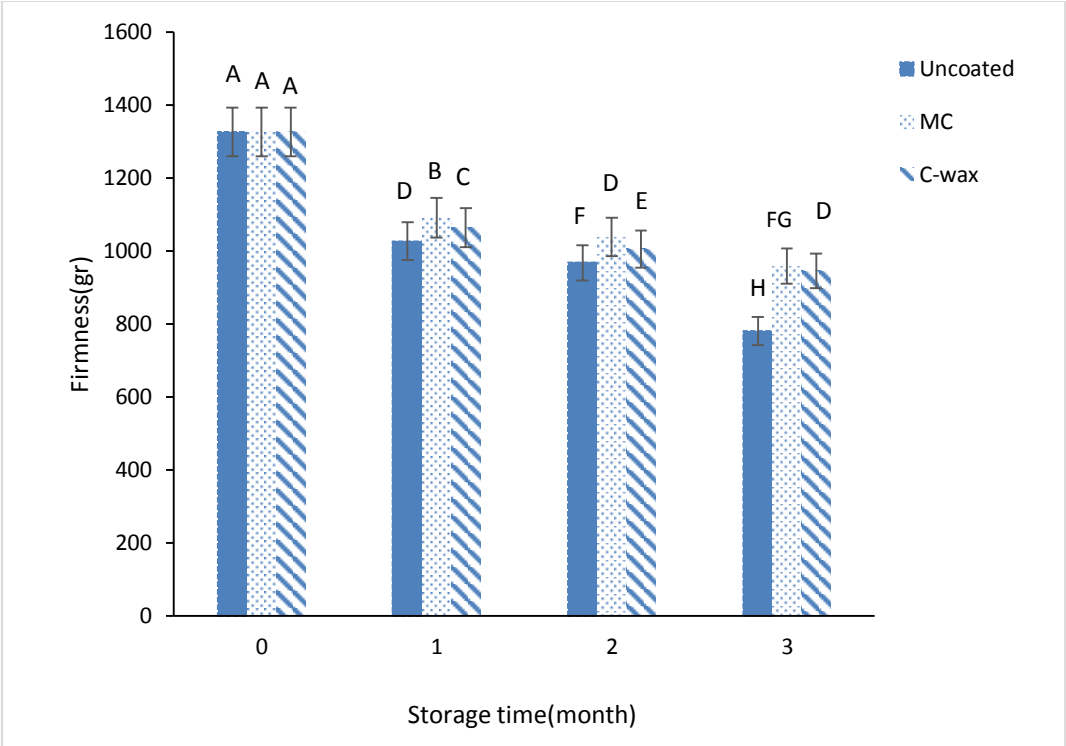


Figure 1- Effect of Edible coating on the firmness of *Red Delicious* apple stored 3 months at 2°C and 85% RH, (Uncoated: control, MC: Methylcellulose, C-wax: Carnauba Wax). Data (mean ± SE) with different letters are significantly different (p<0.05).

شکل ۱- اثر متقابل پوشش خوراکی و زمان نگهداری بر میزان سفتی بافت سیب قرمز لبنانی در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪

اثر مستقل انواع پوشش و زمان نگهداری(به طور کلی، صرف نظر از نوع بسته بندی)

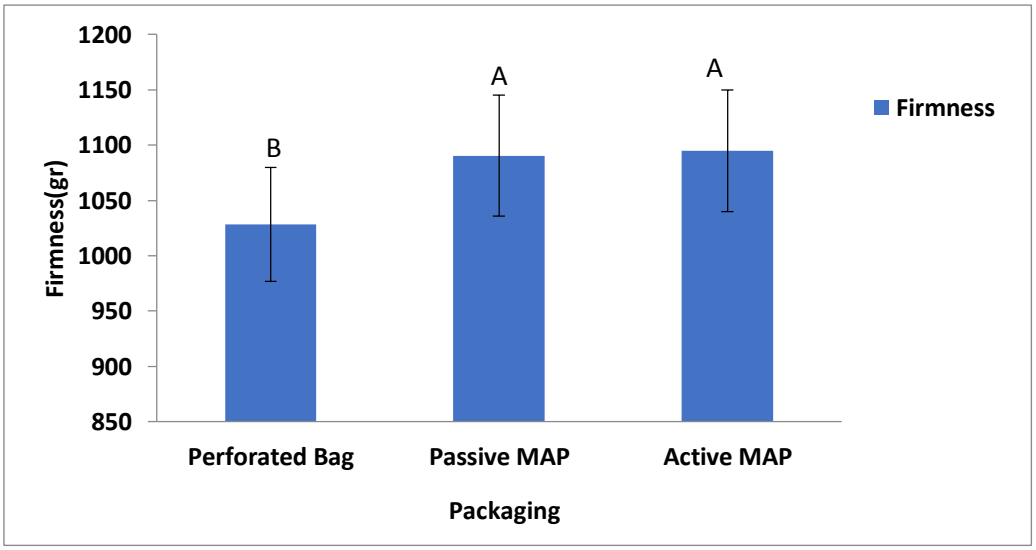


Figure 2- Effect of packaging on the firmness of *Red Delicious* apple stored 3 months at 2°C and 85%RH. Data (mean ± SE) with different letters are significantly different (p<0.05).

شکل۲ – اثر بسته بندی بر میزان سفتی بافت سیب قرمز لبنانی در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪

اثر مستقل بسته بندی (به تنهایی و صرف نظر از نوع پوشش‌ها)

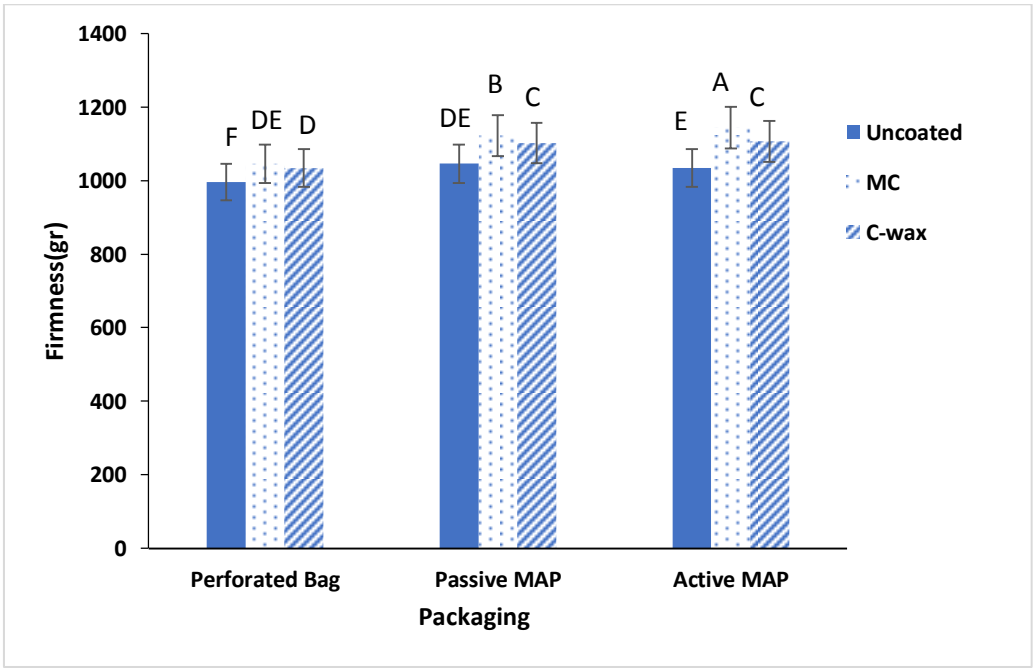
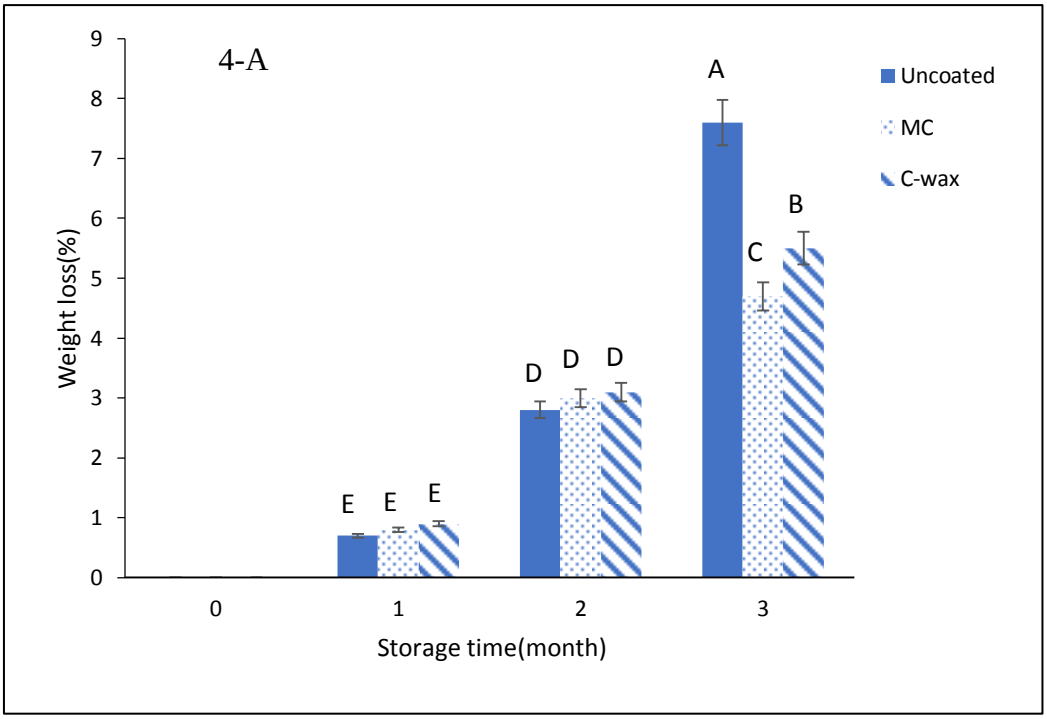


Figure 3- Interaction of edible coating and packaging on the firmness of *Red Delicious* apple stored 3 months at 2°C and 85%RH. (Uncoated: control, MC: Methylcellulose, C-Wax: carnauba wax). Data (mean ± SE) with different letters are significantly different (p<0.05).

شکل۳ – اثر متقابل پوشش خوراکی و بسته بندی بر میزان سفتی بافت سیب قرمز لبنانی در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪



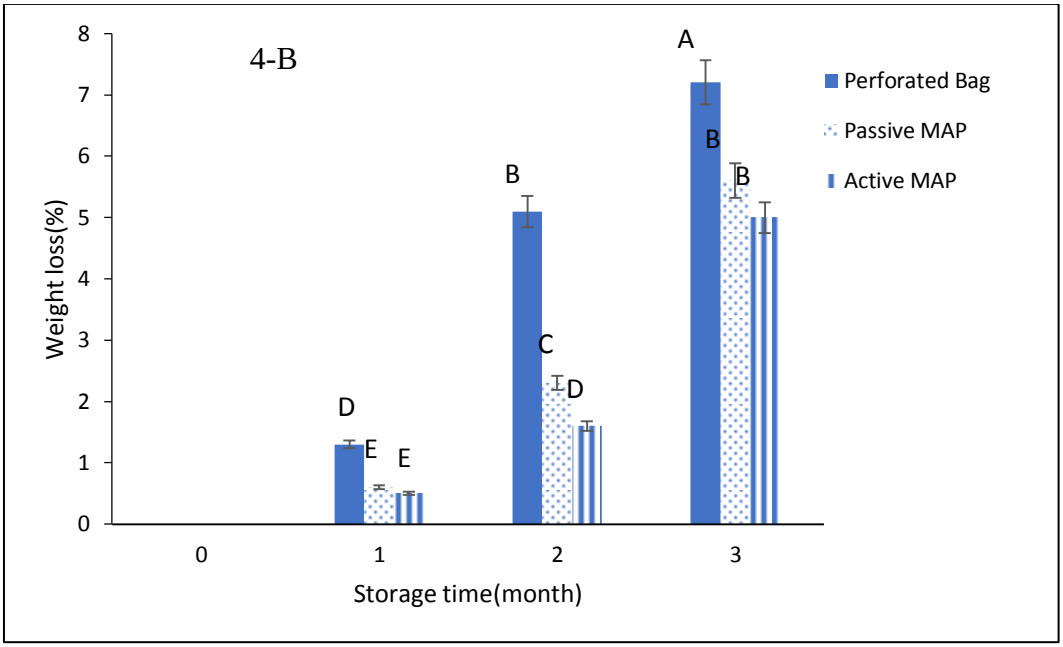
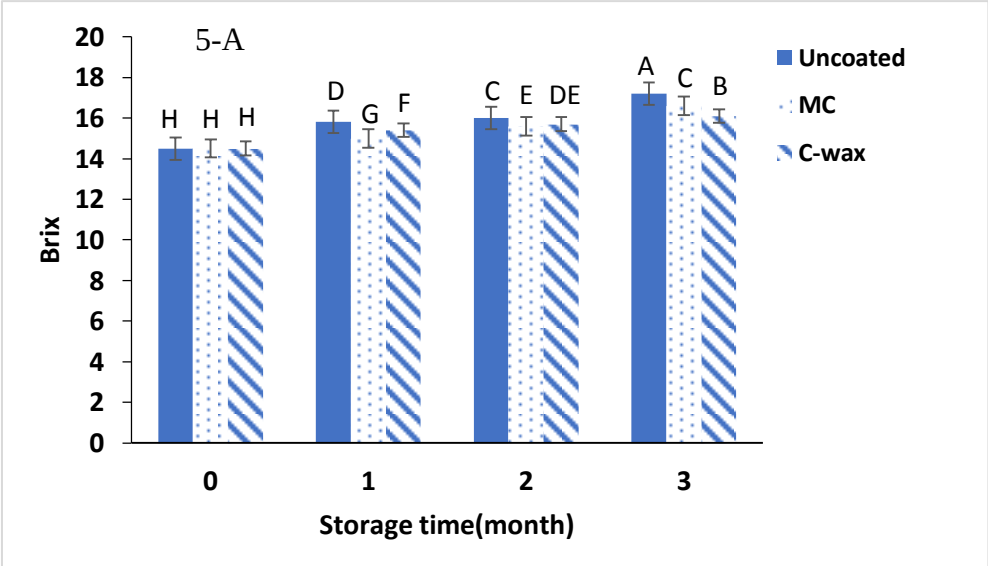


Figure 4- Effect of (A) Edible coating (B) Packaging on the Weight loss of *Red Delicious* apple stored 3 months at 2°C and 85% RH, (Uncoated: control, MC: Methylcellulose, C-wax: Carnauba Wax). Data (mean ± SE) with different letters are significantly different (p<0.05).

شکل ٤- اثر (A) پوشش خوراکی و (B) بسته بندی بر میزان افت وزن بافت سیب قرمز لبنانی طی نگهداری در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪



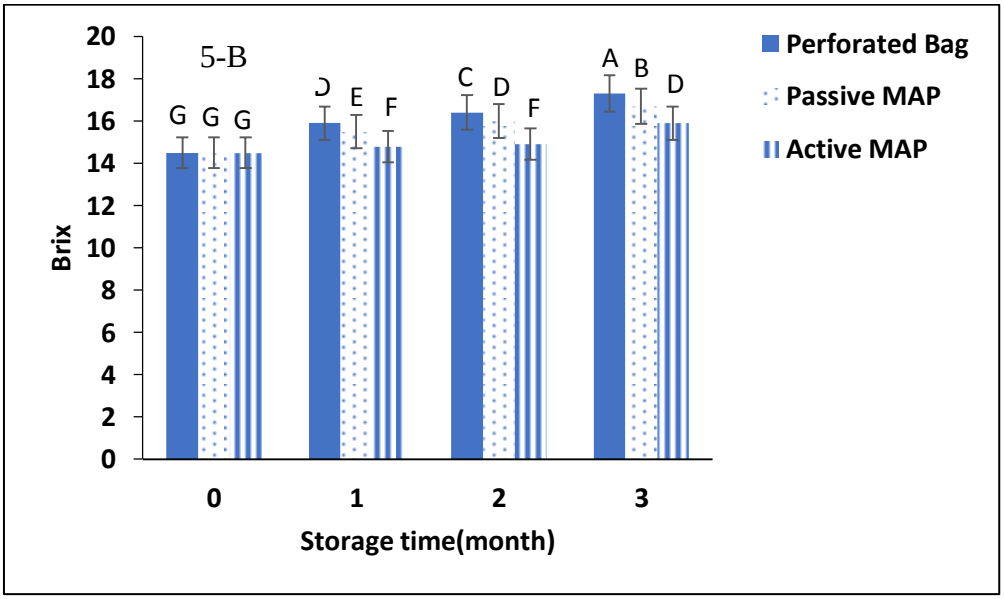


Figure 5- Effect of (A) Edible coating (B) Packaging on the Brix of Red Delicious apple stored 3 months at 2°C and 85% RH, (Uncoated: control, MC: Methylcellulose, C-wax: Carnauba Wax).
Data (mean ± SE) with different letters are significantly different (p<0.05).

شکل ۵- اثر (A) پوشش خوراکی و (B) بسته بندی بر میزان مواد جامد محلول سیب قرمز لبنانی طی نگهداری در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪

در طی زمان نگهداری نمونه‌ها میزان b^* افزایش داشت. اثر نوع پوشش خوراکی بر میزان b^* نشان داد که در پایان زمان نگهداری کمترین میزان b^* (۳۰/۶) متعلق به پوشش متیل‌سلولز و بیشترین (۵۳/۹) مربوط به نمونه بدون پوشش بود. بررسی نتایج نشان داد که اثر پوشش خوراکی بر فاکتور ΔE^* نمونه‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. با گذشت زمان تغییرات رنگ افزایش می‌یابد. نمونه‌های بدون پوشش (شاهد) نسبت به نمونه‌های پوشش‌دار بیشترین میزان تغییر رنگ را داشتند. پوشش‌دهی موجب کاهش تغییرات رنگ نمونه‌ها در طی مدت زمان نگهداری شد. بیشترین تأثیر را پوشش متیل‌سلولز داشت. در پایان زمان نگهداری نمونه‌ها بیشترین (۹۵/۶) و کمترین (۸۳/۵) میزان تغییرات رنگ به ترتیب مربوط به نمونه بدون پوشش (شاهد) و پوشش متیل‌سلولز بود. در مورد اثر بسته‌بندی بر

تغییرات ΔE نمونه‌ها، مشخص شد که بیشترین تغییرات رنگ (۹۱/۸) مربوط به بسته‌بندی MAP فعال و کمترین تغییرات ΔE (۷۳/۶) را بسته‌بندی هوای معمولی داشت.

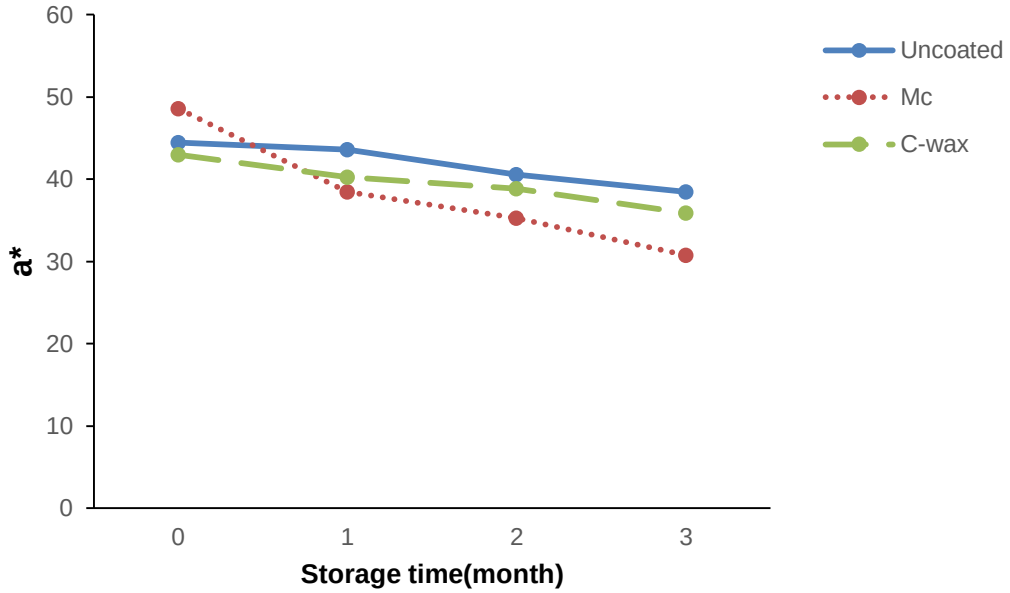


Figure 6- Effect of Edible coating (a^*) *Red Delicious* apple stored 3 months at 2°C and 85% RH, (Uncoated: control, MC: Methylcellulose, C-wax: Carnauba Wax).
Data (mean ± SE) with different letters are significantly different (p<0.05).

شکل ٦- اثر پوشش خوراکی بر میزان a^* سیب قرمز لبنانی طی نگهداری در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪

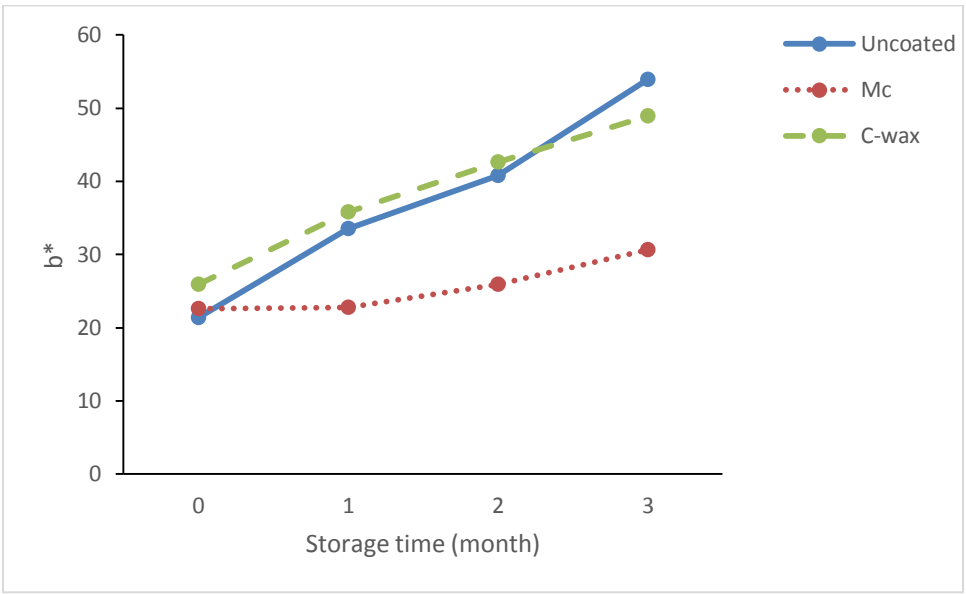
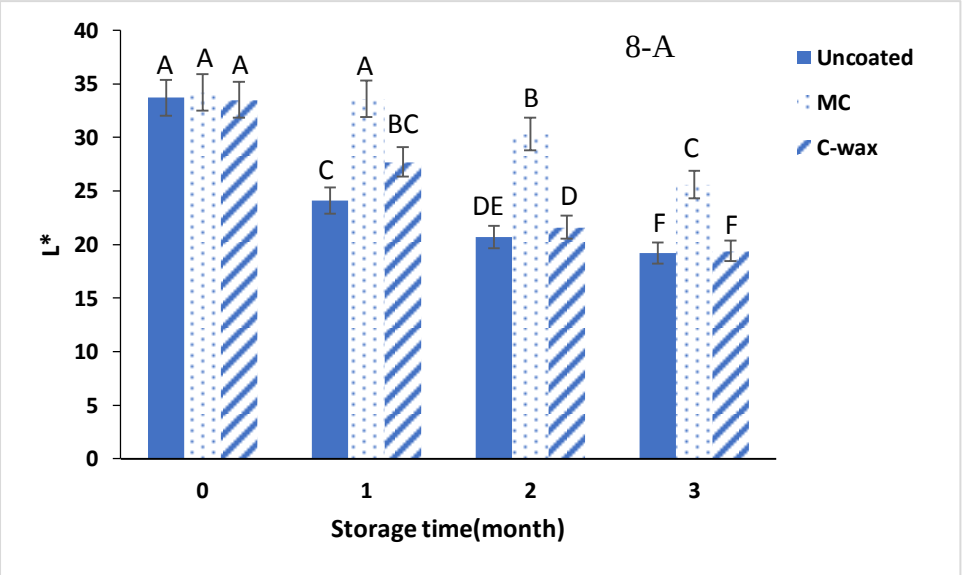


Figure 7- Effect of Edible coating (b^*) *Red Delicious* apple stored 3 months at 2°C and 85% RH, (Uncoated: control, MC: Methylcellulose, C-wax: Carnauba Wax).
Data (mean ± SE) with different letters are significantly different (p<0.05).

شکل ۷ - اثر پوشش خوراکی بر میزان b^* سیب قرمز لبنانی طی نگهداری در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪



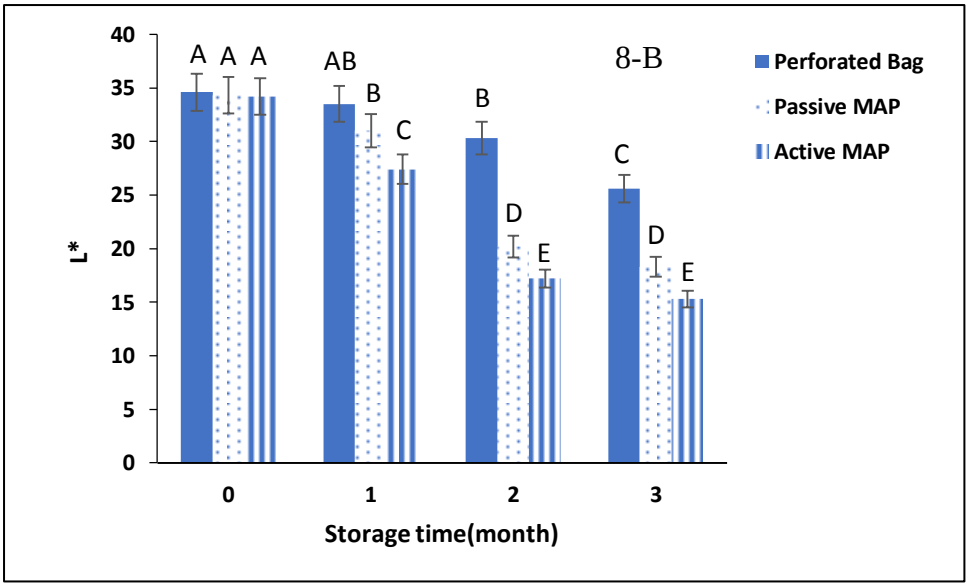


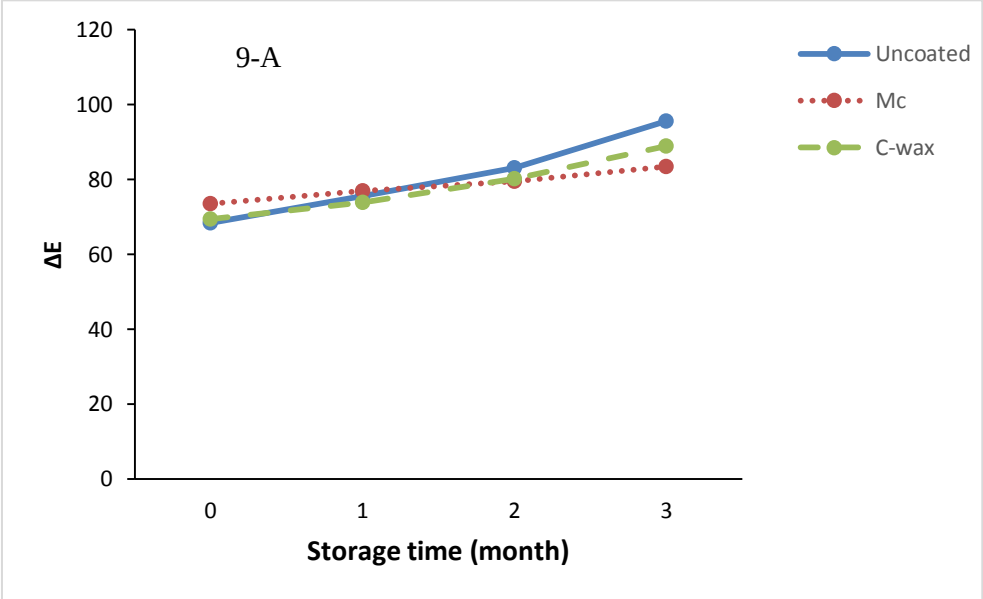
Figure 8- Effect of (A) Edible coating (B) Packaging on the amount of (L^*) *Red Delicious* apple stored 3 months at 2°C and 85% RH, (Uncoated: control, MC: Methylcellulose, C-wax: Carnauba Wax). Data (mean ± SE) with different letters are significantly different ($p<0.05$).

شکل ۸- اثر (A) پوشش خوراکی و (B) بسته بندی بر میزان L^* سیب قرمز لبنانی طی نگهداری در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪

- تغییرات درصد ترکیب گازی بسته بندی

شکل ۱۰، تغییرات میزان کربن‌دی‌اکسید و اکسیژن بسته‌ها در طی زمان نگهداری نمونه‌ها را نشان می‌دهد. در طی زمان نگهداری، با گذشت زمان میزان کربن‌دی‌اکسید افزایش و بر عکس میزان اکسیژن کاهش یافت. در بسته‌های با اتمسفراصلاح شده فعال و غیرفعال میزان اکسیژن تمام بسته‌ها در ماه اول نگهداری به پایان رسید. پس از آن تنفس بی‌هوازی نمونه‌ها آغاز شد. با تنفس بی‌هوازی، فعالیت‌های متابولیک متوقف شده، رنگ نمونه‌ها در زمان‌های بعد به تیرگی متمایل گردید. بسته‌های MAP غیرفعال نسبت به MAP فعال افزایش کربن‌دی‌اکسید بیشتری داشتند. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که این بسته‌ها (MAP غیرفعال) از ابتدا دارای میزان CO_2 بیشتری نسبت به بسته‌های MAP فعال بودند. بیشترین میزان درصد کربن‌دی‌اکسید (۲۸/۱) مربوط به نمونه بدون پوشش (شاهد) و کمترین میزان آن (۲۳/۷) مربوط به نمونه

با پوشش متیل‌سلولز بود (شکل۱۱– A). با توجه به اینکه میوه ها در دمای ۲ درجه سانتی گراد نگهداری میشدند و بررسی منابع مشابه و قبلی ، انجام آزمون ها ماهانه صورت گرفت. شرایط تخمیری برای نگهداری مطلوب نیست و در قسمت بحث ها توضیح داده شده که مقادیر گاز استفاده شده در دونوع بسته بندی فعال و غیرفعال در این بررسی و برای این نوع میوه مناسب نبود



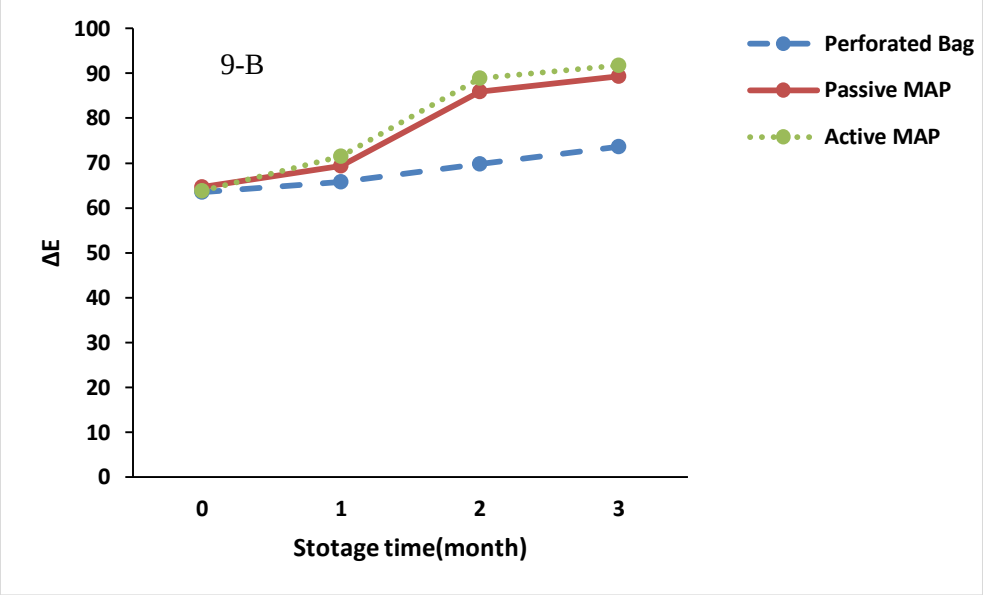


Figure 9- Effect of (A) Edible coating (B) Packaging on the amount of (ΔE) *Red Delicious* apple stored 3 months at 2°C and 85% RH, (Uncoated: control, MC: Methylcellulose, C-wax: Carnauba Wax). Data (mean ± SE) with different letters are significantly different (p<0.05).

شکل ۹- اثر (A) پوشش خوراکی و (B) بسته بندی بر میزان ΔE سیب قرمز لبنانی طی نگهداری در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪

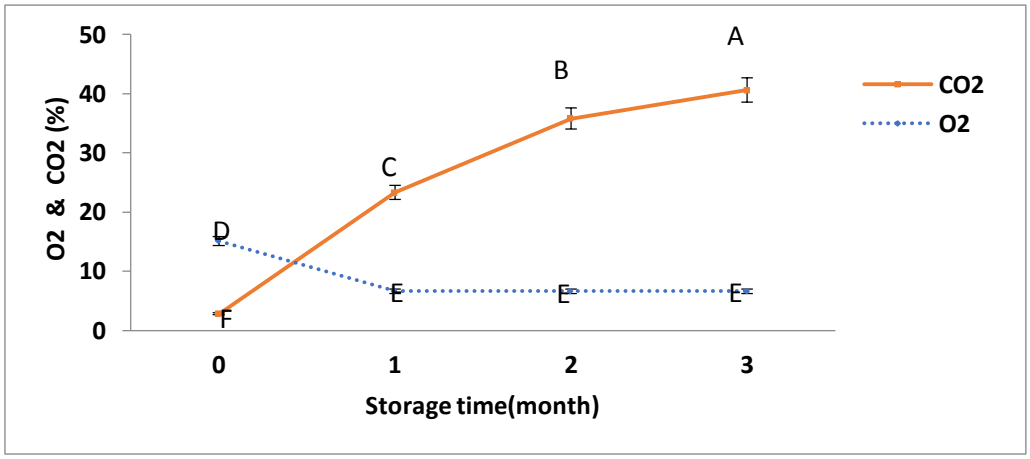
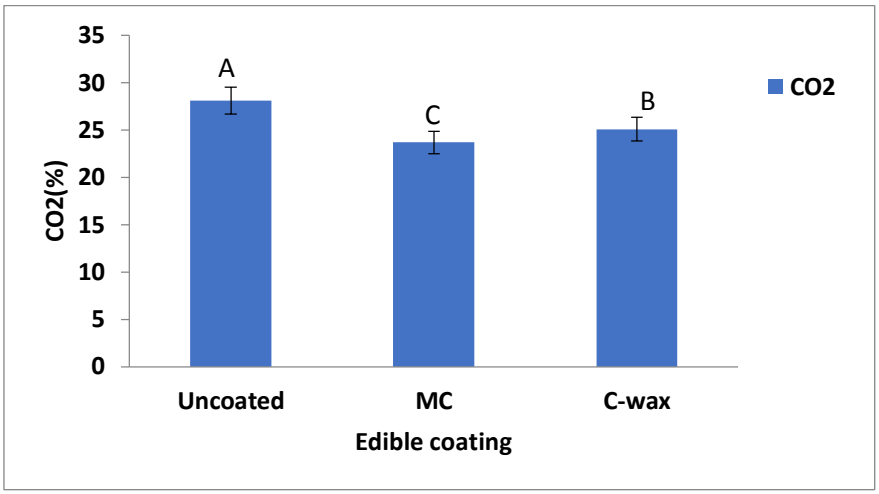


Figure 10- CO_2 and O_2 change of *Red Delicious* apple stored 3 months at 2°C and 85%RH, (CO_2: carbon dioxide, O_2: oxygen).

Data (mean ± SE) with different letters are significantly different (p<0.05).

شکل ۱۰- درصد تغییرات اکسیژن و دی اکسید کربن در بسته بندی سیب قرمز لبنانی، طی سه ماه نگهداری در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪

11-A



11-B

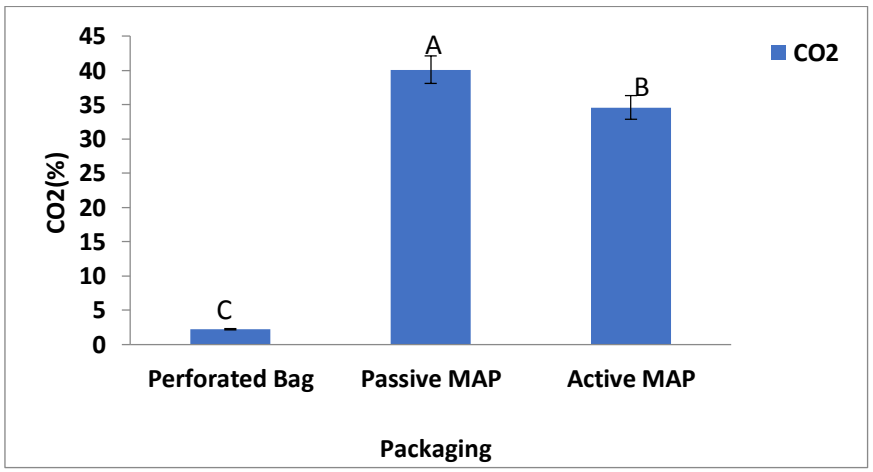


Figure 11- Effect of (A) Edible coating (B) packaging on CO_2 Percentage of *Red Delicious* apple stored 3 months at 2°C and 85% RH, (Uncoated: control, MC: Methylcellulose, MC-WAX: Methylcellulose-carnauba wax). Data (mean ± SE) with different letters are significantly different (p<0.05).

شکل ۱۱- اثر (A) پوشش خوراکی و (B) بسته بندی بر میزان دی اکسید کربن بسته های سیب قرمز لبنانی در دمای ۲°C و رطوبت نسبی ۸۵٪

بحث

- سفتی بافت میوه

سفتی میوه نقش کلیدی در پذیرش مشتری دارد. کاهش سفتی سیب در طی انبارمانی به دلیل از دست دادن آب و پیری است (Ahmadi-Afzadi *et al*., 2013). در طی انبارمانی به تدریج پکتین نامحلول میوه توسط آنزیم سلولاز به پکتین محلول تجزیه می‌شود، بنابراین، گوشت میوه (پالپ) سست شده و استحکام آن کاهش می‌یابد (Liu *et al*., 2017). هر عاملی که بتواند تنفس میوه را کند نماید، می‌تواند موجب حفظ یکپارچگی آن شود و در نتیجه سفتی بافت بهتر حفظ خواهد شد (Qian *et al*., 2019). در میوه‌های دارای پوشش احتمالا به دلیل استفاده از پوشش، تنفس و اتلاف رطوبت کاهش یافته و بافت سفتی خود را بهتر حفظ کرده است (Chen *et al*., 2020). استفاده از هر دو نوع پوشش، نقش مؤثری در حفظ سفتی بافت نمونه پوشش داده شده، نسبت به نمونه‌های بدون پوشش (شاهد) داشت که به احتمال زیاد در اثر تخریب و یا کاهش اتیلن تولید شده توسط میوه می‌باشد، زیرا در صورت حذف اتیلن، آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی تحریک نشده و سفتی دیواره سلولی تا حدی حفظ می‌شود (Sardabi *et al*., 2013). همچنین در مدت انبارمانی میوه، کاهش مقدار آب باعث کاهش فشار تورژسانس سلولی و کاهش سفتی بافت میوه خواهد شد (Khosh Gardesh *et al*., 2016). یافته‌های حاصل از این تحقیق مشابه گزارش‌های ارائه شده توسط Rocha و همکاران (۲۰۰۴) بود.

پوشش متیل‌سلولز به دلیل کند کردن تنفس و بسته‌بندی MAP فعال نیز به دلیل عدم وجود منافذ و در نتیجه تنفس کمتر، موجب حفظ بهتر سفتی بافت شدند. نتایج به‌دست آمده با یافته‌های Thakur و همکاران (۲۰۱۹) و Rashid و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت داشت. اما در مطالعات دیگر نشان داده شد که پوشش خوراکی برپایه‌ی نانوامولسیون کیتوزان اثر معنی‌داری بر سفتی بافت میوه سیب ندارد (Khosh Gardesh *et al*., 2016) و در مطالعه‌ای دیگر نیز محققان مشاهده کردند که سفتی بافت سیب پوشش داده شده با پوشش شلاک–کارنوبا و همین پوشش همراه با نوعی روغن در حین نگهداری تغییر نکرد (Jo *et al*., 2014)، که این یافته‌ها با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مغایرت داشت.

- تغییرات وزن

افت وزن محصولات تازه عمدتا به دلیل کاهش رطوبت و املاح ناشی از فرآیندهای تبخیر و تنفس در این نوع محصولات می‌باشد (Cosme Silva *et al*., 2017). کاهش وزن کمتر در نمونه‌های دارای پوشش متیل‌سلولز احتمالاً به دلیل کاهش فرآیندهای متابولیک فعال، تعرق، تبخیر آب و تنفس است که میزان چروکیدگی و افت کیفیت را کاهش می‌دهد (Guerreiro *et al*., 2017). به کارگیری پوشش بر سطح میوه باعث می‌شود پوشش به صورت یک مانع نیمه نفوذپذیر در برابر اکسیژن و کربن‌دی‌اکسید، رطوبت و حرکت حلال عمل کرده، به همین دلیل باعث کاهش افت وزن در طی انبارمانی و حمل و نقل خواهد شد (Joshi *et al*., 2017; Petriccione *et al*., 2015). مکانیسم این تغییرات مثبت بر اساس ویژگی‌های هیگروسکوپیک است که باعث ایجاد مانعی در برابر انتشار رطوبت بین محیط و میوه شده و این امر از انتقال رطوبت جلوگیری می‌کند (Morillon *et al*., 2002).

تفاوت در میزان توانایی پوشش‌ها در جلوگیری از کاهش وزن، مربوط به نفوذپذیری متفاوت پوشش‌ها به بخارآب می‌باشد (Vargas *et al*., 2008). این نتایج با نتایج مطالعات دیگر که تأثیر پوشش را در کم کردن افت وزن میوه‌ی سیب نشان داده‌اند؛ مانند استفاده از پوشش شنبلیله و بذرکتان (Rashid *et al*., 2020)، پوشش نانوکامپوزیت (Liu *et al*., 2017) و پوشش ۱- متیل سیکلو پروپن (Chen *et al*., 2020)، تطابق دارد. بیشتر بودن میزان افت وزن درنمونه‌های بسته‌بندی شده در هوای معمولی، احتمالا به دلیل وجود منفذ در این نوع بسته‌بندی و اتلاف رطوبت و تنفس بیشتر نمونه‌ها نسبت به دو نوع بسته‌بندی دیگر است. پژوهش‌های قبلی نیز نشان دهنده تاثیر مثبت پوشش و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده در کاهش وزن میوه‌ها و سبزی‌ها مانند کیوی (Mastromatteo *et al*., 2011)، قارچ (Ban *et al*., 2014) و هویج (Leceta *et al*., 2015) هستند.

- مواد جامد محلول (بریکس)

قسمت اعظم مواد جامد محلول در میوه شامل قندها و درصد کمی نیز شامل اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی، ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشد. میزان مواد جامد محلول، در طی زمان انبارمانی با گذشت زمان و افت رطوبت معمولاً افزایش می‌یابد (De León-Zapata *et al*., 2018; Liu *et al*., 2017). کاهش بریکس کمتر در نمونه پوشش موم کارنوبا می‌تواند به دلیل عدم تنفس مناسب در این نوع پوشش باشد (Chen *et al*., 2020). سطح پایین مواد جامد محلول در میوه‌های پوشش داده شده به این دلیل بود که پوشش‌ها با تشکیل یک لایه روی سطح میوه، فضای میوه را اصلاح کرده و موجب به تأخیر افتادن روند تخریب می‌شوند و همچنین با جلوگیری از تبادل گاز، میزان تنفس را کاهش می‌دهند (Bilawal *et al*., 2017). میزان مواد جامد محلول هنگام رسیدن میوه به علت شکسته شدن کربوهیدرات پلیمری به مولکول‌های کوچکتر محلول در آب، افزایش می‌یابد. با گذشت زمان مقدار آب میوه کم شده (تبخیر آب) و در نتیجه موادجامدمحلول در میزان آب کمتری قرار می‌گیرد که منجر به افزایش مواد جامد محلول می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت افزایش مواد جامد محلول با میزان افت وزن میوه که بر اثر از دست دادن آب میوه می‌باشد رابطه مستقیم دارد (Shah *et al*., 2015).

افزایش بیشتر مواد جامد محلول نمونه‌های بسته‌بندی شده در هوای‌معمولی (بسته‌ی منفذدار)، احتمالا به دلیل تنفس بیشتر این نمونه‌ها (به دلیل منفذدار بودن بسته‌بندی) بود. افزایش مواد جامد محلول در طی زمان نگهداری در مطالعات Chen و همکاران ۲۰۲۰ و Li و همکاران ۲۰۱۷ نیز گزارش شده است. با این وجود نتایج حاصل از تحقیق حاضر با مشاهدات Selcuk و Erkan (۲۰۱۴) و Javanmard درسال ۲۰۱۱ مشابه نبود. آنها نشان دادند که استفاده از پوشش خوراکی و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده موجب کاهش مواد جامد محلول کل در پایان دوره نگهداری خواهد شد.

- تغییرات رنگ

پوشش‌دهی میوه‌های سیب واریته رددلیشز، موجب کاهش تغییرات رنگ نمونه‌ها در طی مدت زمان نگهداری شد. این امر می‌تواند به دلیل عملکرد پوشش‌ها در جلوگیری از تنفس و تعرق نمونه‌ها، تأخیر در فعالیت متابولیک آن‌ها و در نتیجه کاهش تغییرات رنگ نمونه‌های دارای پوشش باشد (Velickova *et al*., 2013; Rocha *et al*., 2004). کاهش میزان a^* در طی زمان نگهداری سیب می‌تواند به دلیل تخریب آنتوسیانین میوه باشد.در پایان زمان نگهداری میوه‌های پوشش‌دار میزان کاهش a^* کمتری داشتند. این امر نشان می‌دهد که پوشش موجب تأخیر در تغییر رنگ سیب به قرمز شده است. پوشش‌ها با جلوگیری از تنفس و تعرق نمونه‌ها، فعالیت متابولیک آن‌ها را به تأخیر انداخته و این امر موجب می‌شود ظهور رنگ قرمز در سیب به تعویق افتاده و پس از ظهور رنگ قرمز، این رنگ مطلوب برای مدت بیشتری پایدار بماند. باریوس وهمکاران نیز بیان کردند تغییرات میزان a^* می‌تواند به علت از دست دادن آب زیاد باشد، و کاهش a^* را به تخریب رنگدانه نسبت دادند (Barrios *et al*., 2014). به دلیل کاهش تنفس و فعالیت متابولیک نمونه‌های پوشش‌دار و در نتیجه کاهش تخریب رنگ، در انتهای زمان انبارمانی، میزان a^* نمونه‌های پوشش‌دار بیشتر از نمونه‌های شاهد بود. مطالعه علی و همکاران (۲۰۲۰) نیز نتایج حاصل از مطالعه حاضر را تایید می‌کند، آنها بیان کردند که تخریب رنگ سیب‌های قرمز پوشش داده شده، نسبت به سیب‌های بدون پوشش در طی ۳۰ روز نگهداری کمتر بود (Ali *et al*., 2020). اما نتایج حاصل از پژوهش حاضر برخلاف مطالعه Radi و همکاران (۲۰۱۷) بود آن‌ها بیان کردند که مولفه a^* در نمونه‌های پوشش‌دار و بدون پوشش معنی‌دار نیست. همچنین برخی محققین (Serradilla *et al*., 2012; Mozetič *et al*., 2004 Gonçalves *et al*., 2007) افزایش میزان a^* را در طی دوره رسیدگی بیان کرده‌اند. کاهش میزان L^* در طی مدت نگهداری، با مطالعات Benitez و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشت. این کاهش می‌تواند به دلیل تیره شدن میوه هنگام انبارمانی باشد که در مطالعات انجام شده در مورد میوه سیب و آتمویا (Fante *et al*., 2014; Serradilla *et al*., 2012; Mozetič *et al*., 2004; Gonçalves *et al*., 2007) نیز تایید شده است نتایج مشابهی برای سیب گلاب با پوشش نانو کیتوزان و همچنین برش‌های سیب قرمز با پوشش زانتان مشاهده شد (Khosh Gardesh *et al*., 2016).

کاهش روشنایی سیب‌ها در دو نوع بسته‌بندی MAP غیرفعال وMAP فعال می‌تواند به علت کمبود اکسیژن در این نوع بسته‌ها و شروع تنفس بی‌هوازی در آن‌ها باشد. وقتی که غلظت های O_2 و CO_2 خیلی پایین یا خیلی بالا باشد، به دلیل تحریک تنفس بی‌هوازی ترکیبات نامحلولی ایجاد می‌گردد، این ترکیبات باعث ایجاد رنگ در میوه خواهند شد، این امر موجب کاهش روشنایی در این دو نوع بسته‌بندی شده است. آسیب به رنگ محصول تحت شرایط MAP توسط Ghidelli و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش شده است. Sanchis و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که با استفاده از بسته بندی MAP و پوشش خوراکی برای برش‌های میوه خرمالو در طی زمان نگهداری L^* و a^* آن‌ها به ترتیب افزایش و کاهش یافت.

نتایج حاصل از این بررسی با نتایج تحقیق Sedaghat و Vahedi (۲۰۱۵) وVelickova و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. آنان دریافتند کـه با گذر زمان به زردی نمونه‌های افزوده می‌شود که این زردی در پارامتر b^* نمایان می‌شود. Garosi و همکاران، (۲۰۱۱) بیان کردند که هیچ اختلاف معنی‌داری در میزان روشنی (L^*) زردآلوهای پوشش داده شده و پوشش نداده وجود نداشت و این میزان در زردآلوهای پوشش نداده بیشتر بود. آن‌ها هم‌چنین بیان کردند که پوشش‌ها در کاهش میزان b^* نمونه‌ها اثری نداشتند. این می‌تواند به علت بازدارندگی از تجزیه کلروفیـل و یا کاهش ترکیب آنتوسیانین‌ها و یا کاروتنوئیدها باشد. پوشش‌دهی نمونه‌ها به طور موثری سبب کاهش تغییرات رنگ شد. نتایج گرفته شده در این تحقیق با نتایج Sadeghipour و همکاران، (۲۰۱۲) مطابقت داشت. آنها بیان کردند که پوشش‌دهی گوجه‌فرنگی با متیل‌سلولز، باعث کاهش تغییرات رنگ پوست گوجه‌فرنگی نسبت به نمونه‌های بدون پوشش شده و در گوجه‌فرنگی پوشش داده شده، میزان تغییر رنگ پوست میوه در مدت نگهداری کمتر از نمونه بدون پوشش بود. به عبارتی پوشش میزان تغییر رنگ میوه را کاهش داده است. Daraei در سال ۲۰۰۸ با پوشش‌دهی شلیل با پوشش‌خوراکی بر پایه متیل‌سلولز به نتایج مشابه رسید. یعنی پوشش تغییر رنگ میوه را کاهش داد. در پایان زمان نگهداری، تغییرات رنگ در تمام انواع بسته‌بندی، افزایش داشت. به دلیل نفوذناپذیر بودن بسته‌بندی MAP غیرفعال و MAP فعال، اتمام اکسیژن و در نهایت شروع تنفس بی‌هوازی نمونه‌ها در این نوع بسته‌ها تغییرات رنگ نمونه‌های این نوع بسته‌ها بیشتر بود.

- تغییرات درصد ترکیب گازی بسته بندی

میوه‌ها و سبزی‌های تازه بسته‌بندی شده با مصرف اکسیژن و تولید دی‌اکسیدکربن، ترکیب گازی درون بسته‌بندی را تغییر می‌دهند (Jayas and Jeyamkondan, 2002). تنفس محصول و نفوذپذیری فیلم نسبت به گاز، دوعامل موثر در تغییر ترکیب گازی درون بسته‌بندی می‌باشند (Mastromatteo *et al*., 2011). بررسی اثر پوشش خوراکی متیل‌سلولز بر افزایش زمان‌ماندگاری آووکادو نشان داد نمونه‌های پوشش داده شده سرعت تنفس کمتری نسبت به نمونه‌های بدون پوشش داشتند (Maftoonazad and Ramaswamy, 2005).

با مقایسه نتایج می‌توان دریافت که از بین سه نوع بسته‌بندی به کارگرفته شده در این پژوهش، بسته‌بندی هوای‌معمولی بهترین نوع بسته‌بندی از جنبه درصد گاز دی اکسید کربن داخل بسته بوده و نمونه‌های بسته‌بندی شده در این نوع بسته‌بندی، کمترین تغییرات منفی را داشتند. در پژوهشی دیگر محققان دریافتند که اگر میزان اکسیژن به کمتر از حـد بحرانـی خـود برسـد، تنفس هوازی مختل شده و با افزایش میزان دی‌اکسیدکربن به بالاتر از حد بحرانی، اختلالات فیزیولوژیکی در محصول رخ می‌دهند. سیستم بسته‌بندی مناسب سیستمی است که پس از رسیدن غلظت اکسیژن در بسته به حد بحرانی، خودبه‌خود اکسیژن آزاد کند (Sedaghat and Vahedi, 2015). پوشش متیل‌سلولز، نفوذپذیری اندکی نسبت به گازها داشته و موجب کند شدن تنفس میوه شده، بنابراین بسته‌بندی حاوی میوه با این نوع پوشش، کمترین میزان کربن‌دی‌اکسید را داشت. احتمالا پوشش به عنوان مانعی برای تنفس نمونه‌ها عمل کرده و به همین دلیل، نمونه‌های بدون پوشش نسبت به نمونه‌های پوشش‌دار میزان تنفس بالاتری داشتند. مطالعات دیگر نیز (Khosh Gardesh *et al*., 2016; Benítez *et al*., 2013; Baldwin *et al*., 1996) تاثیر پوشش بر ممانعت از مصرف اکسیژن و در نتیجه تنفس کمتر را تایید می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر پوشش‌های خوراکی متیل‌سلولز و موم کارنوبا و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده بر ماندگاری و خواص کیفی میوه سیب مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به عملکرد کلی تیمارهای مختلف مشخص شد که استفاده از پوشش خوراکی متیل‌سلولز می‌تواند با حفظ خصوصیات پس از برداشت سیب مانند افت وزن، سفتی بافت و کاهش تغییرات رنگ نمونه‌ها، زمان ماندگاری را افزایش داده و روند کاهش درخصوصیات کیفی را کند نماید. استفاده همزمان پوشش خوراکی و بسته‌بندی نیز نشان داد که پس از گذشت یک ماه از زمان نگهداری، اکسیژن بسته‌ها به شدت کاهش یافت. بنابراین دو نوع غلظت گاز استفاده شده در این مطالعه، برای بسته‌بندی سیب تازه مناسب نبود. با توجه به نتایج به دست آمده و سایر پژوهش‌ها در مورد میوه‌ها و سبزی‌ها، لازم است مطالعات بیشتری درمورد شرایط بسته‌بندی بهینه مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد.

منابع

Ahmadi-Afzadi, M., Tahir, I. & Nybom, H. (2013). Impact of harvesting time and fruit firmness on the tolerance to fungal storage diseases in an apple germplasm collection. Postharvest Biology and Technology, 82, 51–58. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.001

Ali, U., Basu, S. & Mazumder, K. (2020). Improved postharvest quality of apple (Rich Red) by composite coating based on arabinoxylan and β-glucan stearic acid ester. International journal of biological macromolecules, 151, 618-627. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.081

Babich, O., Dyshlyuk, L., Sukhikh, S., Prosekov, A., Ivanova, S., Pavsky, V., Chaplygina, T. & Kriger, O. (2019). Effects of Biopreservatives Combined with Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Apples and Tomatoes. Polish Journal of Food & Nutrition Sciences, 69(3). https://doi.org/10.31883/pjfns/110564

Bai, J., Baldwin, E. A. & Hagenmaier, R. H. (2002). Alternatives to shellac coatings provide comparable gloss, internal gas modification, and quality for'Delicious' apple fruit. HortScience, 37 (3), 559-563. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.37.3.559

Baldwin, E.A., Nisperos, M.O., Chen, X. & Hagenmaier, R.D. (1996). Improving storage life of cut apple and potato with edible coating. Postharvest Biology and Technology, 9 (2), 151-163. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(96)00044-0

Ban, Z., Li, L., Guan, J., Feng, J., Wu, M., Xu, X. & Li, J. (2014). Modified atmosphere packaging (MAP) and coating for improving preservation of whole and sliced Agaricus bisporus. Journal of food science and technology, 51 (12), 3894-390. https://doi.org/10.1007/s13197-013-0935-9

Barrios, S., De Aceredo, A., Chao, G., De Armas, V., Ares, G., Martín, A. & Lema, P. (2014). Passive modified atmosphere packaging extends shelf life of enzymatically and vacuum-peeled ready-to-eat valencia orange segments. Journal of Food Quality, 37 (2), 135-147. https://doi.org/10.1111/jfq.12074

Barman, K., Asrey, R. & Pal, R. (2011). Putrescine and carnauba wax pretreatments alleviate chilling injury, enhance shelf life and preserve pomegranate fruit quality during cold storage. Scientia Horticulturae, 130 (4), 795-800. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.09.005

Benítez, S., Achaerandio, I., Sepulcre, F. & Pujolà, M. (2013). Aloe vera based edible coatings improve the quality of minimally processed ‘Hayward’kiwifruit. Postharvest Biology and Technology, 81, 29-36. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.009

Bilawal, A., Hashim, M., Zareen, S., Amir, N. & Khan, I. (2017). Effect of edible gum coating, glycerin and calcium lactate application on the postharvest quality of guava fruit. International Journal of Advanced Research and Publication, 1, 23-27.

Chen, H. Y., Jiang, L. F., Zeng, J. H., Huo, Y. R. & Li, Y. X. (2020). Combination of carnauba wax-based coating and 1-methylcyclopropene (1-MCP) maintains better “Fuji” apple qualities during storage at low temperature. Journal of Food Processing and Preservation, 14 (12), e14925. https://doi.org/10.1111/jfpp.14925

Cosme Silva, G. M., Silva, W. B., Medeiros, D. B., Salvador, A. R., Cordeiro, M. H. M., Silva, N. M. & Mizobutsi, G. P. (2017). The chitosan affects severely the carbon

Guimaraes, A., Abrunhosa, L., Pastrana, L. M. & Cerqueira, M. A. (2018). Edible films and coatings as carriers of living microorganisms: a new strategy towards biopreservation and healthier foods. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 17 (3), 594-614. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12345

Hadian-Deljou, M. & Sarikhani, H. (2012). Effect of salicylic acid on maintaining post-harvest quality of apple cv. Golabe-Kohanz. Journal of Crops Improvement, 14 (2), 71-82. [In Persian] https://doi.org/10.22059/IJHS.2018.240328.1308

Hyun, J. E. & Lee, S. Y. (2018). Effect of modified atmosphere packaging on preserving various types of fresh produce. Journal of Food Safety, 38 (1), e12376. https://doi.org/10.1111/jfs.12376

Jahanshahi, B., Jafari, A., Vazifeshenas, M. R. & Gholamnejad, J. (2018). A novel edible coating for apple fruits. Journal of Horticulture and Postharvest Research, 1 (1), 63-72. https://doi.org/10.22077/jhpr.2018.1186.1009

Javanmard, M. (2011). Shelf-life of apples coated with whey protein concentrate-gellan gum edible coatings. Journal of Food Biosciences and Technology, 1 (1), 56-62.

Jayas, D.S. & Jeyamkondan, S. (2002). PH—postharvest technology: modified atmosphere storage of grains meats fruits and vegetables. Biosystems Engineering, 82 (3), 235-251. https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0080

Jo , W. S., Song, H. Y., Song, N.B., Lee, J.H., Min, S. C. & Song, K. B. (2014). Quality and microbial safety of 'Fuji'apples coated with carnauba-shellac wax containing lemongrass oil. LWT-Food Science and Technology, 55 (2), 490-497. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.034

Joshi, A. V., Baraiya, N. S., Vyas, P. B. & RAO, T. (2017). Gum ghatti based edible coating emulsion with an additive of clove oil improves the storage life and maintains the quality of papaya (Carica papaya L., cv. Madhu bindu). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, Tamilnadu, 6 (5), 160-174. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.019

Khosh Gardesh, A. S., Badii, F., Hashemi, M., Ardakani, A. Y., Maftoonazad, N. & Gorji, A. M. (2016). Effect of nanochitosan based coating on climacteric behavior and metabolism in mango (Mangifera indica L. cv. Palmer) fruit during storage. Food Chemistry, 237, 372–378. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.123

De León-Zapata, M. A., Ventura-Sobrevilla, J. M., Salinas-Jasso, T. A., Flores-Gallegos, A. C., Rodríguez-Herrera, R., Pastrana-Castro, L. & Aguilar, C. N. (2018). Changes of the shelf life of candelilla wax/tarbush bioactive based-nanocoated apples at industrial level conditions. Scientia Horticulturae, 231, 43–48. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.005

Fante, C., A. Boas, A. C. V., Paiva, V. A., Pires, C. R. F. & Lima, L. C. d. O. (2014). Modified atmosphere efficiency in the quality maintenance of Eva apples. Food Science and Technology, 34 (2), 309-314. https://doi.org/10.1590/fst.2014.0044

Garousi, F., Javanmard, M., & Hasani, F. (2011). Application of edible coating based on Whey Protein-Gellan gum for apricot (Prunus armeniaca L.). Iranian journal of food science and industry, 8 (29) [In Persian].

Ganai, S., Ahsan, H., Wani, I., Lone, A., Mir, S. & Wani, S. (2015). Colour changes during storage of apple cv. Red delicious-influence of harvest dates, precooling, calcium chloride and waxing. International Food Research Journal, 22 (1), 196-201.

Ghidelli, Ch., Mateos, M., Rojas-Argudo, C. & Pérez-Gago, M.B. (2014). Extending the shelf life of fresh-cut eggplant with a soy protein–cysteine based edible coating and modified atmosphere packaging. Postharvest Biology and Technology, 95, 81-87. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.04.007

Gonçalves, B., Silva, A., Moutinho-Pereira, J., Bacelar, E., Rosa, E. & Meyer, A. (2007). Effect of ripeness and postharvest storage on the evolution of colour and anthocyanins in cherries (Prunus avium L). Food Chemistry, 103 (3), 976-984. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.039

Guerreiro, A. C., Gago, C. M., Faleiro, M. L., Miguel, M. G. & Antunes, M. D. (2017). The effect of edible coatings on the nutritional quality of 'Bravo de Esmolfe'fresh-cut apple through shelflife. LWT-Food Science and Technology, 75, 210-219. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.052

postharvest shelf-life extension of apple cv. Golab Kohanz. LWT-Food Science and Technology, 70, 33-40. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.002

Leceta, I., Molinaro, S., Guerrero, P., Kerry, J. & De la Caba, K. (2015). Quality attributes of map packaged ready-to-eat baby carrots by using chitosan-based coatings. Postharvest Biology and Technology, 100, 142-150. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.022

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. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.017

Li, L., Sun, J., Gao, H., Shen, Y., Li, C., Yi, P. & Li, J. (2017). Effects of polysaccharide-based edible coatings on quality and antioxidant enzyme system of strawberry during cold storage. International Journal of Polymer Science, 2017, 8p. https://doi.org/10.1155/2017/9746174

Liu, Z., Wang, X., Zhu, J. & Wang, J. (2010). Effect of high oxygen modified atmosphere on post-harvest physiology and sensorial qualities of mushroom. International Journal of Food Science & Technology, 45 (6), 1097-1103. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02199.x

Liu, R., Liu, D., Liu, Y., Song, Y., Wu, T. & Zhang, M. (2017). Using soy protein SiOx nanocomposite film coating to extend the shelf life of apple fruit. International Journal of Food Science & Technology, 52 (9), 2018-2030. https://doi.org/10.1111/ijfs.13478

Maftoonazad, N. & Ramaswamy, H. (2005). Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. LWT-Food Science and Technology, 38 (6), 617-624. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.007

Maringgal, B., Hashim, N., Tawakkal, I. S. M. A. & Mohamed, M. T. M. (2020). Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. Trends in Food Science & Technology, 96, 253-267. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.024

Mastromatteo, M., Mastromatteo, M., Conte, A. & Del Nobile, M. A. (2011). Combined effect of active coating and MAP to prolong the shelf life of minimally processed kiwifruit (Actinidia deliciosa cv. Hayward). Food Research International, 44 (5), 1224-1230. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.002

Mditshwa, A., Fawole, O.A. & Opara, U.L. (2018). Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples—A review. Food Packaging and Shelf Life, 16, 59–68. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.011

Mohamed, S. A., El-Sakhawy, M. & El-Sakhawy, M. A. M. (2020). Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review. Carbohydrate Polymers, 238, 116-178. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178

Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M. & Voilley, A. (2002). Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. Critical reviews in food science and nutrition, 42 (1), 67-89. https://doi.org/10.1080/10408690290825466

Mozetič, B., Trebše, P., Simčič, M. & Hribar, J. (2004). Changes of anthocyanins and hydroxycinnamic acids affecting the skin colour during maturation of sweet cherries (Prunus avium L). LWT-Food Science and Technology, 37 (1), 123-128. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00143-9

Nazan Turhan, K. & Şahbaz, F. (2004). Water vapor permeability, tensile properties and solubility of methylcellulose-based edible films. Journal of Food Engineering, 61 (3) 459-466. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00155-9

Petriccione, M., Pasquariello, M. S., Mastrobuoni, F., Zampella, L., Di Patre, D. & Scortichini, M. (2015). Influence of a chitosan coating on the quality and nutraceutical traits of loquat fruit during postharvest life. Scientia Horticulturae, 197, 287-296. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.051

Qian, X., Jiang, T. & Zheng, X. (2019). Effect of chitosan and guar gum based composite edible coating on quality of mushroom (Lentinus edodes) during postharvest storage. Scientia Horticulturae, 253, 382-389. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.062

Radi, M., Firouzi, E., Akhavan, H. & Amiri, S. (2017). Effect of gelatin-based edible coatings incorporated with Aloe vera and black and green tea extracts on the shelf life of fresh-cut oranges. Journal of Food Quality, 2017 (1), 1-10. https://doi.org/10.14674/1120-1770-IJFS699

Rashid, F., Ahmed, Z., Hussain,S., Kausar, T., Nadeem, M., Ainee, A. & Mehmood, T. (2020). Optimization of fenugreek and flax polysaccharides based edible coating formulation to preserve the quality and storability of apple after harvesting. Food Processing and Preservation, 44 (10), e14812. https://doi.org/10.1111/jfpp.14812

Rocha, A., Barreiro, M. & Morais, A. M. (2004). Modified atmosphere package for apple 'Bravo de Esmolfe'. Food Control, 15 (1), 61-64. https://doi.org/10.1016/S0956-7135(03)00015-X

Sadeghipour, M., Badii, F., Behmadi, H., & Bazyar, B. (2012). The effect of methyl cellulose based active edible coatings on the storage life of tomato .Iranian journal of food science and industry. 35 (9) [In persian[

Sanchís, E., Ghidelli, C., Sheth, C.C., Mateos, M., Palou, L. & Pérez-Gago, M. B. (2017). Integration of antimicrobial pectin-based edible coating and active modified atmosphere packaging to preserve the quality and microbial safety of fresh-cut persimmon (Diospyros kaki Thunb. cv. Rojo Brillante). Journal of the Science of Food and Agriculture, 97, 252-260. https://doi.org/10.1002/jsfa.7722

Sandhya. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs. LWT-Food Science and Technology, 43 (3), 381-392. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.018

Sardabi, F., Mohtadinia, J., Shavakhi, F. & Ashraf Jafari, A. (2013). Effect of 1 methylcyclopropene and potassium permanganate-coated zeolite nanoparticles on extending the shelf life and quality of Golden and Red Delicious apples. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology, 8 (2), 135-144 [In Persian].

Sedaghat, N. & Vahedi, N. (2015). Evaluation of several methods for preservation and packaging of the button white mushroomto increase its shelf life. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 11 (1), 22-30 [In Persian]. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v11i1.45430

Selcuk, N. & Erkan, M. (2014). Changes in antioxidant activity and postharvest quality of sweet pomegranates cv. Hicrannar under modified atmosphere packaging. Postharvest Biology and Technology, 92, 29-36. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.007

Serradilla, M. J., Martín, A., Ruiz-Moyano, S., Hernández, A. & López-Corrales, de Guía Córdoba, M. (2012). Physicochemical and sensorial characterisation of four sweet cherry cultivars grown in Jerte Valley (Spain). Food Chemistry, 133 (4), 1551-1559. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.048

Shah, S., Jahangir, M., Qaisar, M., Khan, S., Mahmood, T., Saeed, M. & Liaquat, M. (2015). Storage stability of kinnow fruit (Citrus reticulata) as affected by CMC and guar gum-based silver nanoparticle coatings. Molecules, 20 (12), 22645-22661. https://doi.org/10.3390/molecules201219870

Shariatifar, M. & Jafarpour, E. (2013). Edible coating effects on storage life and quality of apple. Journal of Basic and Applied Science Research, 3, 24-27.

Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. & Vuong, Q. V. (2019). Starch-based edible coating formulation: Optimization and its application to improve the postharvest quality of "Cripps pink" apple under different temperature regimes. Food Packaging and Shelf Life, 22, 100409. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100409

Toloie, H. & Mohtadinia, J. (2011). Shivehay novin bastebandi mavad ghazaie.Tehran, Amozesh va tarvije keshavarzi, 296p [In Persian].

Vargas, M., Pastor, C. Chiralt, A. McClements, D.J. & Gonzalez-Martinez, C. (2008). Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 48, 496–511. https://doi.org/10.1080/10408390701537344

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-

Zhang, W. Li. X. & Jiang, W. (2020). Development of antioxidant chitosan film with banana peels extract and its application as coating in maintaining the storage quality of apple. International journal of biological macromolecules, 154, 1205-1214. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.275

Zhuang, H., Barth, M. M. & Cisneros-Zevallos, L. (2014). Modified atmosphere packaging for fresh fruits and vegetables Innovations in food packaging, Elsevier. pp. 445-473. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00018-7

Food Science and Technology, 52 (2), 80-92. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.004

Wu, D. & Sun, D. W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control–A review. Trends in Food Science & Technology, 29 (1), 5-20. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004

Yam, K.L. & Papadakis S.E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. Journal of Food Engineering, 61 (1), 137-142. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00195-X

Effect of Methylcellulose and Carnauba Wax Coating with Modified Atmosphere Packaging on the Improvement Quality of *Red Delicious* Apple

M. Rezaie [a], N. Sedaghat [b *]

[a] PhD Student of the Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

[b] Professor of the Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Received: 2 December 2022 Accepted: 8 July 2023

Abstract

Introduction: The quality of fresh fruits and vegetables, and thus their shelf life, is reduced due to changes such as moisture loss, enzymatic browning, tissue decay, and microbial growth. The use of an edible coating on fruits and vegetables during storage will increase shelf life by controlling the moisture migration, respiration rate, and oxidation. As apple is one of the most important raw materials for many foods and is grown in many countries around the world, it is important to keep apples fresh. The use of methylcellulose and Carnauba wax coating with Modified Atmosphere Packaging for maintaining the quality and prolonging the shelf life of *Red Delicious* apples.

Materials and Methods: In this study, fresh apples (*Red Delicious*) were coated by two types of coating materials (methyl cellulose and carnauba wax) then samples packed in three layers bags (PE/PA/PE) with normal air condition (control), active modified atmosphere and inactive (passive) modified atmosphere, Samples stored at 2 °C for 3 month. Thereafter, their quality characteristics such as Weight losses, color changes, hardness and change in packaging gas percentage, were tested and evaluated.

Results: Data showed coated samples had better properties as compared to the uncoated samples. The property was more obvious in samples coated by methylcellulose. In coating samples, weight losses were significantly ($P\leq0.05$) less than uncoated samples, and also weight loss was slower. At the end of the storage time, the highest firmness (958.2) was related to the sample with methyl cellulose coating and the lowest firmness (780.2) was related to the sample without coating (control). In the methyl cellulose coated samples, the weight loss of the samples was significantly lower than the other samples and the weight loss occurred at a slower rate ($p\leq0.05$). At the end of the third month, the highest (7.6) and the lowest (4.7) weight loss was related to the sample without coating and the sample with methylcellulose coating, respectively. At the end of the sample storage time, the uncoated sample (control) had the highest Brix (17.2) and the sample coated with carnauba wax (16.1) had the lowest Brix. In all samples, the amount of L* decreased at the end of the storage time. During the entire storage period of apples, the amount of L* of the coated samples was higher than that of the control samples. The amount of L* in the control samples decreased and reached (19.2), while it reached (25.6) in the samples with methyl cellulose coating.

Conclusion: The results of the present study showed that Methylcellulose was an appropriate coating to maintain the quality and increase the shelf-life of apples (*Red Delicious*).

Keywords: *Apple, Edible Coating, Packaging, Quality.*

* Corresponding Author: sedaghat@um.ac.ir