Food Processing and Preservation Journal

Print ISSN: 2423-3544
Online ISSN: 2423-3803

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

Studying the Effect of Modified Atmosphere (MAP) and Storage Time on Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Citrus Fruits in Above-zero Cold Storage

Shaban Ghavami Jolandan[1*], Reza Tabatabae koloor[2]

[1] Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (* Corresponding author : s.ghavami@scu.ac.ir).

[2] Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 27/08/2025
Revised: 07/12/2025
Accepted: 09/02/2026

Keywords:
Citrus
Storage
Modified Atmosphere
Cold Storage
Textile Firmness

ABSTRACT

Background and objectives: Methods of preserving fruits and vegetables play an important role in the human food pyramid in order to maintain their quality and freshness. One of the common methods, is modifying the atmosphere inside the package. In this method, the normal air in the environment of the packaged product is removed and, by creating a vacuum, a gas composition proportional to the respiration rate is replaced. In the present study, the effect of modified atmosphere and storage time on some quantitative and qualitative characteristics of oranges and lemons in a cold storage above zero degrees was investigated.

Materials and methods: In this study oranges and local sour lemons were used for modified atmosphere packaging, three-layer polyvinyl chloride plastic bags and a DZQ-400/2E (made in China) packaging machine were used. The samples prepared for each of the two gas mixtures (%10 CO_2 + %15 O_2 + balance N_2) and (%15 CO_2 + %10 O_2 + balance N_2) consisted of 3 lemons and 3 oranges in 3 replicates. The samples were placed in plastic bags and after injecting the appropriate gas mixture and sealing them, they were transferred to the cold storage. All samples were stored in the cold store for 60 days at a temperature of 2 to 4 degrees Celsius and a relative humidity of %85. Quantitative and qualitative quantities such as sample weight, fruit firmness, soluble solids, acidity percentage, and vitamin C content were measured every 15 days. Statistical analysis was performed using SPSS software and graphs were drawn using Excel

Results: The results showed that there was a significant difference between the gas composition of 10% CO_2, 15% CO_2, the vacuumed sample and the control, but the interaction effect of storage time and modified atmosphere on pH changes was not significant. The weight loss after 60 days was 2.9% in the control sample and 0.29% in the sample with 15% CO_2. According to the results, the gas compositions of 15% CO_2 and 10% CO_2 had a great effect on the preservation of soluble solids, so that the amount of soluble solids in the modified atmosphere with 15% CO_2 increased by about 7% for

oranges and about 3% for lemons compared to the control sample. The findings indicated that the modified atmosphere coating had a significant effect on reducing the amount of vitamin C during the storage period, but vacuum packaging had no effect on maintaining the amount of vitamin. The firmness of the tissue also increased by %10 for lemons and %7 for oranges in the modified atmosphere compared to the control sample. The results showed that among the modified atmosphere treatments, the best result was obtained with the gas mixture of %10 O_2 and %15 CO_2.

Conclusion: The results showed that the use of modified atmosphere has a significant effect on all measured indicators and on maintaining fruit quality. The second gas composition had a very small performance better than the other composition, which in general can be considered the same effectiveness of both compositions. The effectiveness of modified atmosphere in orange and lemon fruits was reported to be almost the same. In general, it can be said that the use of modified atmosphere with appropriate gas compositions can play an important role in increasing the storage period and maintaining the physical and chemical quality of the fruit and its marketability and the health of the consumer community.

Cite this article: Ghavami Jolandan, Sh., Tabatabae koloor, R. 2026. Studying the Effect of Modified Atmosphere (MAP) and Storage Time on Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Citrus Fruits in Above-zero Cold Storage. *Food Processing and Preservation Journal*, 18(1), 109-125.

© The Author(s)
10.22069/fppj.2026.24010.1901
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

فرآوری و نگهداری مواد غذایی
شاپا چاپی: ۳۵٤٤-۲٤۲۳
شاپا الکترونیکی: ۳۸۰۳-۲٤۲۳

بررسی تاثیر اتمسفر اصلاح شده (MAP) و مدت زمان انبارداری بر برخی خصوصیات کمی و کیفی مرکبات در سردخانه بالای صفر درجه

شعبان قوامی جولندان[1*]، رضا طباطبایی کلور[2]

[1] (نویسنده مسئول) استادیارگروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، رایانامه: s.ghavami@scu.ac.ir

[2] دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۰٦/۰۵
تاریخ ویرایش: ۱٤۰٤/۰۹/۱٦
تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۱۱/۲۰

واژه‌های کلیدی:
مرکبات
انبارداری
اتمسفر اصلاح شده
سردخانه
سفتی بافت

چکیده

سابقه و هدف: روشهای نگهداری میوه‌ها و سبزیجات در راستای حفظ کیفیت و تازگی آنها نقش مهمی در هرم غذایی انسان ایفا می‌کند. بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده روشی است که در آن هوای معمولی در محیط محصول بسته‌بندی شده حذف می‌شود یا اینکه به صورت جایگزینی از ترکیب گازی می باشد که در آن هوا به واسطه خلاء گیر افتاده است، مخلوطهای گازی متناسب با نرخ تنفس محصول به داخل بسته تزریق می‌شود، سپس دوختن درب بسته انجام می‌شود. در پژوهش حاضر تاثیر اتمسفر اصلاح شده و مدت زمان انبارداری بر برخی خصوصیات کمی و کیفی پرتقال و لیمو ترش در سردخانه بالای صفر درجه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از پرتقال خونی و لیمو ترش محلی استفاده شد. برای بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده از کیسه‌های پلاستیکی پلی وینیل کلراید سه لایه و از دستگاه بسته‌بندی مدل DZQ-400/2E ساخت چین استفاده شد. برای هر یک از دو ترکیب گازی (۱۰٪ CO_2 + balance N_2 + O_2 ۱۵٪) و (۱۵٪ CO_2 + ۱۰٪ O_2 + balance N_2)، تعداد ۳ عدد لیمو، ۳ عدد پرتقال و در ۳ تکرار، نمونه تهیه شد و سپس هر یک از نمونه‌ها را داخل کیسه‌های پلاستیکی ریخته و داخل دستگاه قرار داده شد و پس از تزریق ترکیب گازی اشاره شده به درون کیسه‌ها، درب آنها را دوخته و به سردخانه انتقال داده شد. نمونه‌ها به مدت ٦۰ روز در سردخانه با دمای ۲ تا ٤ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد نگهداری شد. کمیت‌های کمی و کیفی مانند وزن نمونه‌ها، میزان سفتی میوه، مواد جامد محلول، درصد اسیدیته و میزان ویتامین C هر ۱۵ روز یکبار اندازه‌گیری شد. تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS و رسم نمودارها به کمک اکسل انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تفاوت معناداری بین ترکیب گازی ۱۰٪ CO_2، ۱۵٪ CO_2، نمونه خلاء شده و شاهد وجود دارد اما اثر متقابل مدت زمان نگهداری و اتمسفر اصلاح شده بر تغییرات pH معنی‌دار نیست. کاهش وزن پس از گذشت ٦۰ روز در نمونه شاهد ۲/۹ درصد و در نمونه با ترکیب ۱۵٪ CO_2 به ۰/۲۹ درصد رسید. طبق نتایج بدست آمده، ترکیبات گازی ۱۵٪ CO_2 و ۱۰٪ CO_2 تاثیر زیادی بر حفظ مواد جامد محلول داشتند بطوریکه میزان مواد جامد محلول در اتمسفر اصلاح شده با ۱۵٪ CO_2، برای پرتقال حدود ۷٪ و برای لیمو حدود ۳٪، نسبت به نمونه شاهد

افزایش یافت. نتایج نشان داد که پوشش اتمسفر اصلاح شده تاثیر معناداری در کاهش میزان ویتامین C در دوره انبارمانی دارد اما بسته‌بندی وکیوم تاثیری در حفظ میزان ویتامین ندارد. سفتی بافت نیز به میزان ۱۰ درصد برای لیمو و ۷ درصد برای پرتقال در اتمسفر اصلاح شده نسبت به نمونه شاهد افزایش پیدا کرد. نتایج نشان داد که در بین تیمارهای اتمسفر اصلاح شده، بهترین نتیجه مربوط به تیمار ترکیب گازی٪ ۱۰ O_2، ٪ ۱۵ CO_2 می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که استفاده از اتمسفر اصلاح شده در تمامی شاخص‌های مورد اندازه‌گیری و حفظ کیفیت میوه تاثیر معناداری دارد. ترکیب گازی دوم به مقدار بسیار کمی عملکردی بهتر نسبت به ترکیب دیگر داشت که در حالت کلی می‌توان تاثیرگذاری هر دو ترکیب را یکسان فرض کرد. تاثیرگذاری اتمسفر اصلاح شده در میوه‌های پرتقال و لیمو تقریبا به یک اندازه گزارش شد در حالت کلی می‌توان گفت استفاده از اتمسفر اصلاح شده با ترکیبات مناسب گازی می‌تواند نقش مهمی در افزایش مدت انبارمانی و حفظ کیفیت فیزیکی و شیمیایی میوه و بازار پسندی آن و سلامت جامعه مصرف کننده ایفا کند.

استناد: قوامی جولندان، شعبان؛ طباطبایی کلور، رضا. (۱۴۰۵). بررسی تاثیر اتمسفر اصلاح شده (MAP) و مدت زمان انبارداری بر برخی خصوصیات کمی و کیفی مرکبات در سردخانه بالای صفر درجه. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۸(۱)، ۱۲۵-۱۰۹.

10.22069/fppj.2026.24010.1901

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

نگهداری بلند مدت میوه‌ها و سبزی‌ها یک چالش اساسی در فرآیندهای پس از برداشت می‌باشد. محققان روش‌های مختلفی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند و در این میان استفاده از اتمسفر اصلاح شده در سیستم‌های بسته‌بندی نوین یکی از راه‌های مناسب به منظور کاهش فساد پذیری در میوه‌ها محسوب می‌شود. بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (MAP[1]) از جمله مهمترین و پرکاربردترین بسته‌بندی‌هایی هستند که تأثیر آنها بر روی حفظ کیفیت میوه‌جات و سبزیجات مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است (۱). منظور از بسته‌بندی فعال، نوعی بسته‌بندی است که علاوه بر دارا بودن ویژگی بسته‌بندی‌های مرسوم در انبارمانی، در طی مدت زمان نگهداری با ماده غذایی در تعامل بوده و با آزاد سازی ترکیبات نگهدارنده مانند مواد ضدمیکروبی و آنتی اکسیدان‌ها به داخل بسته و یا با حذف ترکیبات مضر مانند اکسیژن و اتیلن به حفظ کیفیت ماده غذایی کمک کند (۲). بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده می‌تواند نوعی از بسته‌بندی باشد که در آن هوای معمولی در محیط محصول بسته‌بندی شده حذف می‌شود یا اینکه به صورت جایگزینی از ترکیب گازی باشد که در آن هوا به واسطه خلاء گیر افتاده است، مخلوط‌های گازی با ترکیب متناسب اکسیژن، دی اکسید کربن و نیتروژن با توجه به نرخ تنفس محصول به داخل بسته تزریق می‌شود، سپس دوختن درب بسته انجام می‌شود (۳). در پژوهشی اثر اتمسفر اصلاح شده روی زرشک مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده، خصوصیات کیفی میوه زرشک را حفظ کرده و بالاترین بریکس و میزان آنتوسیانین را در شرایط اتمسفر اصلاح شده نشان داد و درصد کاهش وزن میوه‌ها، دارای کمترین مقدار بود. همچنین از لحاظ شمارش کلی در مقدار میکروارگانیسم‌ها و کپک و مخمر، اتمسفر اصلاح شده و دمای ٤ درجه سانتی‌گراد کمترین مقدار آلودگی را نشان داد (٤). ملکی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده با ترکیب گازی اکسیژن ٪۵ و دی اکسیدکربن ٪۱۰ در میوه خیار گزارش کردند که استفاده از این نوع بسته‌بندی، باعث افزایش مقاومت به سرمازدگی شده و محتوای قندهای فروکتوز، گلوکز و اسیدهای ارگانیک و مخصوصا اسید مالیک در سطوح بالاتری نسبت به نمونه‌های شاهد که در هوای معمولی نگهداری شده بودند، حفظ شد و شدت تنفس میوه‌ها، در بسته‌ها به طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار گرفته و متوقف شد. نتایج نشان دهنده کاهش صدمات سرمایی و حفظ کیفیت در خیار به هنگام استفاده از این نوع بسته‌بندی‌ها بود (۵). در پژوهشی دیگر اثر بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح شده روی پس از برداشت گوجه فرنگی بررسی شد و گزارش گردید که این نوع بسته‌بندی تغییر در میزان اسیدیته، مواد جامد محلول، بافت، رنگ، فعالیت پلی گالاکتوروناز و روند پیری در مقایسه با میوه‌های بسته‌بندی نشده را به تاخیر انداخت (٦). مرکبات از مهم‌ترین میوه‌هایی است که در مناطق گرمسیری و باغبانی در جهان تولید می‌شود. طبق برآوردهای انجام شده ضایعات حاصل از مرکبات تقریبا بین ۲۸ تا ۳۱ درصد می‌باشد (۷). محققان از اتمسفر اصلاح شده برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت محصولات مختلف استفاده کرده‌اند. بررسی منابع نشان می‌دهد که گزارش‌هایی مبنی بر استفاده از اتمسفر اصلاح شده در نگهداری مرکبات گزارش نشده است. نوآوری این تحقیق در راستای کمک به توسعه انبارهای با اتمسفر اصلاح شده است که با توجه به یافته‌های این تحقیق می توان میزان مناسب تزریق گازها را بدست آورد. بنابراین هدف از پژوهش

[1] . Modified atmosphere packaging

حاضر بررسی تاثیر استفاده از روش اتمسفر اصلاح شده بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پرتقال و لیمو و دستیابی به ترکیب مناسب برای حفظ بهتر کیفیت میوه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه صنایع پس از برداشت گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم واقع در دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. در این آزمایش از پرتقال خونی و لیمو ترش محلی استفاده شد. این نمونه‌ها از باغات مرکبات اطراف شهر ساری صبح روز آزمایش چیده شد و با رعایت تمام نکات لازم چه در زمان چیدن و چه در هنگام انتقال به محل انجام آزمایش آورده شد. برای بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده از کیسه‌های پلاستیکی پلی وینیل کلراید سه لایه و از دستگاه بسته‌بندی single chamber Vacuum Gas Flushing Packaging Machine مدل DZQ-400/2E ساخت کشور چین استفاده شد. برای تهیه نمونه‌ها از میوه‌های سالم بدون خراش، فاقد قارچ و آثار حمله مگس مدیترانه که با پارچه، کاملا تمیز شده بودند استفاده شد. آنگاه بعد از اندازه‌گیری شاخص‌های مورد نظر مانند توزین با ترازو دیجیتال و اندازه‌گیری کاهش وزن، میزان مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و pH آنها، جهت تهیه انواع تیمارها بکار گرفته شدند. برای بسته‌بندی نمونه‌های تیمار خلاء، تعداد ۳ عدد میوه لیمو و ۳ عدد میوه پرتقال در ۳ تکرار درون پوشش‌های پلاستیکی قرار گرفته و سپس با استفاده از دستگاه بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده هوای موجود درون پلاستیک تخلیه و خلاء ایجاد شد و سپس توسط دستگاه، درب هر نمونه بسته شد. برای هر یک از دو ترکیب گازی (۱۰٪ CO_2 + ۱۵٪ O_2 + balance N_2) و (۱۵٪ CO_2 + ۱۰٪ O_2 + balance N_2)، تعداد ۳ عدد میوه لیمو، ۳ عدد میوه پرتقال و در ۳ تکرار، نمونه تهیه شد و سپس هر یک از نمونه‌ها بطور جداگانه داخل بسته‌های پلاستیکی ریخته و داخل دستگاه بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده قرار داده شد. در این دستگاه پس از تزریق ترکیب گازهای اشاره شده به درون پلاستیک‌ها، درب آنها را دوخته و به سردخانه انتقال داده شد. برای تیمارهای شاهد هم همانند سایر تیمارها تعداد ۳ عدد میوه لیمو، ۳ عدد میوه پرتقال و در ۳ تکرار میوه‌ها را در کارتن‌های در باز قرار داده و جهت انتقال به سردخانه آماده شدند. همه نمونه‌ها به مدت ۶۰ روز در سردخانه با دمای ۲ تا ٤ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد نگهداری شد.

کاهش وزن: جهت بدست آوردن تغییرات وزن در طول نگهداری از یک ترازوی دیجیتال (مدل جادور، ساخت تایوان) با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد. درصد کاهش وزن نیز از روش پیشنهادی توسط مستوفی و نجفی محاسبه گردید (٦).

مواد جامد محلول : اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول با دستگاه رفرکتومتر (مدل 20SM، ساخت چین) انجام پذیرفت. دستگاه ابتدا با استفاده از آب مقطر کالیبره شده و سپس دو قطره از آبمیوه در عدسی دستگاه قرار داده شد و میزان مواد جامد محلول آن بر حسب درجه بریکس بیان گردید. درصد اسیدیته قابل تیتراسیون آبمیوه با تیتر کردن آن با سود ۰/۱ نرمال محاسبه شده است. در این آزمون ۵ میلی لیتر آب میوه صاف شده با آب مقطر به حجم ۱۰۰میلی لیتر رسانده شده و در حضور معرف فنل فتالئین، با سود ۰/۱ نرمال تیتر شد. هر میلی متر سود ۰/۱ نرمال معادل ۰/۰۰٦۷ گرم اسید سیتریک در نظر گرفته شد (۱۱). آزمایش در سه تکرار برای هر بسته انجام شده و مقادیر متوسط ثبت گردید. مقدار TSS بعنوان شاخص بریکس (Brix) در دمای ۲۵ °C بیان می‌شود.

اسیدیه قابل تیتراسیون: درصد اسیدیته قابل تیتراسیون آب میوه با تیتر کردن آن با سود ۰/۱ نرمال انجام شد. در این آزمون آب میوه صاف شده به وسیله سانتریفیوژ صاف شده و در حضور معرف با سود ۰/۱ تیتر شد و بر حسب درصد اکی والان اسید سیتریک بیان گردید (۱٤).

pH: pH عصاره با استفاده از یک pH متر دیجیتال اندازه‌گیری شد. ابتدا pH متر با محلول‌های بافر ٤/۱، ۷ و ۹/۲ کالیبره گردید، سپس عصاره میوه را در بشر ریخته و پس از قرار دادن الکترودها در محلول، pH مورد نظر قرائت شد. پس از هر قرائت الکترود با آب مقطر شست‌وشو و با کاغذ صافی خشک گردید (۱۰).

سفتی بافت: برای تعیین میزان سفتی میوه از یک دستگاه تست بافت میوه استفاده شد (مدل A۵۰۰۰- FG، تایوان). نیروی فشاری توسط یک نفوذ کننده به شکل میله ای با نوک استوانه ای به قطر ۸ میلیمتر و ارتفاع ۵ میلیمتر که به انتهای نیروسنج متصل است، اعمال شد. نفوذ در هر میوه در چهار نقطه در راستای دو قطر عمود برهم و در دو طرف میوه صورت گرفت. متوسط حداکثر مقادیر ثبت شده توسط ثبات دیجیتالی بر حسب نیوتن گزارش شد. سرعت نفوذ برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی میوه‌ها ۵ میلیمتر بر ثانیه در نظر گرفته شد (۱۰).

ویتامین C: به منظور اندازه‌گیری میزان ویتامین C به دلیل حساس بودن و بدست آوردن مقادیر دقیق به این دلیل که گذر زمان و تغیرات دما بر میزان ویتامین C تاثیر گذار است، نمونه‌ها هر ۱۵ روز به آزمایشگاه پیشرفته محل انجام آزمایش انتقال داده شد و نمونه تحت فیلتراسیون قرار داده شد و سپس با استفاده از دستگاه سنجش اسپکتوفتومتر uv-vis مدل: OPTIZEN Alpha ساخت کمپانی: KLAB کشور کره‌جنوبی مقادیر ویتامین C اندازه‌گیری شد (۱٦).

در این پژوهش داده‌ها با استفاده از طرح کاملا تصادفی در سه تکرار و آزمون فاکتوریل تجزیه و تحلیل شدند. تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS و رسم نمودارها به کمک اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای ترکیبات گازی و دوره انبارداری بر روی صفات مورد اندازه‌گیری میوه پرتقال و لیمو در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که اثرات اصلی و برخی از اثرات فاکتورها بر روی صفات اندازه‌گیری شده معنادار است.

تغییرات وزن: بررسی نتایج حاصل از تجزیه داده‌ها در جداول ۱ و ۲ نشان می‌دهد که تفاوت معناداری بین بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده یعنی ترکیب گازی ٪۱۰ CO_2 و ٪۱۵ CO_2 و نمونه وکیوم شده و شاهد وجود دارد، به نظر می‌رسد که با گذشت زمان و در اثر تنفس و تعرق از وزن اولیه محصول کاسته شده است. با توجه به شکل ۱ متوجه می‌شویم که اثر متقابل تغییر وزن در نمونه‌های بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده در مدت زمان انبارمانی اختلاف معناداری با نمونه شاهد و وکیوم دارد. مشاهده می شود که کاهش وزن در نمونه شاهد در طی ٦۰ روز حدود ۲/۹ درصد بوده در حالیکه در نمونه اتمسفر اصلاح شده ۰/۲۹ درصد بدست آمد که تاثیر قابل توجه اصلاح اتمسفر را بر کاهش وزن نشان می‌دهد. می‌توان دریافت استفاده از این ترکیبات گازی و وجود مقادیر دی‌اکسید کربن مانع تنفس شده و تا مقدار زیادی از کاهش وزن جلوگیری می‌کند. در بین ترکیب گازی ٪۱۰ CO_2 و ٪۱۵ CO_2 اختلاف معناداری مشاهده نشده است. اما ترکیب گازی ٪۱۵ CO_2 با اختلاف اندکی کاهش وزن کمتری را نسب به نمونه با ترکیب گازی٪۱۰ CO_2 داشته است. با استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده می‌توان فشار بخار

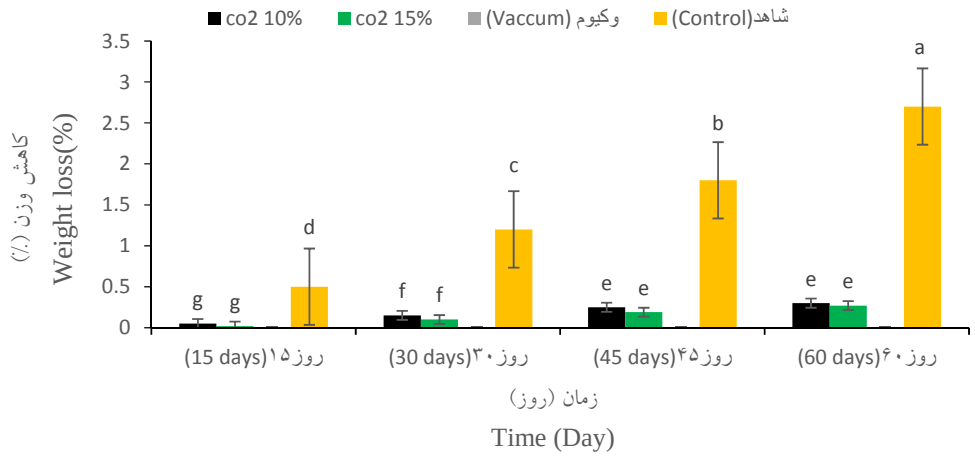
اطراف میوه‌ها را در حد بالایی حفظ کرد که مانع از دست دادن آب و کاهش وزن میوه‌ها خواهد شد. در پژوهشی مشابه بیان شد استفاده از ترکیب گازی ۱۵٪ CO_2 به دلیل داشتن دی‌اکسید کربن بیشتر و تنفس کمتر موجب حفظ وزن و بقیه شاخص‌های مورد اندازه‌گیری نسبت به سایر ترکیبات گازی و برخی پوشاننده‌ها است (۶).

جدول ۱- تجزیه واریانس خصوصیات میوه پرتقال تحت بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده طی دوره انبارداری.

Table 1.Analysis of variance of orange fruit characteristics under modified atmosphere packaging during storage period.

منبع تغییرات S.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات (MS)						
		کاهش وزن(٪) Weight loss (%)	سفتی بافت (نیوتن) Tissue stiffness (N)	مواد جامد محلول(بریکس) Total Souloble Solids = TSS(Brix)	اسیدیته قابل تیتراسیون(٪) Titratable acidity (%)	ویتامین ث(٪) Vitamin C (%)	pH
ترکیب گازی Gas composition	3	122.38 **	0.41 *	0.024 **	0.0045 **	0.0064 **	0.045 *
دوره انبارداری Storage Period	3	60.17 **	6.19 *	0.21 **	0.0008 *	0.0077 *	0.05 ns
ترکیب گازی × دوره انبارداری Coverage × storage period	9	0.047 **	0.0006 ns	0.00023 *	0.0005 *	0.0006 *	0.0036 ns
خطای آزمایش Experiment Error	36	0.0046	0.0004	0.0022	0.00042	0.0016	0.00025
ضریب تغییرات Coefficient of Variation		1.7	1.53	3.64	4.18	3.8	3.2

ns، * و ** به ترتیب غیر معنادار و معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



شکل ۱- تغییرات وزن پرتقال در زمان انبارمانی.

Figure 1. Changes in orange weight during storage.

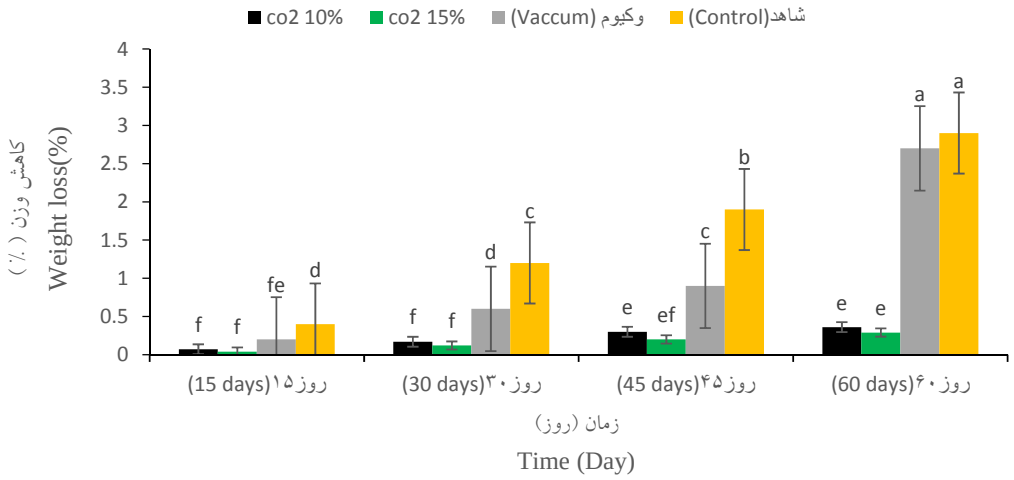
جدول ۲- تجزیه واریانس خصوصیات میوه لیمو تحت اتمسفر اصلاح شده طی دوره انبارداری.

Table 2. Analysis of variance of lemon fruit characteristics under modified atmosphere during storage period.

		میانگین مربعات (MS)						
منبع تغییرات S.V	درجه آزادی DF	کاهش وزن(٪) Weight loss (%)	سفتی بافت (نیوتن) Tissue stiffness (N)	مواد جامد محلول(بریکس) Total Soluble Solids = TSS(Brix)	اسیدیته قابل تیتراسیون(٪) Titratable acidity (%)	ویتامین ث(٪) Vitamin C (%)	pH
ترکیب گازی Gas composition	3	142.52 **	0.61 *	0.044 **	0.0066 **	0.0014 **	0.063 *
دوره انبارداری Storage Period	3	68.15 **	6.54 *	0.37 **	0.0006 *	0.008 *	0.07 ns
ترکیب گازی × دوره انبارداری Coverage × storage period	9	0.053 **	0.0026 *	0.00063 *	0.00045 *	0.0016 *	0.006 ns
خطای آزمایش Experiment Error	36	0.0066	0.0014	0.0042	0.00046	0.0006	0.0004
ضریب تغییرات Coefficient of Variation		1.9	1.8	4.34	4.64	5.9	3.72

ns، * و ** به ترتیب غیر معنادار و معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

در شکل ۲ در خصوص میوه لیمو هم نتایج مشابه پرتقال بوده و اتمسفر اصلاح شده تاثیر معناداری در حفظ آب میوه دارد کاهش وزن افزون بر کاهش کمیت میوه، سبب کاهش کیفیت ظاهری و تغذیه‌ای آن نیز می‌گردد که اگر این کاهش وزن بیشتر از ۱۰٪ باشد سطح میوه دچار آسیب‌هایی مانند پژمردگی، چروک شدگی و از نظر تجاری غیر قابل فروش می‌گردد (۸). ملکی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده با ترکیب گازی اکسیژن٪۵ و دی‌اکسید کربن ٪۱۰در خیار گزارش کردند که استفاده از این نوع بسته بندی، باعث افزایش مقاومت به سرمازدگی شده و محتوای قندهای فروکتوز، گلوکز و اسیدهای ارگانیک و مخصوصا اسید مالیک در سطوح بالاتری نسبت به نمونه های شاهد که در هوای معمولی نگهداری شده بودند، حفظ شد و شدت تنفس میوه‌ها، در بسته‌ها به طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار گرفته و متوقف شد (۵).



شکل ۲- تغییرات وزن لیمو در زمان انبارمانی.

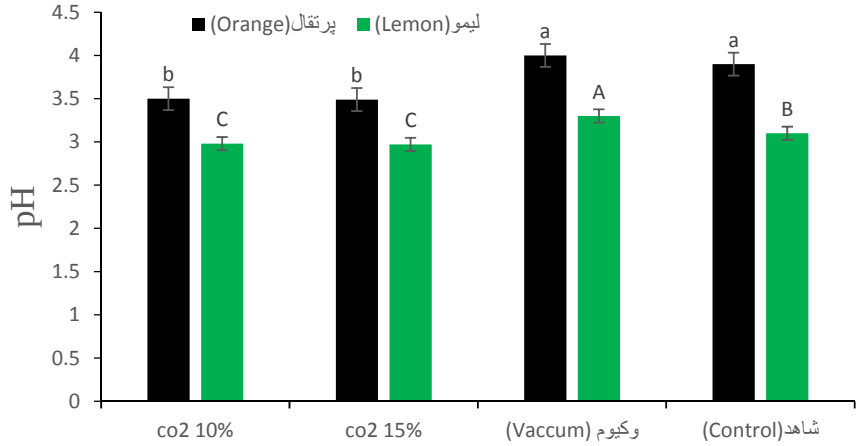
Figure 2. Changes in lemon weight during storage.

تغییرات pH: بررسی حاصل از نتایج بدست آمده داده‌ها بیانگر آن است که اثر متقابل مدت زمان نگهداری و استفاده از اتمسفر اصلاح شده برتغییرات pH تاثیر معناداری ندارد. با توجه به این که ترکیب اتمسفری با اکسیژن کم، روند پیری را به تاخیر انداخته و موجب کاهش تنفس میوه می‌شوند، در نتیجه اسیدآلی کمتری استفاده می‌شود و pH میوه افزایش کمتری نسبت به نمونه شاهد داشت. استفاده از روش وکیوم به دلیل تخلیه اتمسفر درون بسته و عدم تبادل با محیط تاثیری در حفظ pH نداشته است. در این آزمایش مشاهده شد که افزایش گاز CO_2 در بسته‌بندی در تغییرات pH تاثیرگذار است. مقدار pH در ترکیب گازی ٪۱۵ CO_2 به میزان ۲/۹ بدست آمد. با اصلاح اتمسفر pH بهتر حفظ شد و از روند افزایش آن به اندازه قابل توجهی جلوگیری گردید. افزایش گاز CO_2 در بسته‌بندی در تغییرات pH تاثیرگذار است بطوریکه مقدار pH در ترکیب گازی ٪۱۵ CO_2 به میزان ۲/۹ بدست آمد. میزان تاثیرگذاری اتمسفر اصلاح شده در لیموترش و پرتقال خونی تقریبا به یک اندازه بوده و تاثیر معناداری نسبت به نمونه شاهد را به وجود آورد.

تغییرات کاهش وزن در هفته های انتهایی به دلیل افزایش فعالیت های متابولیکی و همچنین رشد سریع میکروبی با تخریب بافت میوه می‌باشد. این نتایج را در پژوهش‌های زیر نیز می‌توان دریافت. در پژوهشی تاثیر ترکیبات گازی مختلف بر روی انار مورد بررسی قرار گرفت و گزارش دادند که کاهش اکسیژن در ترکیب گازی، سبب کاهش تنفس در محصول می‌شود که به دنبال آن باعث به تأخیر انداختن کاهش کیفیت و افزایش pH محصول در طول انبارمانی می‌شود (۹). در تحقیقی دیگر بر روی میوه گلابی و استفاده از ترکیب مشابه ٪۱۵ CO_2 و ٪۱۰ CO_2 گزارش کردند که میزان بیشتر دی اکسید کربن در pH میوه گلابی تاثیر معناداری ندارد (۱۰).

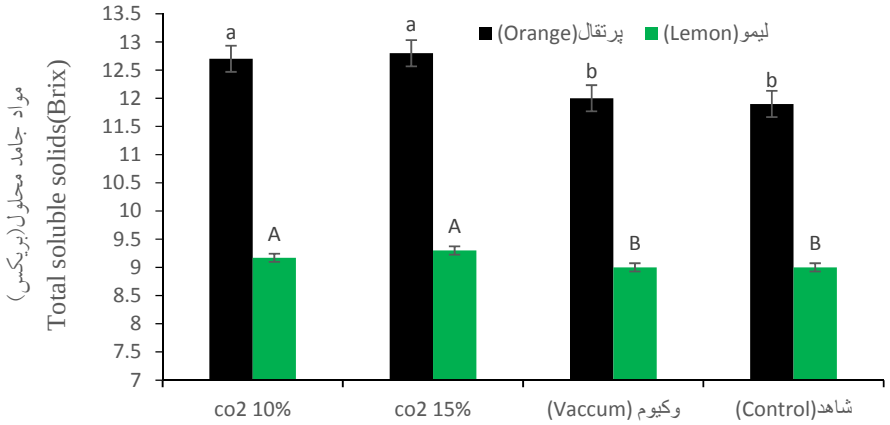
مواد جامد محلول: بررسی حاصل از تجزیه داده‌ها نشان می‌دهد اتمسفر اصلاح شده تفاوت معناداری در میزان مواد جامد محلول ایجاد نموده است. همانطور که در شکل ٤ نشان داده شده میزان مواد جامد محلول در اتمسفر اصلاح شده برای پرتقال حدود ۷٪ و برای لیمو حدود ۳٪، نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است که بخشی از این مواد مربوط به آب موجود در

پرتقال می‌باشد که کاهش پیدا میکند. میزان تغییر مواد جامد محلول در نمونه‌های قرار گرفته شده تحت اتمسفر اصلاح شده نسبت به نمونه‌های شاهد به‌طور معناداری کمتر بود. در پژوهشی مشخص شده است که حل شدن پلی اورونیدها و همی سلولزهای دیواره سلولی در میوه رسیده ممکن است منجر به تغییر مواد جامد محلول شوند (۱۱). طبق نتایج بدست آمده، ترکیبات گازی ۱۵٪ CO_2 و ۱۰٪ CO_2 تاثیر زیادی بر حفظ مواد جامد محلول داشتند که آن می‌تواند به دلیل وجود مقادیر بالای دی اکسید کربن باشد که باعث تنفس کمتر می‌شود. با این حال بین دو ترکیب گازی اختلاف معناداری در حفظ مواد جامد محلول وجود نداشت اما ترکیب گازی ۱۵٪ CO_2 کمی بهتر بوده است. از آنجایی که مواد محلول جامد در کنار pHیک فاکتور مهمی در ایجاد طعم پرتقال است، حفظ مقدار مواد جامد محلول ضروری است.



شکل ۳- تاثیر اتمسفر اصلاح شده در pH پرتقال و لیمو در مدت انبارمانی.

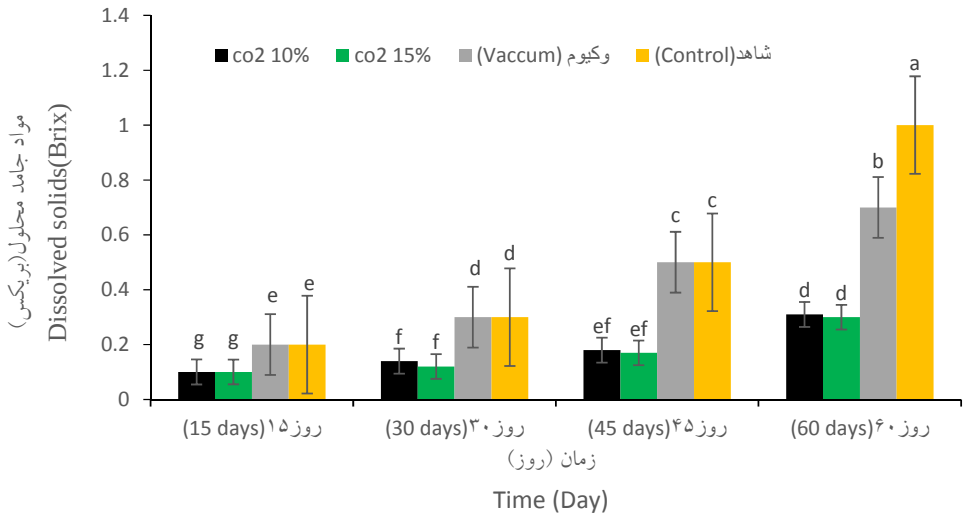
Figure 3. Effect of modified atmosphere on pH of oranges and lemons during storage.



شکل ٤- روند تغییر مواد جامد محلول در پایان دوره انبارمانی.

Figure 4. The trend of changes in dissolved solids at the end of the storage period.

با توجه به شکل ۵ بیشترین تغییر در مواد جامد محلول در نیمه دوم انبارمانی اتفاق افتاد. در پژوهشی برای میوه سیب گزارش شد، به دلیل این که میزان رطوبت میوه با افزایش زمان نگهداری کاهش می‌یابد، میزان مواد جامد محلول هم زیاد می‌شود (۱۲). در تحقیقی دیگر نیز گزارش دادند که اتمسفر اصلاح شده، متابولیسم میوه و میزان تنفس را کاهش می‌دهد که منجر به حفظ و نگهداری سوبستراهای تنفس گردیده و به نوبه خود فرآیند رسیدن پس از برداشت را به تاخیر می اندازد (۱۳). معصوم نیا و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی بر روی میوه گلابی با استفاده از ترکیبات گازی ۱۰ درصد دی‌اکسید کربن بر روی میوه گلابی گزارش دادند که استفاده از اتمسفر اصلاح شده با این ترکیب تاثیر معناداری در حفظ مواد جامد محلول نسبت به نمونه شاهد دارد (۱۰).

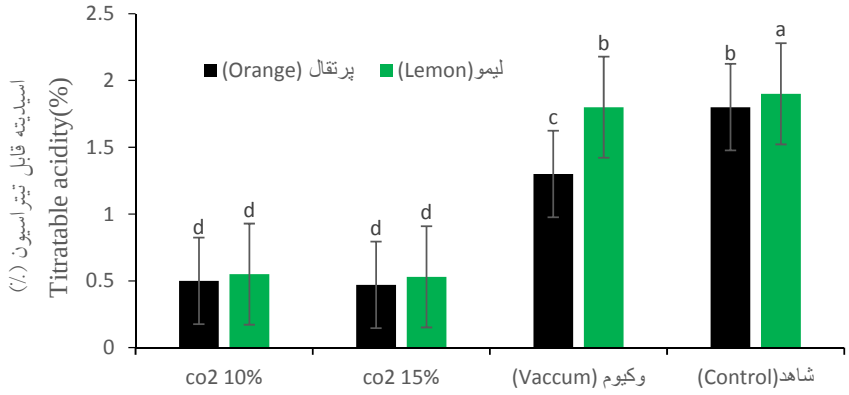


شکل ۵- روند تغییرات مواد جامد محلول پرتقال در ٤ مرحله انبارمانی.

Figure 5. Trend of changes in soluble solids of oranges during 4 storage stages.

اسیدیته قابل تیتراسیون: بررسی نتایج حاصل از تجزیه داده ها در جداول ۱ و ۲ نشان داد که اتمسفراصلاح شده و زمان نگهداری تاثیر معناداری و اثر متقابل آنها تاثیر معناداری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و بر اسیدیته قابل تیتراسیون داشت. با توجه به شکل ٦ میزان اسیدیته قابل تیتراسیون از حدود ۲/۹ درصد در نمونه شاهد به حدود ۰/۵٪ در نمونه با اتمسفر اصلاح شده کاهش یافته است. اسیدیته قابل تیتراسیون که اغلب به عنوان نشانه ای از بلوغ محصول به شمار می‌رود در مرحله رسیدن میوه کاهش می‌یابد. کاهش اسید آلی در طول دوره انبارمانی ممکن است به تبدیل اسید ارگانیک به قند و مشتقات آن و یا بکارگیری آنها در تنفس بستگی داشته باشد. ترکیبات گازی بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون تاثیر معنی داری دارد و در بین ۲ ترکیب ۱۰٪ CO_2 و ۱۵٪ CO_2 ترکیبی که دی‌اکسید کربن بیشتری را دارد تاثیر مثبت‌تری دارد که این عامل هم به میزان تنفس و کنترل اتمسفر داخلی میوه توسط دی‌اکسید کربن بر می‌گردد. اسیدهای آلی نه تنها روی ترشی میوه بلکه با پوشاندن مزه قندها روی تنفس در طول دوره انبارداری در شیرینی میوه نیز تاثیر دارند. البته سوختن کربوهیدرات‌ها در فرایند تنفس قبل از اسیدهای آلی انجام می‌شود. در پژوهشی در همین راستا بر روی میوه انار گزارش شد بسته‌بندی اتمسفراصلاح شده

(نیتروژن ۹۹ ٪ + اکسیژن ۱٪، نیتروژن ۹۷ ٪ + اکسیژن۳٪ و نیتروژن ۹۵ ٪ + اکسیژن ۵٪) باعث افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون می‌شود. که با نتایج سایر پژوهش‌ها همخوانی ندارد که می‌توان به دلیل عدم حضور دی‌اکسید کربن باشد (۱٤). بیشترین تغییر اسیدیته قابل تیتراسیون در ۱۵ روز انتهایی انبارمانی اتفاق می‌افتد، نتایج حاصل از استفاده از روش بسته‌بندی وکیوم نشان می‌دهد که این روش به دلیل حذف اتمسفر درون بسته‌بندی موجب عدم همسازی میوه و اتمسفر درون آن با اتمسفر محیط می شود و این موضوع باعث تغییر معناداری در صفات فیزیکی و شیمیایی میوه می‌شود.

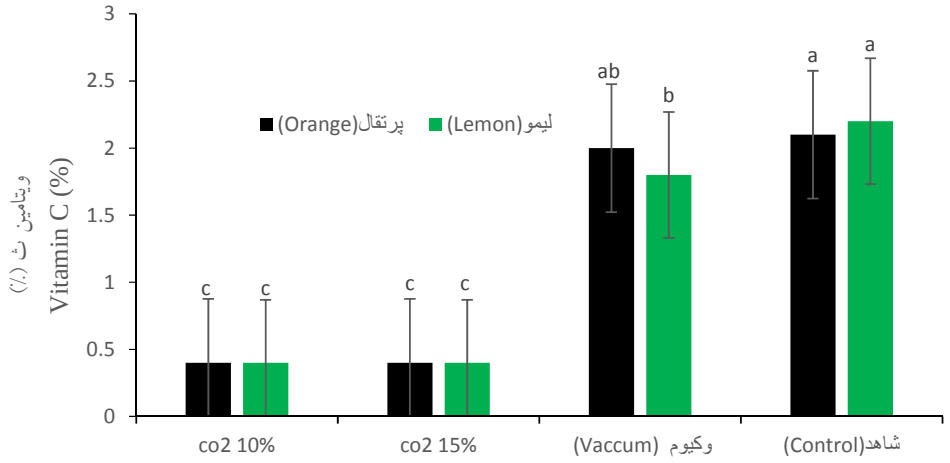


شکل ٦- تاثیر اتمسفر اصلاح شده بر اسیدیته قابل تیتراسیون در پایان دوره انبارمانی.

Figure 6. Effect of modified atmosphere on titratable acidity at the end of the storage period.

ویتامین C: در بررسی جداول ۱ و ۲ پوشش اتمسفر اصلاح شده تاثیر معناداری در کاهش میزان ویتامین C در دوره انبارمانی داشت اما بسته‌بندی وکیوم تاثیری در حفظ میزان ویتامین در میوه لیمو و پرتقال نداشتند. با بررسی نتایج حاصل مقدار اسکوربیک اسید در هر چهار نمونه شاهد و وکیوم و اتمسفر تغییر داده شده، کاهش یافت. این تغییرات برای نمونه شاهد ۲/۲ درصد و برای نمونه اتمسفر اصلاح شده حدود ۰/٤ درصد بدست آمد. کاهش مقدار اسکوربیک اسید ممکن است به علت به تعویق افتادن تولید و یا زوال سریع اسکوربیک اسید باشد. مقدار اسکوربیک اسید در هر دو میوه‌های شاهد و اتمسفر تغییر یافته غیرفعال در طی ۱۲۰ روز نگهداری در دمای ٦ درجه سلسیوس به طور پیش رونده کاهش یافت و میوه‌های شاهد هوای آزاد همواره مقدار بیشتری اسکوربیک اسید نسبت به میوه های اتمسفر تغییر یافته غیره فعال داشتند، اما پس از ۱۸۰ روز نگهداری اختلاف معناداری بین میوه‌های شاهد و اتمسفر تغییر یافته مشاهده نشد (۱۵). در مقایسه با هوای آزاد، شرایط اتمسفر کنترل شده و افزایش مقدار CO_2 در اتمسفر گازی اطراف میوه‌ها شرایط مناسب‌تری را برای حفظ اسکوربیک اسید ایجاد نموده است. بررسی گوناگون نیز نشان می‌دهد که اتمسفر کنترل شده در فضای سرشار از اکسیژن برای محصول‌هایی مانند مارچوبه سبز و برش های گلابی تازه باعث شده است که اکسایش اسکوربیک اسید به دلیل اکسیژن زیاد تسریع شود (۱٦). بر اساس گزارشی نیز اکسایش انار دانه‌ها به دلیل حضور اکسیژن تسریع شد و مقدار اسکوربیک اسید در نمونه‌هایی که در معرض اکسیژن قرار گرفته بودند به طور چشم گیری کاهش یافت (۱۷). انبارمانی

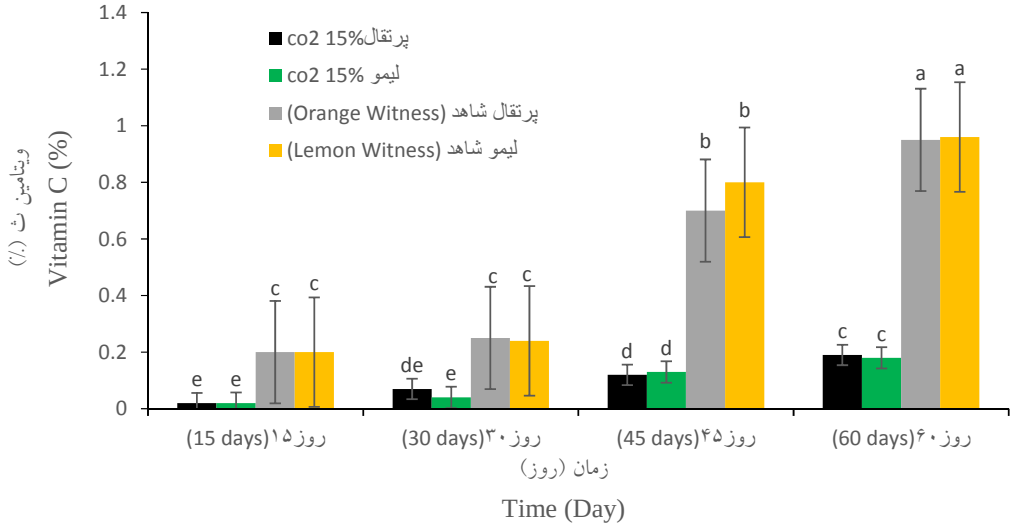
طولانی منجر به تولید اتیلن می‌گردد و تولید اتیلن در مرکبات موجب افزایش تنفس و مصرف قند می شود و از آنجایی که با افزایش شدت تنفس نسبت مواد آلی و بالانس آن بهم می‌ریزد این بهم ریختگی در کاهش میزان ویتامین C نمایان می‌شود که استفاده از پوشش مناسب باعث حفظ تعادل مواد و اسید آلی در نتیجه میزان ویتامین C می‌شود.



شکل ۷- میزان تاثیر اتمسفر اصلاح شده بر میزان ویتامین C در دوره انبارمانی.

Figure 7. The effect of modified atmosphere on vitamin C content during storage.

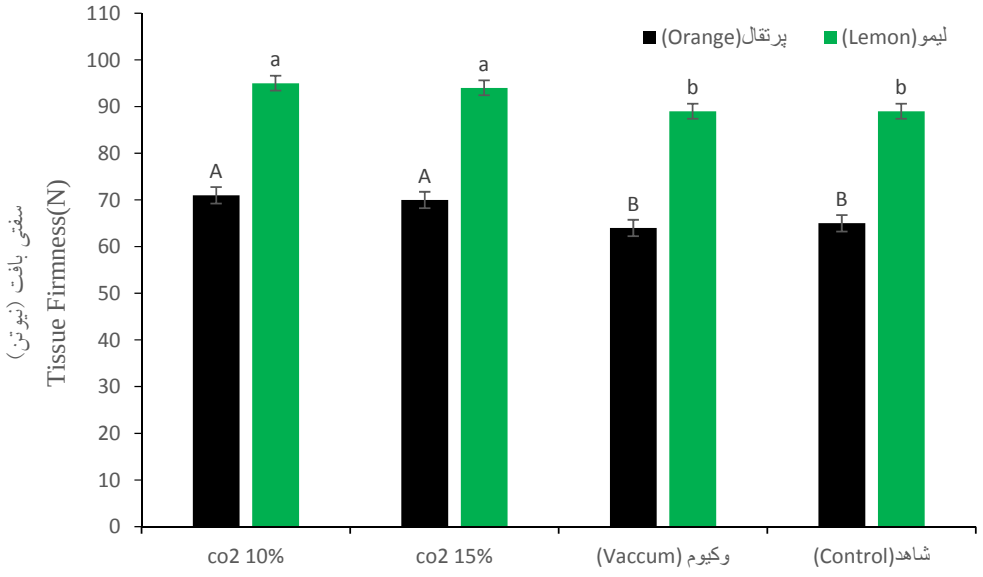
طبق شکل ۸ بیشترین میزان تغییر در میزان ویتامین C در نیمه دوم انبار مانی به خصوص ۱۵ روز انتهایی آن مشاهده شد که نشان می‌دهد با توجه به سرعت گرفتن روند پیری و تغییرات اسیدیته قابل تیتر که اسیدهای آلی در آن وجود دارند میزان ویتامین C هم به طور معناداری کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۸- تاثیر اتمسفر اصلاح شده بر میزان ویتامین c در طول انبارمانی.

Figure 8. Effect of modified atmosphere on vitamin C content during storage.

سفتی بافت: بررسی نتایج به دست آمده از جداول ۱ و ۲ مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تمامی تیمارها با گذشت زمان نگهداری نرم تر شده و از سفتی بافت آنها کاسته شده است. مطابق شکل ۹ سفتی بافت در نمونه شاهد برای پرتقال ۷٪ و برای لیمو حدود ۱۰٪ کاهش یافت. کاهش تنفس و کاهش از دست دادن رطوبت در حفظ سفتی بافت در طول انبارمانی نقش دارند. در پایان دوره انبارمانی ترکیب گازی (۱۵٪ CO_2 + ۱۰٪ O_2) بیشترین و وکیوم کمترین حفظ سفتی بافت را داشتند علت آن را می‌توان به از دست دادن آب میوه و تخریب ترکیبات پکتیکی دیواره سلولی نسبت داد افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و کاهش غلظت اکسیژن، شدت تنفس و فعالیت‌های متابولیکی میوه را به حداقل می‌رساند و بسته‌بندی در اتمسفر اصلاح شده با کاهش یا جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پکتین موجب حفظ سفتی بافت میوه و کاهش تولید اتیلن می‌شود.



شکل ۹- میزان تاثیر اتمسفر اصلاح شده بر تغییرات سفتی بافت در مدت انبارمانی.

Figure 9 - Effect of modified atmosphere on changes in tissue stiffness during storage.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی دو نوع محصول لیمو ترش محلی از ارقام بومی مازندران و پرتقال سانگین با استفاده از روش اتمسفر اصلاح شده طی دوره انبارداری مورد بررسی قرار گرفت. در روش بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده نمونه‌ها با دو ترکیب گازی (۱۰٪ CO_2 + ۱۵٪ O_2 + balance N_2) و (۱۵٪ CO_2 + ۱۰٪ O_2 + balance N_2) و تیمار وکیوم در حضور نمونه شاهد در سردخانه بالای صفر درجه با دمای نسبی ۲ تا ٤ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ ٪ به مدت ٦٠ روز قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد استفاده از اتمسفر اصلاح شده تاثیر معناداری در حفظ کیفیت میوه دارد و در تمامی شاخص‌های مورد اندازه‌گیری تاثیر معناداری داشت. ترکیب گازی دوم به مقدار بسیار کمی عملکردی بهتر نسبت به ترکیب دیگر داشت که در حالت کلی میتوان تاثیرگذاری هر دو ترکیب را یکسان فرض کرد. تاثیرگذاری اتمسفر اصلاح شده در میوه‌های پرتقال و لیمو تقریبا به یک

اندازه گزارش شد. به طور کلی می توان گفت استفاده از ترکیب گازی مناسب در اتمسفر اصلاح شده می‌تواند نقش مهمی در افزایش مدت انبارمانی و حفظ کیفیت فیزیکی و شیمیایی میوه و بازار پسندی آن و سلامت جامعه مصرف کننده ایفا کند. نتایج این تحقیق را می توان در توسعه سردخانه های بالای صفر مجهز به سیستم تزریق گاز مورد استفاده قرار داد.

References

1. Lopez-Rubira, V., Andres Allende, A. & Artes, F. (2006). Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C. Postharvest Biology and Technology, 37, 174–185.
2. Maghoumi, M., Gómez, P. A., Mostofi, Y., Zamani, Z., Artés-Hernández, F. & Artés, F. (2013). Combined effect of heat treatment, UV-C and super atmospheric oxygen packing on phenolics and browning related enzymes of fresh-cut pomegranate arils. LWT - Food Science and Technology, 54, 389–396.
3. McMillin, K. W., Huang, N. Y., Ho, C. P. & Smith, B. S. (1999). Quality and shelf-life of meat in case-ready modified atmosphere packaging. Quality attributes of muscle foods, Springer US, pp. 73-93.
4. Khosrowshahi, S. (2014). Evaluation of Modified Atmosphere Packaging (MAP) on physic-chemical and microbial properties of fresh Barberry. M. Sc. Thesis, Faculty of agriculture and natural resources, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran.
5. Maleki, G., Sedaghat, N., Farhoodi, M. & Mohebbi, M. (2018). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) on some characteristics of Royal cucumber. Science and Technics of Packaging, 8 (22), 78-85.
6. Tabatabaeikoloor, R., Ebrahimian, A. & Hashemi, J. (2016). Investigation on the effect of temperature, packaging material and modified atmosphere on the quality of tomato. Food Science and Technology, 51(3), 1-13.
7. Tabatabaee, R., and Ranjbar, A. (2024). Agricultural and food waste management. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publications. 320 pp.
8. Mahajan, P.V., Caleb, O.J., Singh, Z., Watkins, C.B. & Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of freshproduce. Philos. Trans. R. Soc. A 372:1471- 2962.
9. Tavassoli, S., Barzegar, M. & Hamidi, Z. (2013). Effect of packaging with modified atmosphere method on physicochemical properties and shelf life of pomegranate seeds. 21st National Congress of Science and Technology, Iran, 7-9 Nov, Shiraz University.
10. Masoumnia, A., Tabatabaeikoloor, R. & Motevali, A. (2021). Investigating the Synergistic Effect of Edible Coatings and Modified Atmosphere on the Quality Characteristics and Shelf Life of Pear. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 52(3): 421- 434.
11. Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Valle, V. D., Velez, D. & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry quality. Food Chemistry, 110, 428-435.
12. Ghavidel, R. A., Davoodi, M. G., & Adib, A. F. (2013). Effect of selected ediblecoatings to extend shelf-life of fresh-cut apples. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 6(16), 1171-1178.
13. Diaz-Mula, H. M., Martinez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M. & Valero, D. (2011). Modified atmosphere packaging of yellow and purple plum cultivars. 1. Effect on organoleptic quality. Postharvest Biology and Technology, 61, 103-109.
14. Safizadeh, M. R. (2019). Implementation and performance evaluation of a modified atmosphere packaging system with active CO_2-free for the preservation of pomegranate fruits. 11th Iranian Horticultural Sciences Congress. https://civilica.com/doc/941232
15. Selcuk, N. & Erkan, M. (2015). Changes in phenolic compounds and antioxidant activity of sour-sweet pomegranates cv. 'Hicaznar'during long- term storage under modified atmosphere packaging. Postharvest Biol. Thechnol. 109:30-39.

16. Li, T. & Zhang, M. (2015). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) with silicon gum film windowon the quality of stored green asparagus (Asparagus officinalis L.) spears. LWT- Food Sci. Thechnol. 60:1046-1053.
17. Belay, Z.A., Caleb, O.J. & Opara, U.L. (2017). Impact of low and super-atmospheric oxygen concentration on quality attributes, phytonutrient content and volatile compounds of minimally processed pomegranate arils (cv. Wonderful). Postharvest Biol. Thechnol. 124:119-127.