J. Agric. Mech., 9 (3):15-31 (2024)

Journal of
Agricultural Mechanization

Online ISSN: 2717-4107
Journal homepage: https://jam.tabrizu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Investigating the Effect of Chitosan Edible Coating, Modified Atmosphere Packaging, and Nano Packaging Film on Improving the Quality Characteristics of Zucchini (Cucurbita Pepo L.)

Mehdi Moradi[1], Ebrahim Ahmadi[1]*, Farshad dashti[2]

1- Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran
2- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran

ARTICLE INFO

***Keywords*:**

Controlled Atmosphere,

Packaging,

Qualitative Properties,

Zucchini

Received:
August 24, 2024

Revised:
October 21, 2024

Accepted:
October 23, 2024

*** Corresponding author:**

eahmadi@basu.ac.ir

ABSTRACT

Storage of agricultural products is one of the post-harvest operations. The increase in food waste and the emphasis on fresh consumption of these products doubles the importance of storing them after harvest. Therefore, it is very important to use methods such as a modified atmosphere, edible chitosan coating, and nano packaging film to increase shelf life and maintain the quality of agricultural products. Zucchini is one of the agricultural products that, due to having a lot of water, after a few days of storage, its quality decreases. In this research, the physicochemical and mechanical properties of this product, during the storage period were evaluated by factorial test in a completely randomized design. Zucchini product after harvesting from the farm is covered with 0.5% chitosan solution and with two types of films, including silicone nanoemulsion film and normal, and also in two environments including modified atmosphere (5% oxygen, 10% carbon dioxide, and 85 % nitrogen) and normal atmosphere, packed and stored at 4°C. The storage time for the samples was 20 days. Chemical properties (total soluble solids, pH, titratable acidity, and phenol), physical properties (color changes and weight loss), and mechanical properties (penetration force, elasticity modulus, and penetration energy) were evaluated during the storage period every four days. The results showed that the total soluble solids and color changes (ΔE) in the uncoated package containing modified atmosphere and nanofilm had the least changes. The coated package containing a modified atmosphere and nanofilm reduced the changes in pH factors, titratable acidity, weight loss, and penetration force. The modified atmosphere showed a positive performance in reducing the changes of phenol. Also, the combination of modified atmosphere and nanofilm prevented the increase of changes in elasticity modulus and penetration energy.

Introduction

Fruits and vegetables are of particular importance in human nutrition and have significant health benefits. Hence, increasing consumer demand has led to increased focus on the production and quality control of these products. Zucchini (Cucurbita pepo L.) is a common vegetable widely cultivated in temperate regions of Europe, America, and Asia. Zucchini and other agricultural products experience a decline in quality after harvest due to water loss and reduced firmness, which leads to significant economic losses. Post-harvest losses of zucchini increase with improper packaging. When the product is damaged, cellular respiration increases. Increased respiration rate increases ethylene production, accelerates the ripening and aging process, and reduces the quality and shelf life of fruits and vegetables. One of the techniques for reducing waste is the use of appropriate packaging and cold storage to reduce the metabolic activity of agricultural products, which leads to a decrease in respiration rate, ethylene production, microbial activity, and ripening, as a result, it increases the post-harvest shelf life of these products. The use of a modified atmosphere is also very useful in maintaining the quality of the product during the storage period. In this method, the gas inside the package is replaced with a different composition of the atmosphere. This composition includes a low concentration of oxygen and a high concentration of carbon dioxide, which prevents oxidation and microbial spoilage and preserves the quality of the product. Edible coatings such as chitosan are placed as a layer on the product and effectively reduce microbial growth and also act as a barrier against oxygen and moisture, increasing the shelf life of the product. Packaging products with conventional films may not be as effective due to permeability to gases and water

How to cite:
Moradi, M., Ahmadi, E., and Dashti, F. (2024). *Investigating the Effect of Chitosan Edible Coating, Modified Atmosphere Packaging, and Nano Packaging Film on Improving the Quality Characteristics of Zucchini (Cucurbita Pepo L.).* Journal of Agricultural Mechanization, 9 (3):15-31. **https://doi.org/10.22034/jam.2024.63091.1288.**

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

vapor, a problem that can be solved by using nano-reinforced materials. A large number of food packaging companies are using nanotechnology to improve moisture and gas barrier properties. This study aimed to investigate the effect of modified atmosphere packaging, chitosan coating, and nanofilm on the quality properties of zucchini at 4°C during storage.

Materials and Methods

The zucchini required in this study were obtained from a farm located in Hamedan city. The zucchini was carefully picked so as not to be damaged and transferred to the Mechanical Properties and Rheology Laboratory of the Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan. An attempt was made to use samples of the same size, without mechanical or microbial damage. The samples were packaged coated with chitosan powder and uncoated in two packaging films, including a nanofilm made of silicone nanoemulsion purchased from Nano Bespar Aytak Company and a regular film made of light polyethylene, with two types of atmospheres (modified atmosphere with a gas mixture of 5% oxygen, 10% carbon dioxide, and 85% nitrogen, and regular atmosphere). Three zucchinis were placed in each package and stored at 4 °C for 20 days. The experiments were performed every 4 days. The effects of modified atmosphere treatments, chitosan coating, and nanofilm on chemical properties (total soluble solids, pH, titratable acidity, and phenol), physical properties (weight loss and color changes), and mechanical properties (penetration force, elasticity modulus, and penetration energy) at 4°C at the end of 20 days of storage were investigated in a completely randomized design with factorial experiments.

Results and Discussion

Examination of total soluble solids showed that the greatest changes occurred in the uncoated package with normal atmosphere and normal film and the uncoated package with modified atmosphere and nanofilm had the least amount of change. Regarding pH and acidity, the coated package containing modified atmosphere and nanofilm had the least changes, and the most changes were observed in the uncoated package containing normal atmosphere and normal film. The lowest phenol changes were observed at the end of the storage period in the uncoated package containing modified atmosphere and regular film and the phenol changes were greater in the uncoated package containing regular atmosphere and regular film than in the other packages. At the end of the storage period, the highest and lowest ΔE were found in the coated package containing normal atmosphere and normal film and the uncoated package containing modified atmosphere and nanofilm, respectively. The increasing trend of ΔE in packages containing normal atmosphere increased more rapidly. The combination of chitosan coating, modified atmosphere, and nanofilm controlled the weight loss of zucchini, and the uncoated package with normal atmosphere and the normal film had the highest weight loss. The coated package containing a modified atmosphere and nanofilm had a higher penetration force, and the uncoated package containing a normal atmosphere and normal film could not prevent the decrease in penetration force and caused a decrease in the firmness of the samples. The combination of modified atmosphere and nanofilm slowed down the decreasing changes in elastic modulus and penetration energy, and these two parameters decreased in the uncoated package containing normal atmosphere and normal film. In general, storing products in optimal conditions preserves their quality because, under these conditions, their respiration and ethylene production are reduced.

Conclusion

In conclusion, the study effectively demonstrated that using modified atmosphere packaging, chitosan coating, and nanofilm technology significantly enhances the quality preservation of zucchini during storage at 4°C. The results indicated that:

1. Chemical Stability: The combination of modified atmosphere and chitosan coating was most effective in maintaining the chemical properties of zucchini, including total soluble solids, pH, and titratable acidity. The uncoated zucchini in normal atmospheric conditions showed the most significant chemical degradation, underscoring the importance of protective treatments.
2. Phenolic Content Preservation: The preservation of phenolic compounds, which contribute to the nutritional value of zucchini, was optimized in packages utilizing modified atmosphere conditions. The uncoated packages under normal atmospheric conditions exhibited the highest degradation of these beneficial compounds.
3. Physical Quality Maintenance: The visual quality, measured by color changes (ΔE), was best preserved in the uncoated package with a modified atmosphere and nanofilm. In contrast, the normal atmosphere led to more rapid color degradation, emphasizing the role of controlled environments in maintaining product appeal.
4. Weight Loss Reduction: The study highlighted that combining chitosan coating, modified atmosphere, and nanofilm effectively minimized weight loss during storage. The uncoated packages in normal atmospheric conditions experienced significant weight loss, negatively impacting product quality.
5. Mechanical Properties: The penetration force measurements indicated that the firmness of zucchini was best preserved in the coated packages with modified atmosphere and nanofilm. Conversely, uncoated packages in normal conditions showed a decline in firmness, which could affect consumer acceptance.
6. Overall Quality Preservation: The findings suggest that optimal storage conditions—characterized by reduced respiration rates and ethylene production—are crucial for maintaining the quality of fresh produce like zucchini.

The research provides valuable insights into effective preservation strategies for zucchini, highlighting the potential for improved shelf life and quality through innovative packaging methods. Future studies could explore the broader applicability of these techniques across different types of fresh produce to further validate their effectiveness in extending shelf life and preserving quality.

نشریه
مکانیزاسیون کشاورزی
شاپا الکترونیکی: 2717-4107
درگاه نشریه: https://jam.tabrizu.ac.ir

مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر پوشش خوراکی کیتوزان، بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده و فیلم بسته‌بندی نانو بر بهبود ویژگی‌های کیفی کدو سبز (*Cucurbita pepo L.*)

مهدی مرادی[1]، ابراهیم احمدی[1*]، فرشاد دشتی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲

۱- گروه مهندسی بیوسیستم - دانشکده کشاورزی - دانشگاه بوعلی سینا - همدان - ایران
۲- گروه باغبانی - دانشکده کشاورزی - دانشگاه بوعلی سینا - همدان - ایران
* مسئول مکاتبه E-mail: eahmadi@basu.ac.ir

چکیده

نگهداری محصولات کشاورزی یکی از عملیات‌های مهم پس از برداشت می‌باشد. افزایش روز افزون ضایعات مواد غذایی و تأکید بر مصرف تازه این محصولات، اهمیت نگهداری آن‌ها را پس از برداشت دو چندان می‌کند. از این‌رو بکارگیری روش‌هایی مانند استفاده از اتمسفر اصلاح شده، پوشش خوراکی کیتوزان و فیلم بسته‌بندی نانو برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت محصولات کشاورزی از اهمیت بسزایی برخوردار است. کدو سبز یکی از محصولات کشاورزی است که به دلیل دارا بودن آب زیاد پس از چند روز نگهداری دچار کاهش کیفیت می‌گردد. در این پژوهش خواص فیزیکوشیمیایی و مکانیکی این محصول در طول دوره نگهداری با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت. محصول کدو سبز پس از برداشت از مزرعه با محلول کیتوزان ۰/۵ درصد پوشش‌دهی و با دو نوع فیلم نانو امولسیون سیلیکونی و معمولی و همچنین در دو محیط شامل اتمسفر اصلاح شده (۵٪ اکسیژن، ۱۰٪ دی اکسید کربن و ۸۵٪ نیتروژن) و اتمسفر معمولی، بسته‌بندی و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. زمان نگهداری برای نمونه‌ها ۲۰ روز بود. در طول دوره نگهداری به صورت چهار روز یک بار خواص شیمیایی (مواد جامد محلول کل، pH، اسیدیته تیتراسیون و فنل)، خواص فیزیکی (تغییرات رنگ و کاهش وزن) و خواص مکانیکی (نیروی نفوذ، مدول الاستیسیته و انرژی نفوذ) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد مواد جامد محلول و تغییرات رنگ (ΔE) در بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو کمترین تغییرات را داشتند. بسته پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو موجب کاهش تغییرات در فاکتورهای pH، اسیدیته تیتراسیون، کاهش وزن و نیروی نفوذ شد. اتمسفر اصلاح شده عملکرد مثبتی در کاهش تغییرات فنل نشان داد. همچنین ترکیب اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو از افزایش تغییرات مدول الاستیسیته و انرژی نفوذ جلوگیری کرد.

کلمات کلیدی: اتمسفر کنترل شده، بسته‌بندی، خواص کیفی، کدو سبز

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

۱- مقدمه

میوه‌ها و سبزی‌ها در تغذیه انسان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند و دارای مزایای سلامتی قابل توجه می‌باشند. از این‌رو افزایش تقاضای مصرف‌کننده، منجر به افزایش تمرکز بر تولید و کنترل کیفیت این محصولات شده است. با این حال چالش‌هایی مانند افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت همچنان پابرجاست (Demircan & Velioglu, 2024).

کدو سبز با نام علمی (*Cucurbita pepo L.*)، متعلق به خانواده کدوئیان (*Cucurbitaceae*) می‌باشد. این محصول یک سبزی رایج است که به طور گسترده در مناطق معتدل در اروپا، آمریکا و آسیا کشت می‌شود (Cagliani & Consonni, 2024). ایران با سطح زیر کشت ۴۵۲۰۰ هکتار و با تولید بیش از ۶۹۶۰۰۰ تن کدو، پنجمین تولیدکننده کدو در جهان می‌باشد (Anonymous, 2010). با توجه به انجام اقداماتی برای کاهش ضایعات و تلفات مواد غذایی و همچنین علی‌رغم استفاده گسترده از فناوری‌های نگهداری، میزان تلفات و ضایعات میوه‌ها و سبزی‌ها بسیار بالا است و به ۴۰ تا ۴۶ درصد کل تلفات و ضایعات مواد غذایی می‌رسد (Matar et al., 2021). همچنین ضایعات این محصولات در ایران بیش از ۲۷ درصد است (Ahmadi Roshan et al., 2022). کدو سبز و سایر محصولات کشاورزی، پس از برداشت به دلیل از دست دادن آب و کاهش سفتی دچار کاهش کیفیت می‌شوند که به ضرر اقتصادی قابل توجهی می‌انجامد (Megías et al., 2015). ضایعات پس از برداشت کدو سبز با بسته‌بندی نامناسب افزایش می‌یابد. بسیاری از تلفات پس از برداشت به دلیل حمل و نقل و توزیع از مزرعه به محل فروش به وجود می‌آیند که ناشی از حمل و نقل بیش از حد و بسته‌بندی نامناسب است. وقتی محصول دچار آسیب می‌شود تنفس سلول‌ها افزایش می‌یابد. افزایش سرعت تنفس باعث افزایش تولید اتیلن، تسریع فرآیند رسیدن و پیری، کاهش کیفیت و عمر مفید میوه‌ها و سبزی‌ها می‌گردد. یکی از تکنیک‌های کاهش ضایعات، استفاده از بسته‌بندی مناسب و نگهداری در سردخانه با هدف کاهش فعالیت متابولیک محصولات کشاورزی است که به دنبال آن کاهش سرعت تنفس، تولید اتیلن، فعالیت میکروب‌ها، رسیدگی و پیری را در پی دارد. در نتیجه باعث افزایش طول عمر پس از برداشت این محصولات می‌شود (Moura Guerra et al., 2020; Cagliani & Consonni, 2024).

یکی از کارآمدترین روش‌های حفظ کیفیت محصول در طول دوره نگهداری، استفاده از اتمسفر اصلاح شده است. در این روش گاز داخل بسته با ترکیبی متفاوت از اتمسفر جایگزین می‌شود. این ترکیب شامل غلظت اکسیژن پایین و کربن‌دی‌اکسید بالا می‌باشد که از اکسیداسیون و فساد میکروبی جلوگیری کرده و کیفیت محصول حفظ می‌گردد (Qu et al., 2022). بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده به دو دسته فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی می‌شود. در نوع فعال گاز داخل بسته به طور کامل خارج شده و خلاء ایجاد می‌شود و گازی با ترکیب مشخص وارد بسته می‌گردد. ولی در نوع غیرفعال، نمونه با فیلم موردنظر بسته‌بندی شده و ترکیب گازی داخل بسته بر اثر تنفس محصول و نفوذپذیری فیلم بسته‌بندی ایجاد می‌شود (Oz et al., 2014).

پوشش‌های خوراکی نیز در به حداقل رساندن تلفات پس از برداشت نقش مهمی را ایفا می‌کنند (Priya et al., 2023). این پوشش‌ها مانند کیتوزان به عنوان یک لایه روی محصول قرار گرفته و به طور مؤثری رشد میکروب‌ها را کاهش می‌دهند و همچنین به عنوان یک مانع در برابر اکسیژن و رطوبت عمل کرده و باعث افزایش ماندگاری محصول می‌گردند. این پوشش‌ها اغلب برای میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده می‌شوند (Patil et al., 2023).

بسته‌بندی محصولات با فیلم‌های معمولی ممکن است به دلیل نفوذپذیری در برابر گازها و بخارآب نتیجه مطلوبی نداشته باشد، این مشکل با استفاده از مواد تقویت‌کننده نانو قابل حل است. تعداد زیادی از شرکت‌های بسته‌بندی مواد غذایی از کاربرد فناوری نانو با هدف بهبود خواص بازدارندگی در برابر رطوبت و گازها استفاده می‌کنند (Fatyeyeva et al., 2017). مواد نانو به حفظ کیفیت، حفظ مواد مغذی و ایمنی مواد غذایی کمک می‌کنند (Nath et al., 2022). Yousefnia Pasha et al. (2023) اثر مثبت بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو بر حفظ خواص کیفی توت‌فرنگی مانند کاهش وزن، مواد جامد محلول، اسیدیته و سفتی را گزارش کردند. اثر مثبت بسته‌بندی با فیلم نانو در به تاخیر انداختن رسیدگی هلو و کاهش تغییرات فیزیولوژیکی آن در طول دوره نگهداری در دمای پایین گزارش گردیده است (Ebrahimi et al., 2017). همچنین در پژوهش دیگری اثر پوشش‌های خوراکی بر روی موز بررسی شد. نتایج نشان داد پوشش‌ها نقش بسزایی در کاهش سرعت تنفس ایفا کردند و همچنین تولید اتیلن، کاهش وزن، کاهش سفتی و تغییرات رنگ را به تأخیر انداختند (Odetayo et al., 2022). Majidi et al. (2012) در تحقیقی که بر روی گوجه‌فرنگی انجام دادند گزارش کردند که نگهداری نمونه‌ها در اتمسفر کنترل شده و اصلاح شده به طور قابل توجهی فرآیند رسیدن آن‌ها را به تاخیر انداخت و همچنین شاخص‌های کیفی گوجه‌فرنگی شامل سفتی، تغییرات رنگ، اسیدیته و مواد جامد محلول در مقایسه با تیمار شاهد بهتر حفظ شد.

تاکنون تحقیقی به صورت بررسی اثر همزمان اتمسفر اصلاح شده، پوشش کیتوزان و فیلم نانو بر خواص کیفی کدو سبز (کدو خورشی) صورت نگرفته است به همین دلیل این پژوهش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده، پوشش کیتوزان و فیلم نانو بر تغییرات مواد جامد محلول، pH، اسیدیته تیتراسیون، فنل، تغییرات رنگ، کاهش وزن و خواص مکانیکی (آزمون پانچری) کدو نگهداری شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد (دمای یخچال) بوده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه محصول و آماده‌سازی

کدو سبز از یک مزرعه واقع در شهر همدان تهیه شد. کدوها با دقت، به طوری‌که آسیب نبینند چیده شده و به آزمایشگاه خواص مکانیکی و رئولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان

منتقل شدند. سعی شد از نمونه‌های یک اندازه، بدون هرگونه آسیب مکانیکی و میکروبی استفاده شود. پس از اعمال تیمارها و بسته‌بندی، نمونه‌ها در یخچال (دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند.

۲-۲- تیمارهای آزمایش

نمونه‌ها به صورت پوشش‌دهی شده با پودر کیتوزان و بدون پوشش در دو فیلم بسته‌بندی شامل فیلم نانو از جنس نانو امولسیون سیلیکونی خریداری شده از شرکت نانو بسپار آیتک و فیلم معمولی از جنس پلی‌اتیلن سبک، با دو نوع اتمسفر (اتمسفر اصلاح‌شده با ترکیب گازهای ۵ درصد اکسیژن، ۱۰ درصد دی‌اکسیدکربن و ۸۵ درصد نیتروژن و اتمسفر معمولی) بسته‌بندی گردیدند. در هر بسته تعداد سه عدد کدو قرار داده شد. در تیمار بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده، نمونه‌ها در بسته قرار گرفته و پس از تزریق گاز بلافاصله دوخت حرارتی انجام گرفت. نمونه‌ها به مدت بیست روز نگهداری شدند. انجام آزمایش‌ها هر چهار روز یک‌بار با سه تکرار صورت گرفت.

۲-۳- آماده‌سازی محلول کیتوزان و پوشش‌دهی نمونه‌ها

پودر کیتوزان از شرکت سیگما آلدریچ آلمان با درجه داستیلاسیون ۷۵ درصد خریداری شد. به منظور تهیه محلول کیتوزان با غلظت ۰/۵ درصد، ۵ گرم پودر کیتوزان در یک لیتر اسید استیک یک درصد حل شد. سپس pH محلول با استفاده از سدیم هیدروکسید یک نرمال بر روی ۵ تنظیم گردید. در نهایت ۲ میلی‌لیتر توئین ۸۰ به محلول اضافه شد. نمونه‌ها به مدت یک دقیقه در محلول کیتوزان غوطه‌ور شده و سپس به جهت خشک شدن به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (محیط) قرار داده شدند (Barikloo & Ahmadi, 2018b).

۲-۴- اندازه‌گیری pH

آزمایش pH به وسیله دستگاه pH متر Hanna Instruments مدل HI2250 ساخت کشور ایتالیا انجام شد. این دستگاه با محلول‌های بافر کالیبره و پس از هر بار اندازه‌گیری، الکترود آن با آب مقطر شستشو گردید.

۲-۵- اندازه‌گیری مواد جامد محلول (TSS)

به منظور اندازه‌گیری مواد جامد محلول از دستگاه رفراکتومتر ATAGO مدل PAL-1 استفاده شد. یک قطره از عصاره نمونه روی عدسی دستگاه ریخته شد و مواد جامد محلول برحسب درصد بیان گردید.

۲-۶- اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

برای اندازه‌گیری میزان اسیدیته قابل تیتراسیون، ۵ میلی‌لیتر آب کدو با ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شد و با سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH به مقدار ۸/۱ تیتر شد. مقدار سود مصرفی اندازه‌گیری شد و نتایج با رابطه (۱) برحسب میلی‌گرم اسید سیتریک (اسید غالب کدو) در هر ۱۰۰ میلی‌گرم وزن کدو بیان گردید.

$$(\%)\ TA=\frac{v_a\times N\times E}{v_n}\times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، V_a حجم سود مصرفی، N نرمالیته سود، E اکی‌والان اسید غالب (۰/۰۶۴) و V_n حجم آب نمونه

۲-۷- اندازه‌گیری فنل

برای اندازه‌گیری فنل، ابتدا عصاره نمونه تهیه شد. برای این منظور ۰/۵ گرم بافت کدو در هاون چینی به همراه ۳ میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد به‌طور کامل له و سپس صاف شد. ترکیبات فنلی با استفاده از روش فولین سیوکالتو لندازه‌گیری شد. ابتدا ۰/۲۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتو ۲۰ درصد (حجمی/حجمی) با ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره استخراج شده مخلوط شد و به مدت ۵ دقیقه در محیط تاریک در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. برای ایجاد تاریکی بیشتر و عدم برخورد نور به محلول، میکروتیوپ‌ها در فویل آلومینیومی قرار گرفتند. سپس ۰/۲۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۲۰ درصد (جرمی/حجمی) و ۰/۹ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. پس از انجام این مراحل نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در در دمای اتاق و محیط تاریک قرار گرفته و سپس به مدت ۵ دقیقه با دور ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. در نهایت از مایع رویی برداشته و جذب آن در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-1280, Shimadzo, Japan اندازه‌گیری شد. نتایج توسط منحنی استاندارد به صورت میلی‌گرم گالیک اسید به ازای هر کیلوگرم وزن تازه محاسبه شد (Castro-Cegrí et al., 2023; Singleton & Rossi, 1965).

به منظور رسم منحنی استاندارد، محلول اسیدگالیک با غلظت‌های ۴۰، ۲۰، ۱۰، ۵ و صفر پی‌پی‌ام تهیه و تمام مراحل ذکر شده برای اندازه‌گیری فنل کدو تکرار شد. با این تفاوت که غلظت‌های مختلف اسیدگالیک جایگزین عصاره نمونه‌ها گردید.

۲-۸- اندازه‌گیری تغییرات رنگ (ΔE)

برای تعیین رنگ نمونه‌ها از دستگاه رنگ‌سنج هانترلب مدل HP-200 ساخت کشور چین استفاده شد. قبل از انجام آزمایش‌ها دستگاه با پلیت‌های به رنگ سفید و مشکی متعلق به دستگاه کالیبره گردید. در این آزمون تمام نمونه‌ها از یک قسمت مورد ارزیابی قرار گرفتند. پارامترهای رنگی شامل L* (مقدار صفر نشان دهنده رنگ سیاه و ۱۰۰ نشان دهنده رنگ سفید)، a* (رنگ سبز دارای مقادیر منفی و رنگ قرمز دارای مقادیر مثبت)، b* (مقادیر منفی مشخص‌کننده رنگ آبی و مقادیر مثبت مشخص‌کننده رنگ زرد) توسط دستگاه تعیین شدند و پارامتر ΔE که نشان دهنده تغییرات رنگ در طول دوره نگهداری می‌باشد توسط رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$\Delta E=\sqrt{\Delta L^2{}_+\Delta a^2+\Delta b^2} \qquad (۲)$$

۲-۹- درصد کاهش وزن

وزن نمونه‌ها در ابتدا و در روز های آزمایش به صورت هر چهار روز یک بار با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد و درصد کاهش وزن آن‌ها طبق رابطه (۳) محاسبه شد.

$$W=\frac{m_0-m_1}{m_0}\times 100 \qquad (۳)$$

که در آن، m_0 وزن نمونه‌ها در ابتدا و m_1 وزن نمونه‌ها در روز های آزمایش است.

۲-۱۰- ارزیابی صفت مکانیکی (آزمون پانچری)

به منظور اندازه‌گیری آزمون پانچری از دستگاه بافت‌سنج مواد غذایی Zowick/ roell مدل bt1- fr0. 5th. d14. Xforce hp با ظرفیت لودسل ۵۰۰ نیوتن تولید شده در کشور آلمان استفاده شد. خواص مکانیکی شامل نیروی نفوذ، مدول الاستیسیته و انرژی نفوذ توسط نرم‌افزار دستگاه تعیین شد.

۲-۱۱- تجزیه و تحلیل داده‌ها

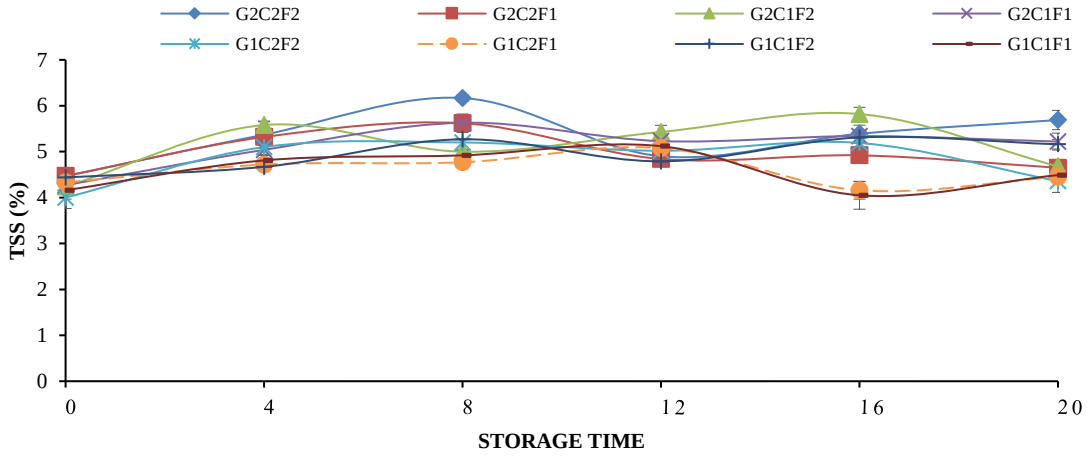
به منظور تجزیه و تحلیل آماری، ابتدا داده‌ها نرمال‌سازی شدند و سپس در قالب طرح کاملا تصادفی با آزمون فاکتوریل در نرم‌افزار SPSS-27 مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از روش چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. تمامی نمودارها با ۲۰۱۶ Excel رسم شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج مواد جامد محلول کل (TSS)

نتایج تجزیه واریانس خواص شیمیایی در جدول ۲ آورده شده است. مطابق این جدول تمام اثرات اصلی به غیر از پوشش، تمام اثرات دوگانه به جز اثرات گاز × پوشش، گاز × فیلم و پوشش × فیلم و همه اثرات سه گانه و اثر چهارگانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود.

طبق شکل ۱ تغییرات TSS در طول دوره نگهداری ابتدا روند افزایشی و سپس کاهشی داشت و مقدار آن در روز صفر ۴/۳ و در پایان دوره ۴/۸ بود. این تغییرات در بسته بدون پوشش با اتمسفر معمولی و فیلم معمولی سریع‌تر اتفاق افتاد اما در بسته بدون پوشش به همراه اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو کندتر بود. همانطور که در شکل ۱ قابل مشاهده است در پایان دوره، بیشترین تغییرات (۲۷/۲۹ درصد) در بسته بدون پوشش با اتمسفر معمولی و فیلم معمولی رخ داد و بسته بدون پوشش با اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو با مقدار ۲/۷۷ درصد کمترین تغییر را داشت. احتمالا رطوبت پوشش کیتوزان توسط نمونه جذب شده و موجب افزایش تغییرات مواد جامد محلول شده است. به طور کلی به دلیل افزایش تنفس در بسته‌های اتمسفر معمولی و فیلم معمولی، این بسته‌ها مواد جامد محلول بیشتری در مقایسه با بسته‌های اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو داشتند. در کل ترکیب اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو تاثیر مثبتی بر حفظ TSS در طول دوره نگهداری داشتند. TSS عمدتاً شامل قندها و اسیدهایی است که مستقیماً بر طعم تاثیر می‌گذارد. افزایش آن ممکن است به دلیل افزایش تنفس محصول و تولید قند باشد (Demircan & Velioglu, 2024; Yousefnia Pasha et al., 2023; Tabatabaei Kloor et al., 2016). Dehkordi et al. (2020) در تحقیق خود مشاهده کردند مقدار مواد جامد محلول در میوه خیار برش خورده در طول یازده روز نگهداری، روند کاهشی داشته است که این کاهش برای بسته‌های نانو کمتر بود. Tajeddin et al. (2020) اثر مثبت بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده در حفظ TSS را گزارش کردند. در پژوهشی که توسط Tabatabaei Kloor et al. (2016) بر روی گوجه‌فرنگی صورت گرفت مشاهده شد که در پایان نگهداری مقدار مواد جامد محلول در مقایسه با روز اول افزایش یافته است.



شکل ۱- تاثیر گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر مواد جامد محلول کل

Fig 1. Effect of gas, coating, packaging film and storage time on TSS

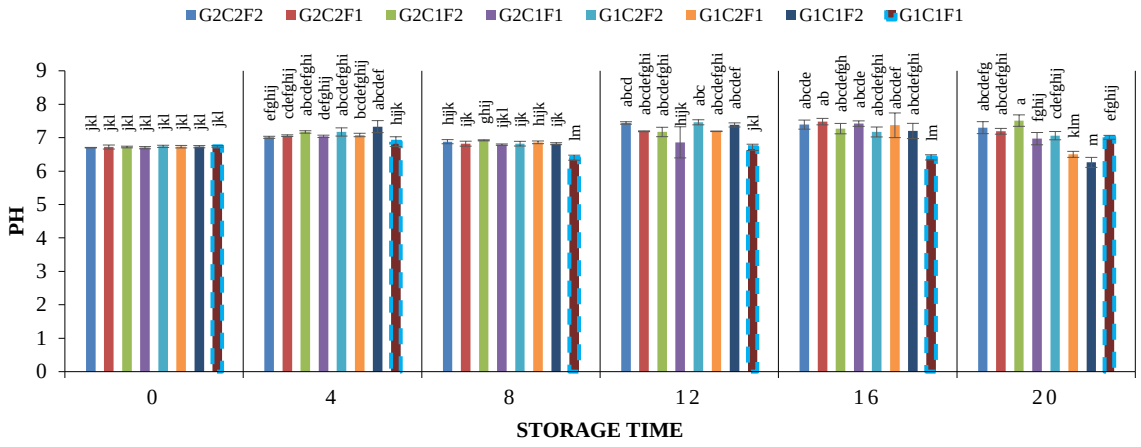
پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C2F2، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو :G2C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو : G2C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C2F2.

۳-۲- نتایج pH

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ آورده شده است. طبق این جدول همه تیمارها و اثرات متقابل به جز اثرات سه‌گانه گاز × پوشش × فیلم و گاز × پوشش × زمان نگهداری، در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده‌اند. مطابق شکل ۲ تغییرات pH در طول دوره نگهداری روند منظمی نداشت ولی نسبت به روز صفر (pH روز صفر برابر ۶/۷۲ است) افزایش یافت. همانطور که در شکل ۲ قابل مشاهده است مقدار pH در بسته پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو در طول دوره نگهداری به جز روز بیستم کمتر از سایر تیمارها بود درحالی که کمترین تغییرات (۱۶/۹ درصد) را همین پوشش بسته داشت. در پایان

دوره نگهداری در بسته‌های حاوی اتمسفر اصلاح شده pH کمتری در مقایسه با بسته‌های اتمسفر معمولی گزارش شد همچنین استفاده همزمان از پوشش کیتوزان و فیلم نانو نیز در حفظ pH موثر بود. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که این بسته سرعت تنفس محصول را کاهش داده و روند پیری آن را به تاخیر انداخته است. همچنین افزایش pH پس از روز شانزدهم نگهداری در این بسته امکان دارد به دلیل شروع روند افزایشی سرعت تنفس رخ داده باشد. بیشترین تغییرات (۳۷/۶ درصد) در بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی مشاهده شد. افزایش تغییرات pH در این بسته احتمال دارد به دلیل نفوذپذیری فیلم معمولی اتفاق افتاده باشد که موجب افزایش تنفس محصول در مدت انبارداری می‌گردد.

در طول دوره نگهداری محصول، اسیدهای موجود در آن توسط فعالیت های متابولیکی مانند تنفس مصرف می‌شوند و موجب ایجاد تغییراتی مانند افزایش pH می‌گردند. بسته‌بندی محصولات با فیلم‌هایی که از نفوذپذیری کمتری در مقابل گازها برخوردار هستند موجب کاهش تغییرات شیمیایی مانند pH، مواد جامد محلول و اسیدیته می‌شوند زیرا باعث کاهش اکسیژن داخل بسته می‌گردند و در نتیجه تنفس محصول کاهش پیدا می‌کند (Yousefnia Pasha et al., 2023). همچنین بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (CO_2 بیشتر و O_2 کمتر)، کاهش سرعت تنفس را در پی دارد که باعث حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصول می‌شود (Tabatabaei Kloor et al., 2016). پوشش‌ها ممکن است آلودگی‌های ناشی از میکروب‌ها، تنفس و سایر فرآیندهای رسیدن را در طول ذخیره‌سازی کاهش دهند و موجب افزایش ماندگاری میوه گردند (Odetayo et al., 2022). کنترل pH به حفظ شرایط اولیه کمک می‌کند و کاهش کیفیت محصول در زمان پس از برداشت کمتر می‌شود (Gholami et al., 2019). Zandi et al. (2021) در تحقیق خود روند افزایشی pH را برای لیمو شیرین گزارش کردند که این افزایش برای نمونه‌های حاوی پوشش کندتر بود. Demircan & Velioglu (2024) در تحقیق خود گزارش کردند که تغییرات pH در میوه‌های بریده شده پوشش‌داده شده کمتر از نمونه شاهد بود. Darabi et al. (2021) گزارش کردند که pH نمونه‌های قارچ در بسته فیلم نانو بهتر حفظ شد. در پژوهش دیگری که روی قارچ انجام شد، اثر مثبت بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده در حفظ و کاهش تغییرات pH در طول دوره نگهداری گزارش شد (Lyn et al., 2020).



شکل ۲- تاثیر گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر pH

Fig 2. Effect of gas, coating, packaging film and storage time on pH

پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G2C2F2، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو :G2C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو : G2C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C2F2.

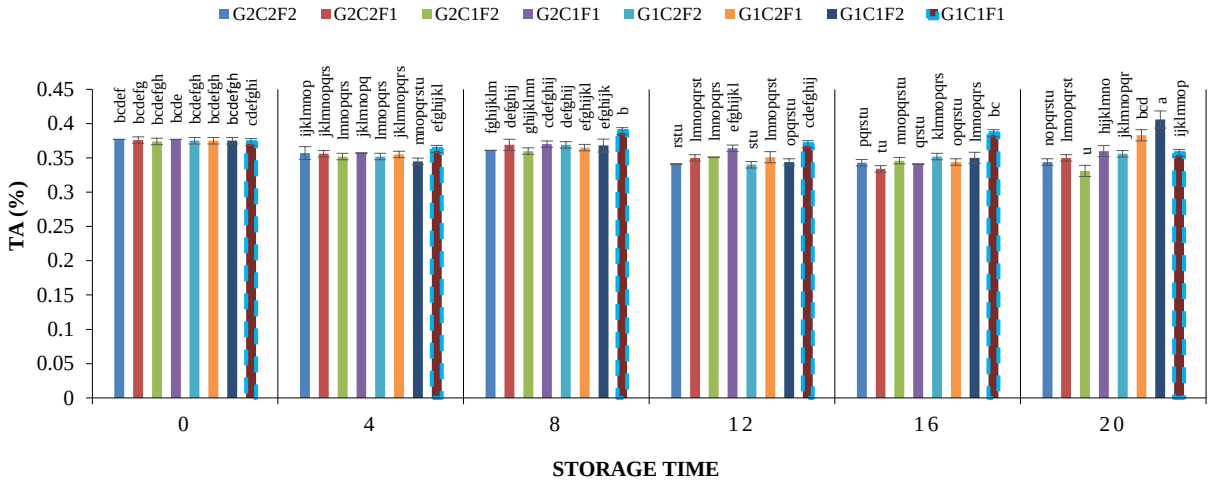
۳-۳- نتایج اسیدیته تیتراسیون (TA)

طبق جدول ۲ تجزیه واریانس، همه تیمارها و اثرات آن‌ها به غیر از اثر دوگانه گاز × فیلم و اثرات سه‌گانه گاز × پوشش × فیلم و گاز × پوشش × زمان نگهداری، بر روی اسیدیته در سطح احتمال ۱ درصد تاثیر معنی‌دار داشتند. مطابق شکل ۳ اسیدیته در طول دوره نگهداری روند منظمی نداشت. اسیدیته در روز صفر بیشترین (۰/۳۷۵) و در روز شانزدهم نگهداری کمترین (۰/۳۴۹) مقدار را دارا بود. در پایان دوره نگهداری (روز ۲۰) این مقدار به ۰/۳۶۱ رسید که با سایر روزها دارای اختلاف معنی‌دار بود. بررسی نتایج نشان داد اتمسفر اصلاح شده موجب حفظ بهتر اسیدیته نسبت به اتمسفر معمولی شد.

همانگونه که در شکل ۳ قابل مشاهده است بسته پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو در روزهای چهارم، هشتم، دوازدهم و شانزدهم بیشترین اسیدیته را داشت اما در روز بیستم کاهش یافت که احتمالا به دلیل شروع روند افزایشی سرعت تنفس و مصرف اسیدهای آلی پس از روز شانزدهم نگهداری باشد اما با این حال در طول دوره نگهداری کمترین (۱۵/۸ درصد) تغییرات را همین بسته داشت. بیشترین تغییرات (۴۰ درصد) نیز در بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی گزارش گردید. در پایان دوره نگهداری تمام بسته‌های حاوی اتمسفر معمولی به غیر از بسته تیمار شده با پوشش کیتوزان و فیلم نانو، دارای اسیدیته کمتری نسبت به بسته‌های حاوی اتمسفر اصلاح شده بودند. کاهش اسیدیته در بسته پوشش‌دار حاوی

اتمسفر معمولی و فیلم معمولی امکان دارد به این دلیل باشد که پوشش کیتوزان به تنهایی نتوانسته است سرعت تنفس و روند پیری نمونه را کاهش دهد و عملکرد خوبی داشته باشد.

محصولات کشاورزی در حین نگهداری تنفس انجام می‌دهند که موجب مصرف اسیدهای آلی به عنوان سوبسترا یا تبدیل آن‌ها به قند می‌شود به همین دلیل مقدار آن با افزایش زمان ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد (Buthelezi & Mafeo, 2024; Tajeddin et al., 2020). Phakdee & Chaiprasart (2019) در پژوهش خود روند نزولی اسیدیته را گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. بسته‌بندی میوه‌ها و سبزی‌ها با فیلم‌های نانو که نفوذپذیری کمتری در مقابل گازهای اکسیژن و دی‌اکسید کربن دارند موجب کاهش سرعت تنفس و در نتیجه افزایش ماندگاری آن‌ها گردد (Ebrahimi et al., 2017). Dehkordi et al. (2020) در پژوهش خود گزارش کردند که اسیدیته خیارهای برش خورده در بسته اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو بیشتر از نمونه شاهد بود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. همچنین Morsy & Rayan (2019) در تحقیق خود روند نزولی اسیدیته را برای زردآلو گزارش کردند که این کاهش برای نمونه‌های شاهد سرعت بیشتری داشت در صورتی که نمونه‌های حاوی پوشش کیتوزان ۲ درصد و پوشش آلجینات ۲ درصد کاهش کندتری نشان دادند. Yang et al. (2010) نیز در پژوهش خود اثر مثبت فیلم نانو در کاهش تغییرات اسیدیته را گزارش کردند. Shiri et al. (2013) کاهش کمتر اسیدیته در نمونه‌های انگور حاوی پوشش کیتوزان نسبت به شاهد را گزارش کردند.



شکل ۳- تاثیر گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر اسیدیته تیتراسیون

Fig 3. Effect of gas, coating, packaging film and storage time on titratable acidity (TA)

پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C2F2، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو :G2C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو : G2C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C2F2.

۴-۳- فنل کل

مطابق با جدول ۱ تجزیه واریانس، اثرات اصلی گاز و زمان نگهداری، اثرات دوگانه گاز × زمان نگهداری و پوشش × زمان نگهداری و اثرات سه‌گانه گاز × پوشش × زمان نگهداری و گاز × فیلم × زمان نگهداری در سطح احتمال ۱ درصد و اثر اصلی فیلم، اثر دوگانه گاز × پوشش و اثر سه‌گانه پوشش × فیلم × زمان نگهداری در سطح ۵ درصد تاثیر معنی‌داری بر فنل نمونه‌ها در طول دوره نگهداری داشته‌اند. مطابق با مقایسه میانگین اثر دوره مقدار فنل در روز صفر و پایان نگهداری به ترتیب ۳۴۵/۵ و ۳۸۲/۵ میلی‌گرم گالیک اسید بر کیلوگرم وزن تازه بود. طبق شکل ۴، مقدار فنل در روز هشتم نگهداری به طور معنی‌داری کاهش یافت اما در روز شانزدهم و بیستم نگهداری روند افزایشی مشاهده شد در حالی که اختلاف معنی‌داری میان این دو روز گزارش نشد. مطابق شکل ۴ تغییرات فنل در پایان دوره نگهداری در بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی بیشتر از سایر بسته‌ها بود و مقدار آن ۳۸/۲ درصد گزارش شد. همچنین کمترین تغییرات فنل (۹/۳۳ درصد) در پایان دوره نگهداری در بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی مشاهده شد. تغییرات بسته‌های حاوی اتمسفر معمولی بیشتر از بسته‌های حاوی اتمسفر اصلاح شده بود. به طور کلی، استفاده از اتمسفر اصلاح شده به دلیل کنترل تنفس و به تاخیر انداختن پیری نمونه‌ها تاثیر مثبتی در حفظ مقدار فنل آن‌ها داشت. فنل‌ها ترکیباتی هستند که باعث افزایش ارزش تغذیه‌ای میوه‌ها و سبزی‌ها می‌گردند و دارای خواص آنتی‌اکسیدانی هستند. همچنین به عنوان بخشی از سیستم دفاعی محصول در برابر فساد و خرابی عمل می‌کنند (Castro-Cegrí et al., 2023). افزایش فنل ممکن است به دلیل مقاومت نمونه در برابر شرایط نامناسب مانند فساد اتفاق افتاده باشد (Chen et al., 2023). Selcuk & Erkan (2015) در پژوهشی که روی انار انجام دادند گزارش کردند که در طول دوره نگهداری، انارهای شاهد محتوی فنل کل بالاتری نسبت به انارهای نگهداری شده در اتمسفر اصلاح شده داشتند. همچنین Blanco-Díaz et al. (2016) در تحقیق خود گزارش کردند

که محتوی فنل واریته‌های مختلف کدو سبز برش خورده شده تحت بسته‌بندی با فیلم با ضخامت ۲۵ میکرومتر (نفوذپذیری بالا) نسبت به فیلم با ضخامت ۴۰ میکرومتر (نفوذپذیری کم) افزایش بیشتری داشت.

۵-۳- تغییرات رنگ

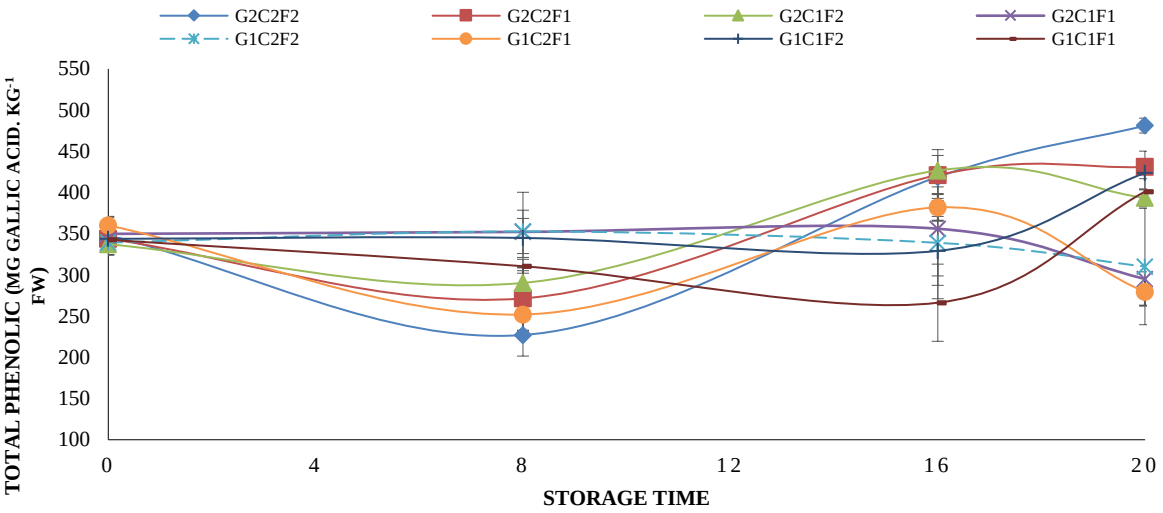
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۲) اثرات اصلی گاز، فیلم و زمان نگهداری در سطح ۱ درصد و اثر اصلی پوشش و اثرات دوگانه گاز × زمان نگهداری و فیلم × زمان نگهداری در سطح ۵ درصد تاثیر معنی‌داری بر تغییرات رنگ (ΔE) در طول دوره لنبارداری داشته‌اند. مطابق شکل ۵ تغییرات رنگ در طول دوره نگهداری روند صعودی داشت. در طول دوره، ΔE بسته‌های پوشش‌دار کمتر از بدون پوشش بود در حالی که در پایان دوره، بسته‌های پوشش‌دار و بدون پوشش به ترتیب مقادیر ۷/۹۹ و ۷/۴۳ را داشتند. همچنین ΔE پس از روز هشتم در بسته‌های فیلم معمولی با سرعت بیشتری افزایش یافت به طوری که در پایان دوره نگهداری بیشترین ΔE در بسته‌های فیلم معمولی با مقدار هشت مشاهده شد که با روز شانزدهم همین بسته و با روز بیستم بسته‌های فیلم نانو اختلاف معنی‌داری گزارش نگردید. طبق شکل ۵، در پایان دوره نگهداری، بیشترین و کمترین ΔE را به ترتیب بسته پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی و بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو داشتند. همانگونه که در شکل ۵ مشخص است روند افزایشی ΔE تا روز دوازدهم نگهداری در همه بسته‌ها کند بود اما پس از آن در بسته‌های حاوی اتمسفر معمولی با سرعت بیشتری افزایش یافت به طوری که در پایان دوره نگهداری، بسته‌های حاوی اتمسفر معمولی ΔE بیشتری نسبت به بسته‌های حاوی اتمسفر اصلاح شده داشتند. کیتوزان که به عنوان یک پوشش روی نمونه قرار می‌گیرد باعث افزایش ΔE شد اما تغییرات رنگ ناشی از فساد را کاهش داد. تغییر رنگ میوه‌ها و سبزی‌ها مانند قهوه‌ای شدن به دلیل فعالیت آنزیم‌هایی مانند پلی فنل اکسیداز رخ می‌دهد (Demircan & Velioglu, 2024). در تحقیقی که توسط Rokayya et al. (2021) بر روی قارچ انجام شد، افزایش ΔE در نمونه‌های پوشش داده شده با کیتوزان نسبت به نمونه شاهد را گزارش کردند. Rajaei et al. (2023) نیز در تحقیق خود اثر مثبت اتمسفر اصلاح شده در کاهش تغییرات شاخص‌های رنگ بر روی قارچ را گزارش کرده‌اند.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرهای گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر پارامتر فنل کل

Table 1. Analysis of variance for effects of gas, coating, packaging film and storage time on the characteristic on total phenolic

منابع تغییرات (S.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)
		فنل کل (Total phenolic)
گاز (gas)	1	10216**
پوشش (coating)	1	2.61 ns
فیلم بسته‌بندی (packaging film)	1	6421*
زمان نگهداری (storage time)	3	23027**
گاز * پوشش (gas × coating)	1	6365*
گاز * فیلم (gas × film)	1	567 ns
گاز * زمان نگهداری (gas × storage time)	3	10795**
پوشش * فیلم (coating × film)	1	1504ns
پوشش * زمان نگهداری (coating × storage time)	3	7117**
فیلم * زمان نگهداری (film × storage time)	3	2982 ns
گاز * پوشش * فیلم (gas × coating × film)	1	84.2 ns
گاز * پوشش * زمان نگهداری (gas × coating × storage time)	3	19090**
گاز * فیلم * زمان نگهداری (gas × film × storage time)	3	7138**
پوشش * فیلم * زمان نگهداری (coating × film × storage time)	3	3443*
گاز * پوشش * فیلم * زمان نگهداری (gas × coating × film × storage time)	3	817.02 ns

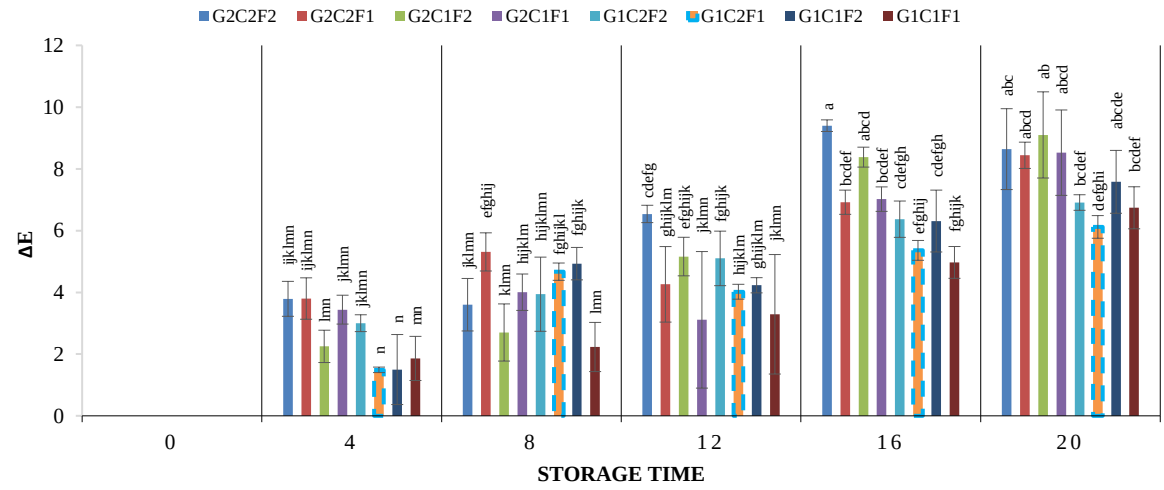
*: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 5% **: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 1% ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار



شکل ۴- تاثیر گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر فنل کل

Fig 4. Effect of gas, coating, packaging film and storage time on total phenolic

پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C2F2، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو :G2C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو : G2C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C2F2.



شکل ۵- تاثیر گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر تغییرات رنگ

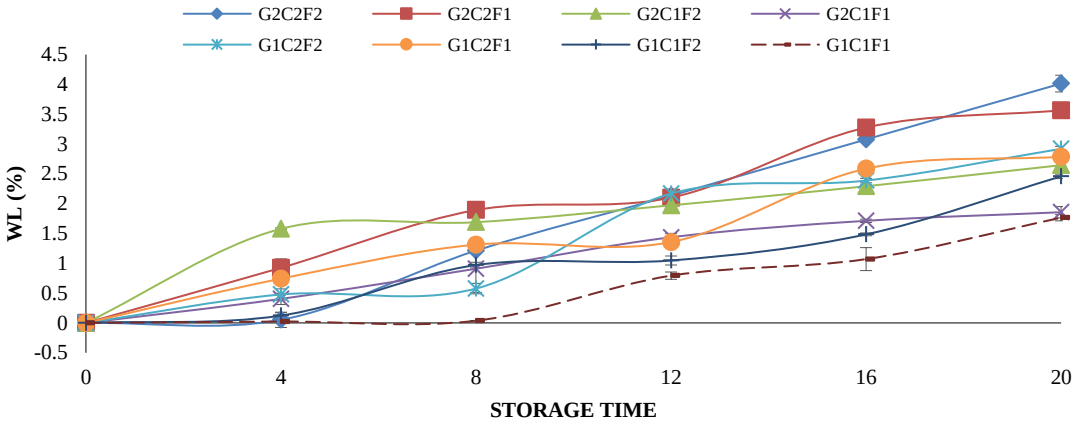
Fig 5. Effect of gas, coating, packaging film and storage time on ΔE

پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C2F2، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو :G2C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو : G2C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C2F2.

۶-۳- کاهش وزن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) داده‌ها نشان داد به جز اثر متقابل دوگانه گاز × فیلم، بقیه تیمارها تاثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر تغییرات وزن داشته‌اند. مطابق شکل ۶، کاهش وزن نمونه‌ها در طول دوره نگهداری روند صعودی داشته است. به طوری که بین تمام روزها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. با توجه به شکل ۶ بیشترین کاهش وزن (۴/۰۱ درصد) در روز بیستم نگهداری مربوط به بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی بود. بسته پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو در پایان دوره نگهداری کمترین (۱/۷ درصد) کاهش وزن را داشت همچنین در طول دوره نگهداری تغییرات کمتری نشان داد. در پایان دوره، در بسته‌های پوشش‌دار کاهش وزن کمتری مشاهده شد. پوشش کیتوزان مانند یک لایه روی نمونه قرار می‌گیرد و تنفس و تعرق آن را کنترل می‌کند در نتیجه موجب حفظ وزن آن می‌گردد (Rezaiyan Attar et al., 2023). به طور کلی ترکیب اتمسفر اصلاح شده، پوشش کیتوزان و فیلم نانو تاثیر مثبتی بر حفظ وزن نمونه‌ها داشت. همچنین نگهداری

نمونه در دمای پایین از کاهش وزن آن جلوگیری می‌کند زیرا موجب کاهش از دست دادن آب می‌گردد. کاهش وزن تا ۴/۵ درصد مقدار قابل قبولی است که آنچنان موجب افت کیفیت نمونه نمی‌گردد (Mannozzi et al., 2017). از دست دادن آب در طول دوره نگهداری باعث کاهش وزن و تسریع پیری می‌گردد (Buthelezi & Mafeo, 2024). اتمسفر اصلاح شده با حفظ رطوبت در داخل بسته از کاهش آب میان بافت نمونه جلوگیری می‌کند و باعث حفظ وزن آن در مدت نگهداری می‌گردد. از طرفی بسته‌بندی با فیلم نانو با خاصیت بازدارندگی از خروج رطوبت نمونه جلوگیری می‌کند (Yousefnia et al., 2023)(Pasha et al., 2023) گزارش کردند که نمونه‌های قارچ بسته‌بندی شده با اتمفسر اصلاح شده کمترین کاهش وزن را داشتند. Aboul-Anean & Aly (2015) در تحقیق خود گزارش کردند که نمونه‌های خیار دارای پوشش کاهش وزن کمتری نسبت به نمونه‌های بدون پوشش داشتند. Hu et al. (2011) گزارش کردند که میوه‌های کیوی بسته‌بندی شده با فیلم نانو کاهش وزن کمتری نسبت به بسته‌های معمولی داشتند. An et al. (2008) نیز در تحقیق خود اثر پوشش بر حفظ وزن مارچوبه را گزارش کردند. در پژوهش دیگری مشخص شد که نمونه‌های کدو سبز پوشش‌دار وزن خود را نسبت به نمونه‌های شاهد بهتر حفظ کردند (Castro-Cegrí et al., 2023).



شکل ۶- تاثیر گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر کاهش وزن

Fig 6. Effect of gas, coating, packaging film and storage time on weight loss (WL)

پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C2F2، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو :G2C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو : G2C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C2F2.

۳-۷- نیروی نفوذ

مطابق جدول ۳ تجزیه واریانس، اثرات اصلی فیلم و زمان نگهداری، اثر دوگانه گاز × زمان نگهداری و اثرات سه‌گانه گاز × پوشش × فیلم و گاز × فیلم × زمان نگهداری در سطح ۱ درصد و اثرات دوگانه پوشش × زمان نگهداری و فیلم × زمان نگهداری در سطح ۵ درصد تاثیر معنی‌داری روی نیروی نفوذ نمونه‌ها در طول دوره نگهداری داشتند. طبق شکل ۷ نیروی نفوذ در مدت نگهداری روند نزولی داشت. در طول دوره نگهداری بسته پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو نیروی نفوذ بیشتری در مقایسه با سایر بسته‌ها داشت. مطابق شکل ۷ نیروی نفوذ در روز صفر در بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی ۵۸/۷۹ نیوتن بود که تا روز هشتم کاهش کمتری داشت اما پس از آن، کاهش نیروی نفوذ به طور معنی‌داری افزایش یافت به طوری که در پایان دوره با مقدار ۴۱/۸۱ نیوتن از سایر بسته‌ها کمتر بود. در پایان دوره نگهداری، بیشترین نیروی نفوذ در بسته‌های پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو (۵۲/۷۹ نیوتن) دیده شد و در روز صفر مقدار نیروی نفوذ برای این بسته ۶۱/۲۶ نیوتن بود. اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو به دلیل حفظ رطوبت داخل بسته، از کاهش آب بافت نمونه که باعث نرم‌شدن آن می‌گردد جلوگیری کردند. با افزایش زمان نگهداری و رسیدگی میوه‌ها و سبزی‌ها، فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده مانند پلی‌گالاکتوروناز و پکتین متیل استراز افزایش می‌یابد که موجب تجزیه پکتین و افزایش حلالیت آن می‌گردد و چون پکتین عامل پیوند بین سلول‌های گیاه است تجزیه آن باعث نرم شدن و کاهش سفتی بافت نمونه می‌گردد (Kassem et al., 2022). Maleki et al. (2018) در تحقیق خود، تاثیر مثبت بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده و پوشش کیتوزان در حفظ سفتی خیار در طول دوره نگهداری را گزارش کردند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. همچنین Ebrahimi et al. (2017) گزارش کردند که استفاده از فیلم نانو به دلیل کاهش نفوذپذیری فیلم و در پی آن، تأخیر در فرایند پیری و رسیدگی، از کاهش سفتی هلو جلوگیری کرد. در پژوهش دیگری پوشش خوراکی موجب حفظ سفتی هندوانه برش خورده در طول دوره نگهداری شد (Sipahi et al., 2013). همچنین توسط Al-Qurashi & Awad (2015) گزارش شد که نمونه‌های انگور دارای پوشش، سفتی خود را بهتر حفظ کردند. Oz et al. (2014) در پژوهش خود مشاهده کردند که نمونه‌های قارچ بسته‌بندی شده با اتمسفر اصلاح شده در پایان دوره نگهداری سفتی بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرهای گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر پارامترهای مواد جامد محلول، pH، اسیدیته، کاهش وزن و تغییرات رنگ

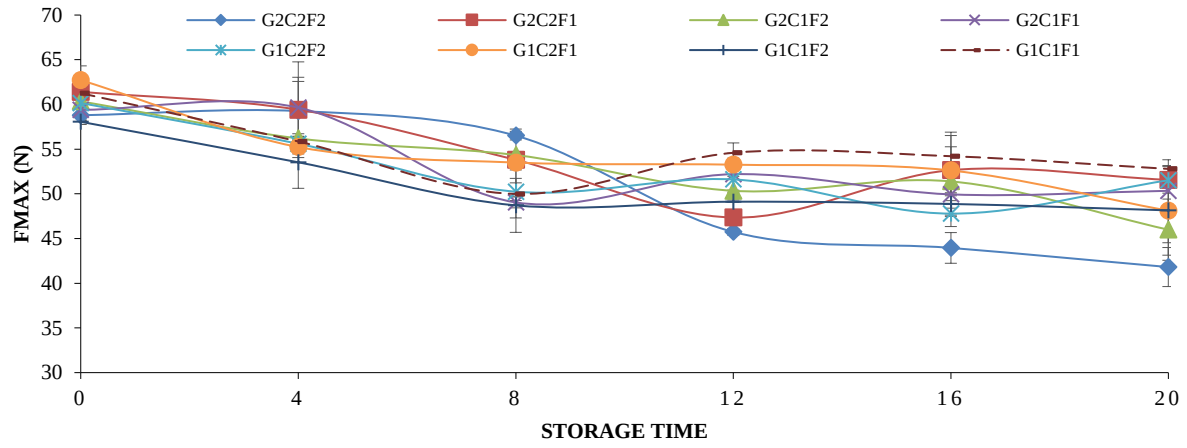
Table 2. Analysis of variance for effects of gas, coating, packaging film and storage time on the characteristic on total soluble solids (TSS), pH, titration acidity (TA), weight loss (WL) and ΔE

منابع تغییرات (S.V)	DF	میانگین مربعات (MS)				
		TSS	pH	اسیدیته (TA)	کاهش وزن (WL)	ΔE
گاز (gas)	1	5.85**	0.857**	0.0025**	10.07**	41.84**
پوشش (coating)	1	0.015^{ns}	0.534**	0.0012**	13.1**	7.9*
فیلم بسته‌بندی (packaging film)	1	1.96**	0.761**	0.0013**	1.65**	14.2**
زمان نگهداری (storage time)	5	2.86**	0.997**	0.003**	18.26**	105.02**
گاز * پوشش (gas × coating)	1	0.078^{ns}	0.170**	0.000**	0.23**	1.013^{ns}
گاز * فیلم (gas × film)	1	0.095^{ns}	0.068^{ns}	0.000006^{ns}	0.015^{ns}	1.41^{ns}
گاز * زمان نگهداری (gas × storage time)	5	0.341**	0.341**	0.001**	0.099**	4.8*
پوشش * فیلم (coating × film)	1	0.126^{ns}	0.154**	0.00024**	4.48**	0.0001^{ns}
پوشش * زمان نگهداری (coating × storage time)	5	0.182**	0.111**	0.00021**	1.51**	2.1^{ns}
فیلم * زمان نگهداری (film × storage time)	5	0.569**	0.093**	0.00016**	0.26**	4.43*
گاز * پوشش * فیلم (gas × coating × film)	1	0.528**	0.001^{ns}	0.000025^{ns}	0.45**	0.9^{ns}
گاز * پوشش * زمان نگهداری (gas × coating × storage time)	5	0.437**	0.034^{ns}	0.000073^{ns}	0.64**	0.01^{ns}
گاز * فیلم * زمان نگهداری (gas × film × storage time)	5	0.209**	0.119**	0.0004**	0.05**	3.25^{ns}
پوشش * فیلم * زمان نگهداری (coating × film × storage time)	5	0.168**	0.151**	0.0004**	0.58**	2.34^{ns}
گاز * پوشش * فیلم * زمان نگهداری (gas × coating × film × storage time)	5	0.519**	0.336**	0.001**	0.26**	0.86^{ns}

*: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 5% **: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 1% ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

۸-۳- مدول الاستیسیته

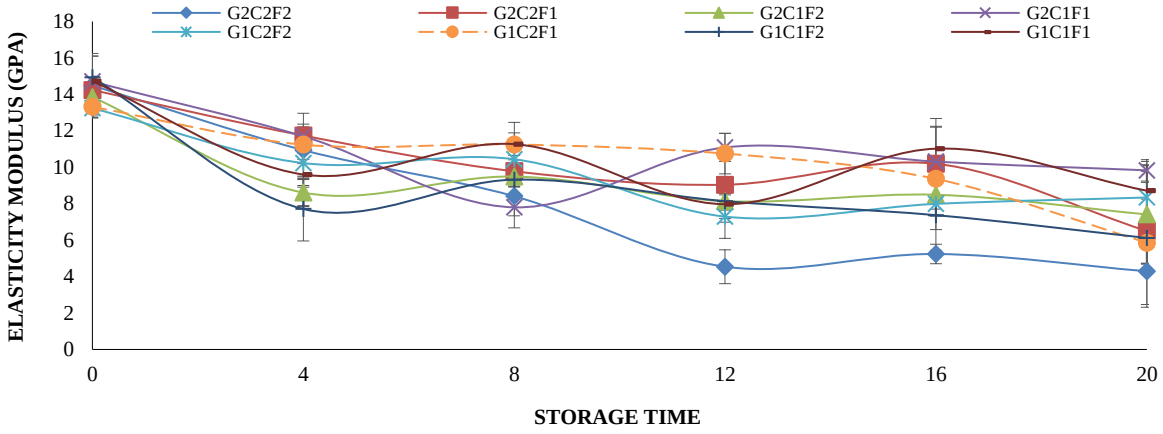
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثرات اصلی فیلم و زمان نگهداری و اثر دوگانه پوشش × زمان نگهداری در سطح ۱ درصد، و اثرات دوگانه فیلم × زمان نگهداری و گاز × پوشش در سطح ۵ درصد تاثیر معنی‌داری روی مدول الاستیسیته داشته‌اند. مطابق با شکل ۸، مدول الاستیسیته در طول دوره نگهداری روند کاهشی داشته است. مقدار آن در روز صفر ۱۴/۲۲ گیگا پاسکال و در روز بیستم نگهداری ۷/۲۵ گیگا پاسکال بود که در همین روز (روز بیستم) با روزهای قبل اختلاف معنی‌داری داشت. بسته پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو در روزهای هشت و شانزدهم نگهداری بیشترین مدول الاستیسیته را دارا بود اما در سایر روزها تغییرات زیادی داشت. همانطور که در شکل ۸ قابل مشاهده است بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو در طول دوره نگهداری با مقدار ۲/۲۹ کمترین تغییرات کاهشی و بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی با مقدار ۷/۳۸ کاهش بیشتری داشت. به نظر می‌رسد ترکیب اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو تغییرات کاهشی مدول الاستیسیته را کندتر کرده است. استحکام دیواره سلولی در میوه و تخریب لایه میانی آن در طول دوره نگهداری به دلیل طی کردن فرایند رسیدگی از عوامل موثر بر مدول الاستیسیته و سفتی بافت آن می‌باشد. کاهش مدول الاستیسیته به دلیل از دست دادن آب و تخریب پکتین در لایه میانی رخ می‌دهد (Barikloo & Ahmadi, 2018b). Wei et al. (2020) در پژوهشی که روی خیار برش خورده انجام دادند گزارش کردند که اتمسفر اصلاح شده به طور قابل توجهی سفتی نمونه‌های خیار را حفظ کرد. Bodaghi & Hagh (2019) اثر مثبت فیلم بسته‌بندی نانو در حفظ سفتی میوه گلابی را گزارش کردند. همچنین Zeb et al. (2020) گزارش کردند که پوشش کیتوزان روند کاهش سفتی میوه سیب را نسبت به تیمار شاهد به تاخیر انداخت.



شکل ۷- تاثیر گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر نیروی نفوذ

Fig 7. Effect of gas, coating, packaging film and storage time on Fmax

پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C2F2، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو :G2C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو : G2C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C2F2.



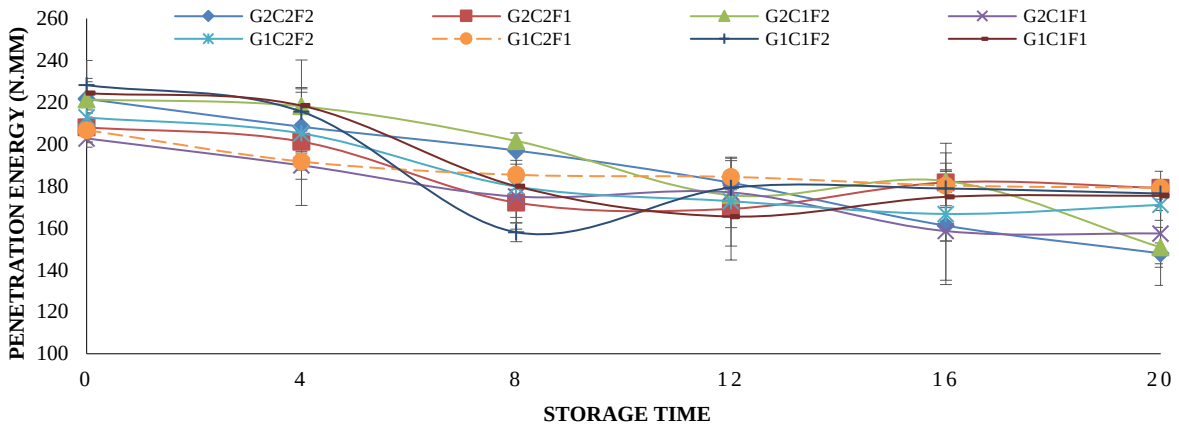
شکل ۸- تاثیر گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر مدول الاستیسیته

Fig 8. Effect of gas, coating, packaging film and storage time on elasticity modulus

پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C2F2، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو :G2C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو : G2C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C2F2.

۹-۳- انرژی نفوذ

نتایج آنالیز واریانس (جدول ۳) داده‌ها بر معنی‌دار بودن اثر اصلی زمان نگهداری در سطح ۱ درصد بر انرژی نفوذ دلالت دارد. مطابق شکل ۹، انرژی نفوذ در طول دوره نگهداری روند کاهشی داشته است. تحلیل مقایسه میانگین اثر دوره نشان داد با افزایش زمان نگهداری مقدار انرژی نفوذ کاهش یافته است به طوری که از ۲۱۵/۱۸ به ۱۶۶/۶۶ نیوتن میلی‌متر رسیده است. همچنین در روز ۲۰ نگهداری با روزهای صفر، چهارم و هشتم اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. طبق شکل ۹ در پایان دوره نگهداری بیشترین (۱۷۹/۲ نیوتن میلی‌متر) انرژی نفوذ در بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو مشاهده شد که در روز صفر مقدار ۲۰۶/۷ نیوتن میلی‌متر را داشت و همچنین کمترین (۱۴۷/۹ نیوتن میلی‌متر) انرژی نفوذ در بسته بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی مشاهده شد که این بسته نیز در روز صفر دارای مقدار ۲۲۱/۶ نیوتن میلی‌متر بود. کاهش سفتی و افزایش نرمی نمونه باعث کاهش انرژی نفوذ می‌گردد زیرا انرژی کمتری برای سوراخ کردن آن نیاز است. در تحقیقی که توسط Mirzaei et al. (2008) بر روی کیوی انجام شد، مشاهده کردند که با افزایش زمان نگهداری، میزان سفتی و انرژی نفوذ کاهش پیدا می‌کند که دلیل آن را تبدیل پروتوپکتین نامحلول به پکتین محلول ذکر کرده‌اند. Masoudi et al. (2008) در تحقیق خود بیان کردند که انرژی نفوذ سیب با افزایش زمان نگهداری، کاهش یافته است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.



شکل ۹- تاثیر گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر انرژی نفوذ

Fig 9. Effect of gas, coating, packaging film and storage time on penetration energy

پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو :G1C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر اصلاح شده و فیلم معمولی :G1C2F2، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو :G2C1F1، پوشش‌دار حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C1F2، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم نانو : G2C2F1، بدون پوشش حاوی اتمسفر معمولی و فیلم معمولی :G2C2F2.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرهای گاز، پوشش، فیلم بسته‌بندی و زمان نگهداری بر پارامترهای نیروی نفوذ، مدول الاستیسیته و انرژی نفوذ

Table 3. Analysis of variance for effects of gas, coating, packaging film and Storage time on the characteristic on Fmax, elasticity modules and penetration energy

منابع تغییرات (S.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)		
		نیروی نفوذ (Fmax)	مدول الاستیسیته (elasticity modulus)	انرژی نفوذ (Penetration energy)
گاز (gas)	1	2.1^{ns}	1.7^{ns}	282.9^{ns}
پوشش (coating)	1	0.004^{ns}	5.5^{ns}	22.7^{ns}
فیلم بسته‌بندی (packaging film)	1	162.8^{**}	81.8^{**}	301.6^{ns}
زمان نگهداری (storage time)	5	471.6^{**}	134.4^{**}	8456.3^{**}
گاز * پوشش (gas × coating)	1	11.6^{ns}	12.4^{*}	182.06^{ns}
گاز * فیلم (gas × film)	1	4.4^{ns}	4.9^{ns}	759.8^{ns}
گاز * زمان نگهداری (gas × storage time)	5	43.9^{**}	4.7^{ns}	426.2^{ns}
پوشش * فیلم (coating × film)	1	1.1^{ns}	0.09^{ns}	559.7^{ns}
پوشش * زمان نگهداری (coating × storage time)	5	21.3^{*}	9.04^{**}	185.1^{ns}
فیلم * زمان نگهداری (film × storage time)	5	19.2^{*}	7.3^{*}	396.2^{ns}
گاز * پوشش * فیلم (gas × coating × film)	1	59.3^{**}	5.5^{ns}	241.07^{ns}
گاز * پوشش * زمان نگهداری (gas × coating × storage time)	5	6.5^{ns}	5.3^{ns}	288.2^{ns}
گاز * فیلم * زمان نگهداری (coating × film × storage time)	5	24.7^{**}	2.6^{ns}	426^{ns}
پوشش * فیلم * زمان نگهداری (coating × film × storage time)	5	12.7^{ns}	4.9^{ns}	247.9^{ns}
گاز * پوشش * فیلم * زمان نگهداری (gas × coating × film × storage time)	5	11.2^{ns}	4.5^{ns}	224.7^{ns}

*: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 5% **: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 1% ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

۴- نتیجه‌گیری نهایی

نتیجه، این مطالعه به طور موثر نشان داد که استفاده از بسته بندی اتمسفر اصلاح شده، پوشش کیتوزان و فناوری نانو فیلم به طور قابل توجهی حفظ کیفیت کدو سبز را در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد افزایش می دهد. نتایج نشان داد که:

۱. پایداری شیمیایی: ترکیب اتمسفر اصلاح شده و پوشش کیتوزان در حفظ خواص شیمیایی کدو سبز، از جمله کل مواد جامد محلول، pH و اسیدیته قابل تیتراسیون بیشترین تأثیر را داشت. کدو سبز بدون پوشش در شرایط جوی معمولی بیشترین تخریب شیمیایی را نشان داد که بر اهمیت تیمارهای محافظتی تاکید می کند.

۲. حفظ محتوای فنلی: حفظ ترکیبات فنلی، که به ارزش غذایی کدو سبز کمک می کند، در بسته هایی با استفاده از شرایط جوی اصلاح شده بهینه شد. بسته های بدون پوشش در شرایط جوی معمولی بیشترین تخریب این ترکیبات مفید را نشان دادند.

۳. نگهداری کیفیت فیزیکی: کیفیت بصری که با تغییرات رنگ (ΔE) اندازه گیری می شود، در بسته بندی بدون پوشش با اتمسفر اصلاح شده و نانوفیلم به بهترین وجه حفظ شد. در مقابل، اتمسفر معمولی منجر به تخریب رنگ سریع‌تر شد و بر نقش محیط‌های کنترل‌شده در حفظ جذابیت محصول تأکید کرد.

۴. کاهش کاهش وزن: این مطالعه نشان داد که ترکیب پوشش کیتوزان، اتمسفر اصلاح شده و نانوفیلم به طور موثر کاهش وزن را در طول ذخیره سازی به حداقل می رساند. بسته های بدون پوشش در شرایط جوی معمولی کاهش وزن قابل توجهی را تجربه کردند که بر کیفیت محصول تأثیر منفی می گذارد.

۵. خواص مکانیکی: اندازه‌گیری‌های نیروی نفوذ نشان داد که سفتی کدو سبز در بسته‌های پوشش‌داده‌شده با اتمسفر اصلاح‌شده و نانوفیلم به بهترین وجه حفظ می‌شود. برعکس، بسته‌های بدون پوشش در شرایط عادی کاهش سفتی را نشان دادند که می‌تواند بر پذیرش مصرف‌کننده تأثیر بگذارد.

۶. حفظ کیفیت کلی: یافته ها نشان می دهد که شرایط نگهداری بهینه - که با کاهش نرخ تنفس و تولید اتیلن مشخص می شود - برای حفظ کیفیت محصولات تازه مانند کدو سبز بسیار مهم است.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه بوعلی سینا که در تأمین مالی هزینه‌های این پژوهش ما را یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Aboul-Anean, H. E. D., & Aly, H. H. (2015). *Effect of some edible coatings on storability of organic cucumber fruit*. Egyptian Journal of Agricultural Research, 93, 1013-1029.

Ahmadi Roshan, M., Berenji Ardestani, S., Sheikh Nasiri, S., Jamali, S. S., & Sarabi, M. (2021). *Effects of gamma irradiation on microbial and sensory properties of fresh leek and parsley*. Journal of Nuclear Science, Engineering and Technology (JONSAT), 42(4), 110-119. (In Persian). https://doi.org/10.24200/nst.2021.1318.

Ali, S., Nawaz, A., Naz, S., Ali, M., Ejaz, S., Azam, M., & Razzaq, K. (2023). *Exogenous melatonin mitigates chilling injury in zucchini fruit by enhancing antioxidant system activity, promoting endogenous proline and GABA accumulation, and preserving cell wall stability*. Postharvest Biology and Technology, 204, 112445, 1-17. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112864.

Al-Qurashi, A. D., & Awad, M. A. (2015). *Postharvest chitosan treatment affects quality, antioxidant capacity, antioxidant compounds and enzymes activities of 'El-Bayadi' table grapes after storage*. Scientia Horticulturae, 197, 392-398. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.060.

An, J., Zhang, M., Wang, S., & Tang, J. (2008). *Physical, chemical and microbiological changes in stored green asparagus spears as affected by coating of silver nanoparticles-PVP*. LWT-Food Science and Technology, 41(6), 1100-1107. http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.019.

Anomymous 2010. Agricultural Structure (Production, Price, Value). http://app.fao.org/faosat.

Ayala-Zavala, J. F., Wang, S. Y., Wang, C. Y., & González-Aguilar, G. A. (2007). *High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit*. Food Technology and Biotechnology, 45(2), 166-173.

Barikloo, H., & Ahmadi, E. (2018a). *Effect of nanocomposite-based packaging and chitosan coating on the physical, chemical, and mechanical traits of strawberry during storage*. Journal of Food Measurement and Characterization, 12, 1795-1817. https://doi.org/10.1007/s11694-018-9795-3.

Barikloo, H., & Ahmadi, E. (2018b). *Shelf life extension of strawberry by temperatures conditioning, chitosan coating, modified atmosphere, and clay and silica nanocomposite packaging*. Scientia Horticulturae, 240, 496-508. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.012.

Blanco-Díaz, M. T., Pérez-Vicente, A., & Font, R. (2016). *Quality of fresh cut zucchini as affected by cultivar, Maturity at processing and packaging*. Packaging Technology and Science, 29(7), 365-382. https://doi.org/10.1002/pts.2214.

Bodaghi, H., & Hagh, Z. G. (2019). *Application of clay-TiO2 nanocomposite packaging films on pears (Prunus communis L. cv. Williams) under cold storage*. Journal of Food Measurement and Characterization, 13(3), 2377-2388. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00157-w.

Buthelezi, N. M. D., & Mafeo, T. P. (2024). *Effect of perforated low-density polyethylene films on postharvest quality of avocado fruit*. Heliyon, 10(5). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27656.

Cagliani, L. R., & Consonni, R. (2024). *Monitoring the metabolite content of seasoned zucchinis during storage by NMR-based metabolomics*. Heliyon, 10(4). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25976.

Candir, E., Ozdemir, A. E., & Aksoy, M. C. (2018). *Effects of chitosan coating and modified atmosphere packaging on postharvest quality and bioactive compounds of pomegranate fruit cv.'Hicaznar'*. Scientia Horticulturae, 235, 235-243. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.017.

Castro-Cegrí, A., Ortega-Muñoz, M., Sierra, S., Carvajal, F., Santoyo-Gonzalez, F., Garrido, D., & Palma, F. (2023). *Application of polysaccharide-based edible coatings to improve the quality of zucchini fruit during postharvest cold storage*. Scientia Horticulturae, 314, 111941. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111941.

Chen, Y., Hu, X., Shi, Q., Lu, Y., Yan, J., Wu, D. T., & Qin, W. (2023). *Changes in the fruit quality, phenolic compounds, and antioxidant potential of red-fleshed kiwifruit during postharvest ripening*. Foods, 12(7), 1509, 1-11. https://doi.org/10.3390/foods12071509

Choi, W. S., Singh, S., & Lee, Y. S. (2016). *Characterization of edible film containing essential oils in hydroxypropyl methylcellulose and its effect on quality attributes of 'Formosa'plum (Prunus salicina L.)*. Lwt- Food Science and Technology, 70, 213-222. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.036

stored avocados. Journal of Food Processing and Preservation, 32(4), 621-643. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00203.x

Maleki, G., Sedaghat, N., Woltering, E. J., Farhoodi, M., & Mohebbi, M. (2018). *Chitosan-limonene coating in combination with modified atmosphere packaging preserve postharvest quality of cucumber during storage*. Journal of Food Measurement and Characterization, 12, 1610-1621. https://doi.org/10.1007/s11694-018-9776-6

Mannozzi, C., Cecchini, J. P., Tylewicz, U., Siroli, L., Patrignani, F., Lanciotti, R., ... & Romani, S. (2017). *Study on the efficacy of edible coatings on quality of blueberry fruits during shelf-life*. LWT-Food Science and Technology, 85, 440-444. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.056

Majidi, H., Minaei, S., Almassi, M., & Mostofi, Y. (2012). *Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage*. Journal of Food Science and Technology, 51, 2155-2161. http://dx.doi.org/10.1007/s13197-012-0721-0

Masoudi, H., Tabatabaeefar, A. H. M. A. D., & Borghaee, A. M. (2008). *Investigation on mechanical properties of apples during storage using penetration test*. International Journal of Agriculture and Biology 10: 69–72. 06.

Matar, C., Salou, T., Hélias, A., Pénicaud, C., Gaucel, S., Gontard, N., ... & Guillard, V. (2021). *Benefit of modified atmosphere packaging on the overall environmental impact of packed strawberries*. Postharvest Biology and Technology, 177, 111521, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111521

Megías, Z., Martínez, C., Manzano, S., García, A., Rebolloso-Fuentes, M. D. M., Garrido, D., ... & Jamilena, M. (2015). *Individual shrink wrapping of zucchini fruit improves postharvest chilling tolerance associated with a reduction in ethylene production and oxidative stress metabolites*. PLoS One, 10(7), e0133058. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133058.

Mirzaei, M. H., Tavakouli, H. T., Minaei, S., & Faghih, N. M. (2008). *Evaluation of effects of size, variety and storage time on qualitative properties of kiwi fruit*. Iranian Journal of Food Scinece and Technology, Vol. 4, No.4, 19-26. (In Persian).

Morsy, N. E., & Rayan, A. M. (2019). *Effect of different edible coatings on biochemical quality and shelf life of apricots (Prunus armenica L. cv Canino)*. Journal of Food Measurement and Characterization, 13, 3173-3182. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00240-2.

Moura Guerra, A. M. N., dos Santos, D. S., Silva, M. G. M., Evangelista, R. S., Maia, A. G., da Silva, I. G., ... & Maracaja, P. B. (2020). *PVC film coatings promote post-harvest conservation of Italian zucchini fruits (Cucurbita pepo L.)*. Research, Society and Development, 9(8), e550985530-e550985530. https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5530.

Mujtaba, M., Ali, Q., Yilmaz, B. A., Kurubas, M. S., Ustun, H., Erkan, M., ... & Oner, E. T. (2023). *Understanding the effects of chitosan, chia mucilage, levan based composite coatings on the shelf life of sweet cherry*. Food Chemistry, 416, 135816. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135816.

Nath, D., Santhosh, R., Pal, K., & Sarkar, P. (2022). *Nanoclay-based active food packaging systems: A review*. Food Packaging and Shelf Life, 31, 100803. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100803.

Odetayo, T., Sithole, L., Shezi, S., Nomngongo, P., Tesfay, S., & Ngobese, N. Z. (2022). *Effect of nanoparticle-enriched*

Darabi, R. E., Afshari, H., & Khosh Monfared, R. L. (2021). *The Effect of Nanocellulose Composite Packing on Longer Preservation of Button Mushroom*. Journal of Innovation in Food Science & Technology, 13(2), 75-87. https://sid.ir/paper/1067329/en

Demircan, B., & Velioglu, Y. S. (2024). *Control of Browning, Enzyme Activity, and Quality in Stored Fresh-cut Fruit Salads through Chitosan Coating Enriched with Bergamot Juice Powder*. Foods, 13(1), 147. https://doi.org/10.3390/foods13010147

Dehkordi, B. A., Zamindar, N., Ghorbani, Z., & Mosaffa, L. (2020). *Changes in the physicochemical and microbial properties of fresh-cut cucumber during storage as affected by modified atmosphere packaging and films of polypropylene containing clay nanoparticles.* Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology, 15(1), 83-92. http://nsft.sbmu.ac.ir/article-1-2831-en.html

Ebrahimi, H., Abedi, B., Bodaghi, H., Davarynejad, G., Haratizadeh, H., & Conte, A. (2017). *Investigation of developed clay-nanocomposite packaging film on quality of peach fruit (Prunus persica Cv. Alberta) during cold storage.* Journal of Food Processing and Preservation, 42(2), e13466. https://doi.org/10.1111/jfpp.13466

Fatyeyeva, K., Chappey, C., & Marais, S. (2017). *Biopolymer/clay nanocomposites as the high barrier packaging material: Recent advances*. Food Packaging, 425-463. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804302-8.00013-3.

Gholami, R., Ahmadi, E., & Ahmadi, S. (2019). *Investigating the effect of chitosan, nanopackaging, and modified atmosphere packaging on physical, chemical, and mechanical properties of button mushroom during storage*. Food Science & Nutrition, 8(1), 224-236. https://doi.org/10.1002/fsn3.1294.

Glowacz, M., Colgan, R., & Rees, D. (2015). *Influence of continuous exposure to gaseous ozone on the quality of red bell peppers, cucumbers and zucchini*. Postharvest Biology and Technology, 99, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.06.015.

Helal, M., Sami, R., Algarni, E., Alshehry, G., Aljumayi, H., Al-Mushhin, A. A., ... & Almasoudi, A. (2022). *Active bionanocomposite coating quality assessments of some cucumber properties with some diverse applications during storage condition by chitosan, nano titanium oxide crystals, and sodium tripolyphosphate*. Crystals, 12(2), 131. https://doi.org/10.3390/cryst12020131.

Hu, Q., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N., & Zhao, L. (2011). *Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (Actinidia deliciosa) during cold storage*. Food Research International, 44(6), 1589-1596. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.018

Kassem, H. S., Tarabih, M. E., Ismail, H., & Eleryan, E. E. (2022). *Influence of nano-silica/chitosan film coating on the quality of 'Tommy Atkins' mango*. Processes, 10(2), 279, 1-21. https://doi.org/10.3390/pr10020279

Lyn, F. H., Adilah, Z. M., Nor-Khaizura, M. A. R., Jamilah, B., & Hanani, Z. N. (2020). *Application of modified atmosphere and active packaging for oyster mushroom (Pleurotus ostreatus)*. Food Packaging and Shelf Life, 23, 100451, 1-6. http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100451

Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2008). *Effect of pectin-based coating on the kinetics of quality change associated with*

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). *Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents.* American journal of Enology and Viticulture, 16(3), 144-158. https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144.

Sipahi, R. E., Castell-Perez, M. E., Moreira, R. G., Gomes, C., & Castillo, A. (2013). *Improved multilayered antimicrobial alginate-based edible coating extends the shelf life of fresh-cut watermelon (Citrullus lanatus).* LWT-Food Science and Technology, 51(1), 9-15. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.013.

Tabatabaei Kloor, R., Ebrahimian, A., & Hashemi, J. (2016). *Evaluation temperature, packaging and modified atmosphere effects on tomato qualitative characteristics*. Journal of Food Science and Technology, 51(13), 1–13. (In Persian).

Tajeddin, B., Azadshahraki, F., & Rafiee Darsangi, Z. (2020). *The effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of greenhouse-grown tomato*. Journal of Food Biosciences and Technology, 10(2), 75-90.

Wei, Y., Zheng, Y., Ma, Y., Tong, J., Zhang, J., Zhang, Y., ... & Zhao, X. (2020). *Microbiological and physiological attributes of fresh-cut cucumbers in controlled atmosphere storage*. Journal of Food Protection, 83(10), 1718-1725. https://doi.org/10.4315/JFP-19-618.

Yang, F. M., Li, H. M., Li, F., Xin, Z. H., Zhao, L. Y., Zheng, Y. H., & Hu, Q. H. (2010). *Effect of nano-packing on preservation quality of fresh strawberry (Fragaria ananassa Duch. cv Fengxiang) during storage at 4 C*. Journal of Food Science, 75(3), 236-240. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01520.x.

Yousefnia Pasha, H., Mohtasebi, S. S., Tajeddin, B., Taherimehr, M., Tabatabaeekoloor, R., Firouz, M. S., & Javadi, A. (2023). *The effect of a new bionanocomposite packaging film on postharvest quality of strawberry at modified atmosphere condition*. Food and Bioprocess Technology, 16(6),1246-1257. http://dx.doi.org/10.1007/s11947-022-02968-0.

Zandi, M., Ganjloo, A., Bimakr, M., Moradi, N., & Nikoomanesh, N. (2021). *Effect of active coating containing radish leaf extract with or without vacuum packaging on the postharvest changes of sweet lemon during cold storage*. Journal of Food Processing and Preservation, 45(3), e15252. https://doi.org/10.1111/jfpp.15252.

Zeb, S., Sajid, M., Shah, S. T., Ali, M., Ali, S., Nawaz, Z., ... & Riaz, R. (2020). *Influence of post-harvest application of chitosan on physico-chemical changes of apple fruit during storage*. Pure and Applied Biology. Vol. 9, Issue 4, pp2554-2562. http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2020.90271.

coatings on the shelf life of Cavendish bananas. Scientia Horticulturae, 304, 111312, 1-21. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111312.

Olawuyi, I. F., Park, J. J., Lee, J. J., & Lee, W. Y. (2018). *Combined effect of chitosan coating and modified atmosphere packaging on fresh-cut cucumber*. Food Science & Nutrition, 7(3), 1043-1052. https://doi.org/10.1002/fsn3.937.

Oz, A. T., Ulukanli, Z., Bozok, F., & Baktemur, G. (2014). *The postharvest quality, sensory and shelf life of a Garicus Bisporus in active map*. Journal of Food Processing and Preservation, 39(1), 100-106. https://doi.org/10.1111/jfpp.12301.

Patil, V., Shams, R., & Dash, K. K. (2023). *Techno-functional characteristics, and potential applications of edible coatings: A comprehensive review*. Journal of Agriculture and Food Research, 100886. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100886.

Phakdee, N., & Chaiprasart, P. (2019). *Modified atmosphere storage extends the shelf life of 'Nam Dok Mai Sri Tong' mango fruit*. International Journal of Fruit Science, 20(3), 495-505. https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1653245.

Priya, K., Thirunavookarasu, N., & Chidanand, D. V. (2023). *Recent advances in edible coating of food products and its legislations: A review*. Journal of Agriculture and Food Research, 12, 100623, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100623.

Qu, P., Zhang, M., Fan, K., & Guo, Z. (2022). *Microporous modified atmosphere packaging to extend shelf life of fresh foods: A review*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62(1), 51-65. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1811635.

Rajaei, P., Nateghi, L., & Zarei, F. (2023). *The Effect of Active Modified Atmosphere Packaging with Different Gas Composition on Physicochemical and Nutritional Compounds of (Agaricus bisporus) Mushroom*. Food Technology & Nutrition, Vol. 20 No. 1, 49-70. (In Persian) https://doi.org/10.30495/jftn.2022.51192.11058.

Rezaiyan Attar, F., Sedaghat, N., Pasban, A., Yeganehzad, S., & Hesarinejad, M. A. (2023). *Modified atmosphere packaging with chitosan coating to prevent deterioration of fresh in-hull Badami's pistachio fruit*. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 10(1), 16, 1-18. https://doi.org/10.1186/s40538-023-00393-9.

Rokayya, S., Khojah, E., Elhakem, A., Benajiba, N., Chavali, M., Vivek, K., ... & Helal, M. (2021). *Investigating the nano-films effect on physical, mechanical properties, chemical changes, and microbial load contamination of white button mushrooms during storage*. Coatings, 11(1), 44, 1-12. https://doi.org/10.3390/coatings11010044.

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 Biology and Technology, 109, 30-39. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.018.

Shiri, M. A., Bakhshi, D., Ghasemnezhad, M., Dadi, M., Papachatzis, A., & Kalorizou, H. (2013). *Chitosan coating improves the shelf life and postharvest quality of table grape (Vitis vinifera) cultivar Shahroudi*. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 37(2), 148-156. https://doi.org/10.3906/tar-1101-1671.