Karafan
Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University
Winter 2023, Vol. 19, No. 4, p. 471- 485
Journal homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en
:10.48301/KSSA.2022.335022.2052
TVU

Original Research

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

The Effect of Greenhouse Cucumber Storage Methods on Mechanical Properties and Critical Bending

Farhad Khoshnam[1*], Hamid Ghasemkhani[2], Mohammad Reza Kamandar[3]

[1]Assistance Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 05.30.2022
Revised: 07.21.2022
Accepted: 09.11.2022

Keyword:
Storage Time
Quality
Packaging
Stiffness
Amount of Deflection

***Corresponding Author:**
Farhad Khoshnam
Email: *F_khoshnam@ujiroft.ac.ir*

ABSTRACT

In the present research, the effect of packaging as the first factor with four levels without packaging or control, cellophane, metallized transparent envelope and nano plastic and storage time as the second factor including levels of the first, second, third and fourth week on some mechanical properties including the breaking force, deformation, stiffness, breaking energy and critical bending of cucumber were investigated and determined in the form of a factorial experiment based on a completely random design. Excessive spoilage and softening of control samples caused them to be removed in the third and fourth weeks during the experiments. The results showed that the type of packaging was significant only on critical bending at the level of 5% and had no effect on other parameters. The interaction effect of packaging type and storage time on the parameters of rupture force, displacement, stiffness, rupture energy and critical bending of cucumber had different results. The lowest critical bending value (0.435 cm^{-1}) and the highest stiffness value (0.18 N/mm) at the end of the fourth week were related to the metallized package samples. In addition, the results showed that the method of packaging in a metallized transparent envelope can preserve the quality of the product and increase the shelf life compared to other tested methods.

©2023 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Cucumber (*Cucumis sativus*) belongs to the family *Cucurbitaceae* and is a very popular product. Cucumber is mostly consumed fresh all over the world. However, cucumber is highly perishable and non-climacteric, which experiences severe problems after harvesting such as loss of texture, loss of smell, and fungal rot. These changes affect the quality of cucumber, which is very important for export purposes. Thus far, several methods have been developed to increase the shelf life of cucumbers including temperature control, coating, controlled atmosphere (CA), pickling, and modified atmosphere packaging (MAP). The effect of nanochitosan coating containing essential oil on antioxidant activity and increasing the shelf life of cucumber was studied. Physicochemical and microbial tests were performed every three days. A significant difference in weight loss, firmness loss and respiration rate were observed in cucumbers treated with nanochitosan containing essential oil compared to samples coated with nanochitosan and control. It was found that chitosan coating containing essential oils can improve the quality of cucumber and protect bioactive compounds during storage. This study was conducted with the aim of determining the effect of packaging types and storage time on the mechanical properties and critical bending of the greenhouse cucumber.

Methodology

To conduct this experiment, greenhouse cucumber fruit of the Royal variety (Var. Royal), which is an imported variety, was collected from the cucumber growing greenhouse located in Jiroft city, Iran. For the convenience of performing the critical bending test, natural and straight samples were used, and short and curved cucumbers were removed [8]. The samples were prepared in the winter of 2019 and transported to the laboratory of physical and mechanical properties of agricultural products of University of Jiroft by special boxes. In order for the samples not to lose their moisture during transportation, they were wrapped in newspaper. Finally, the cucumbers were placed in cellophane packaging, metallized transparent envelope and nano plastic and kept with the control samples (without packaging) in the refrigerator (inside the middle shelves) at a temperature of 5 degrees. The length and equator of cucumbers were measured using a digital caliper with an accuracy of 0.01 millimeter, and their mass was measured with a sensitive digital scale with an accuracy of 0.01 gram**.** In order to measure the mechanical properties including rupture force, displacement, firmness and rupture energy, Santam STM-5 universal testing machine was used**.** A cone was made to determine the critical bending. The right cone was made of galvanized sheet with a thickness of one millimeter, the length of the edge was 60 cm and the radius of the base was 15 cm. With the gradual movement towards the tip of the cone, the bending value of the sample increased and as a result, the sample ruptured. At the rupture site, the distance to the top of the cone was recorded (Figure 1). Experiments were carried out at four levels of cucumber packaging (without packaging or control, cellophane,

metallized transparent envelope and nano plastic) and four levels of storage time (first, second, third and fourth weeks) and in the form of a completely random design.

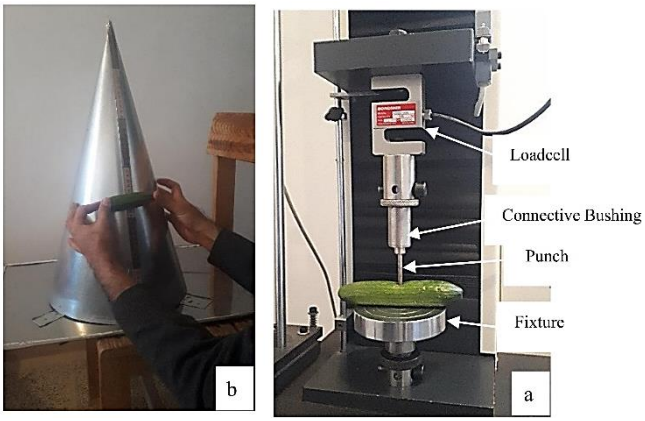


Figure 1. (a) Santam STM-5 universal testing device with a 5/16-inch diameter punch (7.9 mm) during testing, (b) Measuring of the critical bending.

Results and discussion

Conducting tests for cellophane, transparent metallized and nano packaging during four weeks was successful, but in the third and fourth weeks, the control cucumbers (without packaging) resulted in extensive spoiling and wrinkling, so that the mechanical tests and also critical bending test was not possible on the samples and therefore no data was obtained. In fact, after this period of time in the refrigerator, the samples lost their crispness and freshness and started to become spoilt and lost their taste. Figure 2 shows the values of critical bending at different storage and packaging times. The increasing trend of critical bending was evident in the following weeks, which indicated a decrease in the quality of cucumbers. The lowest critical bends were related to the first week. Increasing the critical bending meant greater bending and less crispness, and therefore not desirable for consumers as consumers usually prefer firm and crisp cucumbers.

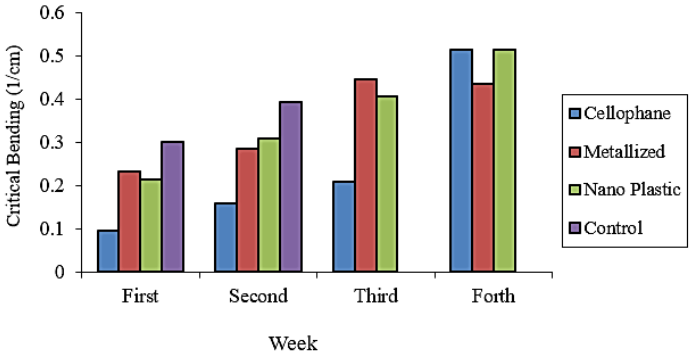


Figure 3. Average values of critical bending of cucumber in different storages and packaging times.

It seems that in addition to the moisture content, other physical and chemical characteristics such as intercellular connection affected the critical bending. The composition of the atmosphere in the package depends on the permeability of the sample cover. By increasing permeability, the amount of oxygen in the packages was greater and the amount of carbon dioxide lesser; the greater permeability made the atmosphere in the package reach the equilibrium state quickly. An increase in temperature also affected the composition of the atmosphere in the package, and with an increase in temperature, the amount of oxygen decreased and the amount of carbon dioxide increased. In fresh products such as cucumbers, after harvest, the main problem is that they continue to breathe and using metallized packaging compared to other packaging can increase the speed of respiration by adjusting oxygen permeability and reducing carbon dioxide. By this type of packaging, in addition to reducing the breathing rate of fresh cucumbers, it is possible to prevent tissue softening (reduction of firmness) and moisture loss. Based on the results of the comparison of firmness averages, the decreasing values for this parameter in the fourth week were as follows: cellophane < nano < metallized.

Conclusion

At the end of the fourth week, the critical bending of the samples in the metallized package was 0.435 cm^{-1} and the lowest value. The method of packing cucumbers in metallized packaging in order to maintain the quality and freshness of the product was useful. Among the packages that were tested, the metallized package performed better in maintaining the quantitative and qualitative characteristics of cucumbers due to slowing down respiration, evaporation and transpiration and all metabolic processes.

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
زمستان ۱۴۰۱، دوره ۱۹، شماره ٤، ٤٨٥-٤٧١
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2022.335022.2052

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

مقاله پژوهشی

تأثیر روش‌های نگهداری خیار گلخانه‌ای بر خواص مکانیکی و خمش بحرانی

فرهاد خوشنام[۱*]، حمید قاسم‌خانی[۲]، محمدرضا کماندار[۳]

۱، ۲ و ۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۹
بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۳۰
پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰

کلید واژگان:
زمان نگهداری
کیفیت
بسته‌بندی
سفتی،
میزان انحراف

***نویسنده مسئول:** فرهاد خوشنام
پست الکترونیکی:
F_khoshnam@ujiroft.ac.ir

چکیده

در این تحقیق تأثیر بسته‌بندی به عنوان عامل اول دارای چهار سطح بدون بسته‌بندی یا شاهد، سلفون، پاکت شفاف متالایز و پلاستیک نانو و زمان نگهداری به عنوان عامل دوم شامل سطوح هفته اول، دوم، سوم و چهارم بر برخی از خواص مکانیکی شامل نیروی شکست، تغییر شکل، سفتی، انرژی شکست و خمش بحرانی خیار در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی بررسی و تعیین شد. پوسیدگی و له شدگی زیاد نمونه‌های شاهد باعث حذف آنها در هفتهٔ سوم و چهارم در طول آزمایش‌ها شد. نتایج نشان داد نوع بسته‌بندی فقط بر خمش بحرانی در سطح ۵ درصد معنی‌داری بود و بر سایر پارامترها تأثیری نداشت. اثر متقابل نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری بر پارامترهای نیروی شکست، تغییر شکل، سفتی، انرژی شکست و خمش بحرانی خیار نتایج متفاوتی داشت. کمترین مقدار خمش بحرانی ($۰/۴۳۵\ cm^{-1}$) و بیشترین مقدار سفتی ($۱۸/۰\ N/mm$) در پایان هفتهٔ چهارم مربوط به نمونه‌های داخل بسته متالایز بود. همچنین نتایج نشان داد که روش بسته‌بندی در پاکت شفاف متالایز نسبت به سایر روش‌های مورد آزمایش می‌تواند موجب حفظ کیفیت محصول و افزایش طول دورهٔ ماندگاری شود.

©2023 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

خیار با نام علمی *Cucumis sativus* متعلق به تیرهٔ کدوئیان (*Cucurbitaceae*) محصولی بسیار پرمصرف است، چرا که هم به صورت تازه‌خوری (به عنوان میوه و سالاد) و هم برای مصارف فرآوری مثل تهیهٔ خیارشور مورد استفاده قرار می‌گیرد. خیار گیاهی یک‌ساله و محصول فصل گرم است و چون دمای هوا در کل سال برای کشت آن مطلوب نیست، پرورش گلخانه‌ای آن به منظور تولید و عرضه در تمام طول سال مورد توجه قرار گرفته است [۱]. خیار در سراسر جهان بیشتر به صورت تازه مصرف می‌شود. با این وجود خیار بسیار فاسدشدنی و غیرکلایمکتریک است که مشکلات شدید پس از برداشت از جمله از بین رفتن سفتی بافت، از بین رفتن بو و پوسیدگی قارچی را تجربه می‌کند. این تغییرات بر کیفیت خیار تأثیر می‌گذارد که برای اهداف صادراتی بسیار مهم است [۲]. تاکنون روش‌های متعددی برای افزایش زمان ماندگاری خیار توسعه یافته است از جمله کنترل دما، پوشش‌دهی، اتمسفر کنترل شده[1] (CA)، ترشی انداختن و بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح شده[2] (MAP) [۳]. خیار از نظر سرانهٔ مصرف در بین خانواده‌های ایرانی از جایگاه خاصی برخوردار است. برخی محققان گزارش کرده‌اند که خواص مکانیکی خیار طی دورهٔ نگهداری تغییر می‌کند، همچنین خواص خیار بسته به نوع رقم، روز برداشت و دورهٔ نگهداری متغیر هستند. میوهٔ خیار با بافت سفت‌تر می‌تواند بین سه تا هفت روز قابل مصرف باقی بماند [۴; ۵].

بسته‌بندی به روش MAP به معنی وارد کردن اتمسفر در یک پاکت یا بسته ماده غذایی با ترکیب خاص CO_2، N_2 و O_2 می‌باشد. در این روش رسیدن به یک تعادل گازی از اهمیت زیادی برخوردار است که این تعادل زمانی ایجاد می‌شود که در نتیجهٔ تنفس محصول، مقدار اکسیژن مصرف شده و دی‌اکسیدکربن تولید شده برابر با مقدار خارج شده از بسته‌بندی باشد. امروزه از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده به طور گسترده‌ای جهت افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات تازه مورد استفاده قرار گرفته است که مهم‌ترین پارامترها در موفقیت این نوع بسته‌بندی، استفاده از ترکیب گازی بهینه، فیلم بسته‌بندی و دمای مناسب می‌باشد .این روش نگهداری کیفیت تازه فرآورده‌های غذایی را بدون عملیات حرارتی و شیمیایی مانند کنسرو کردن و خشک کردن میسر می‌کند [۶].

در پژوهشی تأثیر بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده و پوشش خوراکی کیتوزان بر ویژگی‌های خیار گلخانه‌ای بررسی و مشخص شد که با به‌کار بردن نیم درصد پوشش کیتوزان و نگهداری خیار گلخانه‌ای در دمای زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد تحت بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (۷ تا ۱۰ درصد اکسیژن) می‌توان زمان ماندگاری این محصول را با توجه به صفات سفتی بافت، حداقل افت وزن و چروکیدگی، رنگ سبز ظاهری و طعم و مزه قابل قبول و همچنین عدم فساد میکروبی تا ۱۵ روز افزایش داد. نتایج این تحقیق نشان داد با استفاده از بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده و نگهداری در دمای پایین می‌توان علاوه بر کاهش سرعت تنفس خیار تازه از نرم شدن بافت و افت رطوبت آن جلوگیری نمود. به‌علاوه پوشش‌دهی خیار با کیتوزان نیز به شکل معنی‌داری از افت وزن، مواد مغذی و رشد میکروبی جلوگیری می‌نماید [۶].

تأثیر پوشش نانوکیتوزان حاوی اسانس روغنی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش زمان ماندگاری خیار مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌های فیزیک‌وشیمیایی و میکروبی هر سه روز یکبار انجام گرفت. تفاوت معنی‌داری در افت وزن، سفتی و نرخ تنفس در خیارهای تیمار شده با نانوکیتوزان حاوی اسانس در مقایسه با نمونه‌های پوشش‌دهی شده با نانوکیتوزان و شاهد مشاهده شد. مشخص شد که پوشش کیتوزان حاوی اسانس می‌تواند کیفیت خیار را بهبود بخشیده و از ترکیبات زیست‌فعال در طول نگهداری محافظت کند [۷].

تأثیر پوشش آلوئه‌ورا- لیمونن و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده بر خصوصیات پس از برداشت خیار رقم نگین بررسی و تحقیق شد. نمونه‌های خیار با محلول آلوئه‌ورا- لیمونن پوشش‌دهی و در دو شرایط گازی مختلف بسته‌بندی شدند.

[1] Controlled Atmosphere
[2] Modified Atmosphere Packaging

نتایج نشان داد که پوشش آلوئه‌ورا- لیمونن و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده، پارامترهای کیفی خیار را بهبود بخشیدند. استفاده از بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مشکلات کیفیت منجر شده و فقط در نگهداری کوتاه مدت امکان‌پذیر است [۲]. آزمایش حاضر با هدف مشخص شدن تأثیر انواع بسته‌بندی و زمان نگهداری بر خواص مکانیکی و خمش بحرانی محصول خیار گلخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

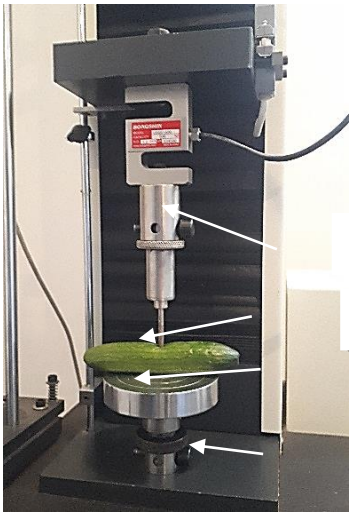
برای انجام این آزمایش میوهٔ خیار گلخانه‌ای رقم رویال (Var. Royal) که یک رقم وارداتی می‌باشد از گلخانهٔ پرورش خیار واقع در شهرستان جیرفت جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها به صورت تصادفی و بر اساس طول و شکل به صورت همسان برداشت شدند. خیارهای برداشت شده دارای کیفیت ظاهری مناسب و بدون هرگونه لک و یا آسیب‌دیدگی بودند. برای سهولت جهت انجام آزمون خمش بحرانی از نمونه‌های طبیعی و کشیده[1] استفاده و خیارهای کوتاه و خمیده (انحنادار) حذف شدند. خیارهای کج یا خمیده دارای انحراف زیادی هستند به گونه‌ای که میزان انحراف آنها در هر ۱۰ سانتی‌متر از طول خیار بیش از ۱۰ میلی‌متر است [۸].

نمونه‌ها در زمستان سال ۱۳۹۹ تهیه و توسط جعبه‌های مخصوصی به آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی دانشگاه جیرفت انتقال یافت. برای این که نمونه‌ها رطوبت خود را در حین حمل و نقل از دست ندهند درون روزنامه پیچیده شدند. در نهایت خیارها در بسته‌بندی سلفون، پاکت شفاف متالایز و پلاستیک نانو قرار داده و با نمونه‌های شاهد (بدون بسته‌بندی) در داخل یخچال (داخل قفسه‌های میانی) با دمای ۵ درجه نگهداری شدند. دمای داخل توسط دماسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری شد. در روش بسته‌بندی سلفون هر خیار را با سلفون کاملاً محکم پیچیده شد. پاکت شفاف متالایز از مواد پلاستیکی پلیمری ساخته شده و توسط یک لایه‌ی فلزی، معمولاً آلومینیوم، پوشانده شده است. یک سمت آن کاملاً شفاف بوده و مواد بسته‌بندی شده را نشان می‌دهد. لایه رویی پاکت شفاف متالایز شفاف بوده و رنگ لایه پشت پاکت متالایز است. جنس لایه رویی از پلی‌استر شفاف به ضخامت ۱۲ میکرون همراه با پلی‌اتیلن به ضخامت ۱۰۰ میکرون و جنس لایه پشت پاکت از پلی‌استر متالایز و پلی‌اتیلن به ضخامت ۱۰۰ میکرون است. سلفون و پاکت شفاف متالایز ساخت داخل کشور و پلاستیک نانو ساخت ترکیه است (شکل ۱).

[1] Straight

شکل ۱. (a) بسته‌بندی هر خیار در سلفون، دو انتهای سلفون کاملاً پیچانده شده است، (b) بسته‌بندی خیار در پلاستیک نانو، (c) بسته‌بندی خیار در پاکت شفاف متالایز، دارای قابلیت زیپ کیپ، آسان بازشو و دسته‌دار

طول (a) و قطر میانی (b) خیارها با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت یک صدم میلی‌متر و جرم آنها توسط یک ترازوی حساس دیجیتالی با دقت یک صدم گرم اندازه‌گیری شد. میزان انحراف توسط خط‌کش تی و خط‌کش معمولی با دقت یک میلی‌متر تعیین شد. جهت اندازه‌گیری خواص مکانیکی شامل نیروی شکست، تغییر شکل، سفتی و انرژی شکست از دستگاه آزمون یونیورسال مدل Santam, STM-5 استفاده شد. بدین منظور پانچ (میله نفوذسنجی) به قطر $\frac{۵}{۱۶}$ اینچ (۷/۹ میلی‌متر) از طریق بوش رابطی به فک بالای دستگاه Santam اتصال داده شد (شکل ۲a). نمونه‌های خیار در وضعیت افقی روی فک پایینی (فک ثابت) قرار گرفتند. در شروع هر آزمایش نمودار نیرو- تغییر شکل در رایانه متصل به دستگاه ترسیم می‌شد. نیروی مورد نظر در هر آزمون از طریق لودسلی که به فک متحرک دستگاه وصل است احساس می‌شود. برای انجام آزمون فشار ابتدا دستگاه برای حالت فشار آماده شد. آزمون تا لحظه‌ای که منحنی به اوج خود رسیده و سپس نزول می‌کرد، ادامه یافت. نیروی اوج به‌عنوان نیروی شکست (N) و مقدار نفوذ تا زمان رسیدن به اوج نیرو به عنوان تغییر شکل (mm) درنظر گرفته شد. از نسبت نیروی اوج به تغییر شکل، سفتی (N/mm) و انرژی شکست (mJ) معرف سطح زیر نمودار نیرو- تغییر شکل تا نقطه اوج نیرو است. سرعت بارگذاری ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه انتخاب شد.



a

b

شکل ۲. (a) دستگاه آزمون یونیورسال مدل Santam, STM-5 همراه با پانچ به قطر $\frac{5}{16}$ اینچ (معادل ۷/۹ میلی‌متر) در حین آزمایش، (b) وسیلهٔ تعیین خمش بحرانی

برای تعیین میزان شکست ناشی از خمش وسیله ساده‌ای ساخته شد (شکل ۲b). حداکثر شعاع انحنایی که در آن نمونه می‌شکند و یا گسیخته می‌شود، شعاع انحنای بحرانی[1] (بر حسب cm) و عکس آن خمش بحرانی (بر حسب cm^{-1}) نام دارد. برای تعیین خمش بحرانی مخروطی ساخته شد. مخروط یک شکل هندسی سه‌بعدی و نوعی هرم است که قاعده آن دایره‌ای بوده و به یک نوک تیز ختم می‌شود که رأس نامیده می‌شود. جنس مخروط قائم از ورق گالوانیزه به ضخامت یک میلی‌متر، طول یال ۶۰ سانتی‌متر و شعاع قاعده ۱۵ سانتی‌متر بود. روی یال مخروط قائم توسط چسب شفاف پهن، متر خیاطی از قاعده دایره‌ای تا راس آن چسبانده شد (شکل ۲b). نمونه‌های خیار در پایین مخروط به طور کامل به سطح جانبی مخروط چسبانده و در فواصل بالاتر (به سمت راس مخروط) نیز این عمل را تکرار کرده تا نمونه دچار شکست خمشی شود. با حرکت تدریجی به سمت نوک مخروط مقدار خمش نمونه افزایش یافته و در نتیجه نمونه می‌شکند. در محل شکست فاصله تا راس مخروط قرائت شد. به‌دلیل اینکه شعاع قاعده یک چهارم طول یال مخروط است با نسبت ساده‌ی تشابه دو مثلث قائم‌الزاویه به‌سادگی مشخص شد که شعاع بحرانی به اندازه یک چهارم فاصله نقطه شکست تا نوک مخروط است.

آزمایش‌ها در چهار سطح بسته‌بندی خیار (بدون بسته‌بندی یا شاهد، سلفون، پاکت شفاف متالایز و پلاستیک نانو) و در چهار سطح زمان نگهداری (هفته اول، دوم، سوم و چهارم) و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. آزمایش‌های مکانیکی و تعیین خمش بحرانی در ساعات مشخصی از روز برای نمونه‌ها انجام گرفت. آنالیز واریانس جهت ارزیابی اثرات نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری بر روی مقادیر نیروی شکست، تغییر شکل، سفتی، انرژی شکست و خمش بحرانی

[1] Critical Radius of Curvature

(p>۰/۰۵) انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ و کلیه نتایج آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد.

نتایج و بحث

جدول (۱) برخی مقادیر تعیین شده خواص فیزیکی خیارهای مورد آزمایش را نشان می‌دهد. طبق این جدول طول نمونه‌ها در محدوده ۱۱۲/۵۱ میلی‌متر تا ۱۷۷/۷۹ میلی‌متر، قطر میانی در محدوده ۲۰/۷۵ میلی‌متر تا ۳۵/۰۵ میلی‌متر، نسبت طول به قطر میانی در محدوده ۴/۷۷ تا ۶/۲۲ قرار داشت. از آنجایی که میانگین میزان انحراف نمونه‌ها ۴/۵۶ میلی‌متر است مشخص می‌شود که در ۱۰ سانتی‌متر از طول هم میزان انحراف به مراتب کمتر از مقدار مذکور است (میانگین طول خیارها ۱۴۷/۸۳ میلی‌متر است)، لذا طبق استاندارد شماره ۳۸۹۴ خیارها کج یا خمیده نیستند.

جدول ۱. مقادیر تعیین شده برخی خواص فیزیکی خیار

متغیرها	میانگین	انحراف استاندارد	کمترین	بیشترین
طول (میلی‌متر)	۱۴۷/۸۳	۱۵/۲۸	۱۱۲/۵۱	۱۷۷/۷۹
قطر میانی (میلی‌متر)	۲۷/۱۱	۳/۳۳	۲۰/۷۵	۳۵/۰۵
نسبت طول به قطر	۵/۴۷	۰/۳۴۷	۴/۷۷	۶/۲۲
جرم (گرم)	۷۷/۹۶	۲۶/۱۶	۳۷/۱۳	۱۴۰/۲۳
میزان انحراف (میلی‌متر)	۴/۵۶	۰/۲۷۳	۳/۱۲	۶/۶۸

جدول (۲) نتایج انجام آزمایش‌های موفق و ناموفق را نشان می‌دهد. مطابق جدول انجام آزمایش‌ها برای بسته‌بندی سلفون، شفاف متالایز و نیز نانو در طول چهار هفته موفقیت‌آمیز ولی در هفته سوم و چهارم خیارهای شاهد (بدون بسته‌بندی) دچار پلاسیدگی و چروکیدگی زیادی شدند به نحوی که انجام آزمون‌های مکانیکی و نیز خمش بحرانی بر روی نمونه‌ها ممکن نبود و لذا داده‌ای هم به‌دست نیامد. در واقع نمونه‌ها پس از این مدت و در یخچال، تردی و تازگی خود را از دست داده و شروع به پلاسیده شدن و از دست دادن مزه خود می‌کنند.

جدول ۲. نتایج انجام آزمایش‌های موفق (√) و ناموفق (×)، کادرهای رنگی معرف آزمایش‌های فاکتوریل می‌باشد.

نوع بسته‌بندی	هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم
شاهد	√	√	×	×
سلفون	√	√	√	√
شفاف متالایز	√	√	√	√
نانو	√	√	√	√

جهت مقایسه نتایج از دو آزمایش فاکتوریل استفاده شد. آزمایش اول (کادر قرمز جدول ۱) در چهار سطح بسته‌بندی و دو سطح زمان نگهداری (هفته اول و دوم) و آزمایش دوم (کادر آبی جدول ۱) در سه سطح بسته‌بندی و دو سطح زمان نگهداری (هفته سوم و چهارم) انجام گرفت.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری بر خواص مکانیکی و خمش بحرانی خیار (کادر قرمز جدول ۱)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		نیروی شکست	تغییر شکل	سفتی	انرژی شکست	خمش بحرانی
نوع بسته‌بندی	۳	۱۱۳۹۲۴/۰ ns	۶/۷ ns	۱۰۹/۲ ns	۱۶۹۸۸۱۴۴/۹ ns	۰/۰۴۹۲*
زمان نگهداری	۱	۱۵۴۶۳۸/۱ ns	۴۰/۰*	۱۷۴/۴ ns	۱۶۶۰۵۲۲۰/۱ ns	۰/۰۳۴۲**
بسته‌بندی و نگهداری	۳	۳۱۱۴۷۴/۱*	۷۵/۶**	۴۷۳/۸ ns	۵۳۲۴۵۹۲۳/۴**	۰/۰۰۰۶۶ ns
خطا	۲۴	۹۰۰۹۱/۸	۸/۳	۲۴۶/۳	۹۸۱۶۵۵۴/۲	۰/۰۰۱۷
ضریب تغییرات	-	۴۴/۵۰	۱۹/۴۹	۳۵/۴۱	۵۷/۱۹	۱۶/۶۶

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ns عدم معنی‌داری

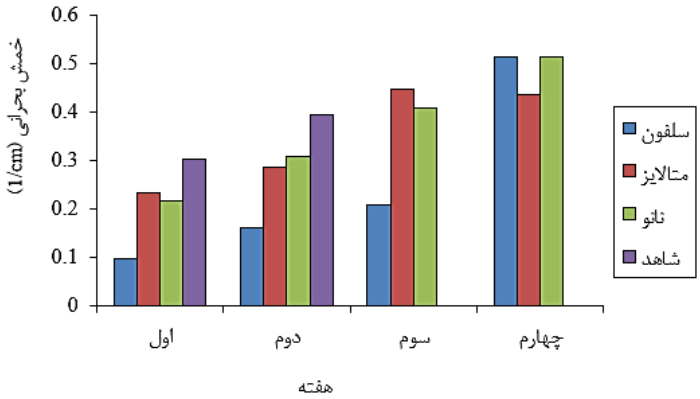
جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری بر خواص مکانیکی و خمش بحرانی خیار (کادر آبی جدول ۱)

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات				
		نیروی شکست	تغییر شکل	سفتی	انرژی شکست	خمش بحرانی
نوع بسته‌بندی	۲	۸۱۱۸۱/۹**	۸/۸۷ ns	۴۰۱/۶۳**	۴۴۹۵۵۲۱/۱**	۰/۰۴۹*
زمان نگهداری	۱	۵۵۴۸/۰ ns	۲/۳۶ ns	۷۷/۷۶**	۶۶۴۷۵/۹ ns	۰/۱۵۹۳**
بسته‌بندی و نگهداری	۲	۵۱۰۲/۸ ns	۳/۱۵ ns	۱۲/۷۳ ns	۳۸۰۲۸۳/۰ ns	۰/۰۱۳۸۱**
خطا	۱۸	۱۷۹۰/۸	۳/۱۵	۹/۲۲	۱۳۸۶۸۰/۲	۰/۰۰۳۹
ضریب تغییرات	-	۲۷/۸۹	۱۳/۸۰	۲۶/۰۳	۳۶/۸۱	۱۹/۶۶

** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ns عدم معنی‌داری

جدول ۳ و ۴ نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری بر خواص مکانیکی و خمش بحرانی خیار را نشان می‌دهد. در جدول ۳ نوع بسته‌بندی فقط بر خمش بحرانی تأثیر معنی‌داری داشته و در جدول ۴ نوع بسته‌بندی بر اکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده تأثیر معنی‌داری داشته است. به‌نظر می‌رسد در هفته‌های پایانی (سوم و چهارم) نوع بسته‌بندی تأثیر زیادی بر خواص مکانیکی داشته و آنها را تغییر داده است. در جدول ۳ زمان نگهداری بر تغییر شکل و خمش بحرانی و در جدول ۴ زمان نگهداری فقط بر سفتی و نیز خمش بحرانی تأثیر معنی‌داری دارد. نتایج اثر متقابل نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری بر پارامترهای مورد اندازه‌گیری در هر دو جدول نتایج متفاوتی داشت.

در پژوهشی اثر بسته‌بندی با اتمسفر تعدیل یافته با غلظت گاز اکسیژن، پلی ساکارید کیتوزان به عنوان پوشش و دما بر روی سفتی بافت، خواص رنگی و آزمون حسی خیار گلخانه‌ای رویال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در غلظت ثابتی از پوشش کیتوزان و دمای نگهداری، با گذشت زمان انبارداری بافت خیار نرم‌تر شده و نیروی لازم برای نفوذ پروب دستگاه در محصول کاهش یافت به‌طوری‌که نمونه‌های نگهداری شده در روزهای اول دارای بیشترین سفتی بافت بودند. همچنین مشخص شد که غلظت گاز اکسیژن تأثیر معنی‌داری بر سفتی بافت خیار داشت [۸].



شکل ۳. میانگین مقادیر خمش بحرانی خیار در زمان‌های نگهداری و بسته‌بندی مختلف

شکل ۳ مقادیر خمش بحرانی در زمان‌های نگهداری و بسته‌بندی مختلف را نشان می‌دهد. روند افزایشی خمش بحرانی در هفته‌های بعدی مشهود است که نشانگر کاهش کیفیت خیارهاست. کمترین خمش‌های بحرانی مربوط به هفته اول است. از آنجایی که هدف نگه‌داری طولانی مدت خیار است لذا هفته‌های آخر مدنظر است. افزایش خمش بحرانی به مفهوم انعطاف‌پذیری بیشتر و تردی کمتر است و لذا مطلوب مصرف‌کنندگان نیست. چون مصرف‌کنندگان معمولاً خیار سفت و ترد را ترجیح می‌دهند. به‌نظر می‌رسد علاوه بر محتوای رطوبتی سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند ارتباط بین سلولی، خمش بحرانی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

در پایان هفتهٔ اول بسته‌بندی سلفون کمترین خمش بحرانی (۰/۰۹۶ cm^{-1}) و نمونهٔ شاهد بیشترین خمش بحرانی (۰/۳۰۱ cm^{-1}) را داشت که در نمونه‌های شاهد قابل انتظار بود چون با محیط تبادل رطوبتی داشته و رطوبت بیشتری در مقایسه با سایر بسته‌بندی‌ها از دست می‌دهد. در پایان هفتهٔ اول نمونه‌های شاهد دارای پلاسیدگی ظاهری، نمونه‌های داخل متالایز بدون تغییرات ظاهری، نمونه‌های داخل نانو مقداری آب از دست دادند. خمش بحرانی نمونه‌های شاهد در پایان هفتهٔ دوم برابر ۰/۳۹۴ cm^{-1} بود و در هفتهٔ سوم و چهارم قابل اندازه‌گیری نبودند. در پایان هفتهٔ دوم و سوم سلفون خمش بحرانی کمتری داشته و نمونه‌ها کیفیت بهتری داشتند. در هفتهٔ دوم نمونه‌های شاهد دارای پلاسیدگی زیاد، نمونه‌های داخل متالایز و سلفون ظاهری تازه داشتند.

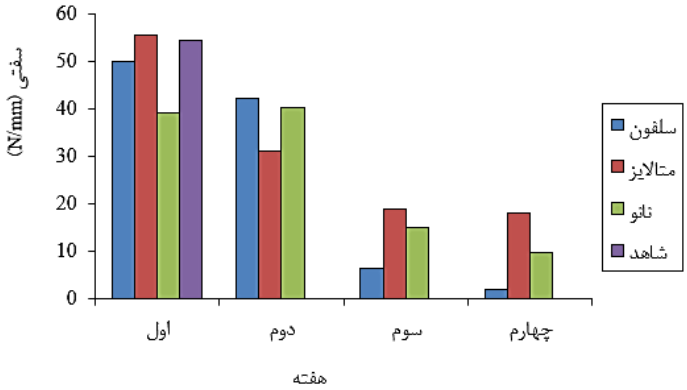
در پایان هفتهٔ سوم خیارهای بسته‌بندی شده با متالایز خمش بحرانی ۰/۴۴۷ cm^{-1} و در نانو ۰/۴۰۷ cm^{-1} داشتند. در این هفته نمونه‌های داخل سلفون نرم و شل، نمونه‌های داخل متالایز ظاهری صاف و سالم‌تر و نمونه‌های داخل نانو نسبت به متالایز ظاهر چروکیده ولی نسبت به سلفون ظاهری صاف و بهتری داشت.

در پایان هفتهٔ چهارم میانگین خمش بحرانی نمونه‌های داخل سلفون ۰/۵۱۴ cm^{-1}، متالایز ۰/۴۳۵ cm^{-1} و نانو ۰/۵۱۴ cm^{-1} بود. یعنی خیار با بسته‌بندی متالایز تردتر از بسته‌بندی سلفون و نانو می‌باشد. میزان تردی نوع بسته‌بندی متالایز بیشتر از سایر بسته‌بندی‌ها بود. در پایان این هفته نمونه‌های داخل سلفون بسیار نرم و شل، نمونه‌های داخل متالایز ظاهری صاف و سالم‌تر و نمونه‌های داخل نانو بافت شل و نرم نسبت به متالایز ولی نسبت به سلفون بهتر بودند. به‌نظر می‌رسد بسته‌بندی متالایز موجب ماندگاری بهتر خیارها می‌شود. در بسته‌بندی متالایز چروکیدگی و از دست دادن آب کمتر بوده و کیفیت ظاهری آن بهتر است.

ترکیب اتمسفر داخل بسته‌بندی به نفوذپذیری پوشش نمونه‌ها بستگی دارد. با افزایش نفوذپذیری میزان اکسیژن درون بسته‌ها بیشتر و میزان دی‌اکسیدکربن کمتر بوده و نفوذپذیری بیشتر باعث گردید که اتمسفر درون بسته‌بندی

سریع‌تر به حالت تعادل برسد. افزایش دما نیز بر ترکیب اتمسفر درون بسته‌بندی موثر است و با افزایش دما میزان اکسیژن کاهش و میزان دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد.

اتمسفر اصلاح شده می‌تواند به صورت غیرفعال در داخل یک بسته عایق شده، از طریق تنفس خود محصول و همچنین تبادلات گازی از فیلم بسته‌بندی، ایجاد شود. در این روش فقط تنفس محصول و همچنین میزان نفوذپذیری فیلم بسته‌بندی نسبت به گازها است که روی تغییرات غلظت گازهای درون بسته اثر می‌گذارد. اگر سرعت تنفس محصول با نفوذپذیری فیلم متناسب باشد، در نتیجه یک اتمسفر اصلاح شده بهینه در داخل بسته ایجاد می‌شود که باعث افزایش زمان ماندگاری محصول می‌شود. فیلم پلیمری با توجه به انتخاب‌پذیری که در مقابل گازها دارد تبادلات آنها را به درون و بیرون بسته کنترل می‌کند. بعد از گذشت یک مدت زمان مشخص، سیستم به یک اتمسفر تعادلی می‌رسد که حاوی غلظت کمتری از گاز اکسیژن و غلظت بیشتری از گاز دی‌اکسیدکربن نسبت به اتمسفر اولیه به کار رفته در بسته است [۹].



شکل ۴. میانگین مقادیر سفتی خیار در زمان‌های نگهداری و بسته‌بندی مختلف

شکل ۴ میانگین مقادیر سفتی خیار در زمان‌های نگهداری و بسته‌بندی مختلف را نشان می‌دهد. سفتی یک مشخصه اساسی برای عمر پس از برداشت و کیفیت میوه محسوب می‌شود. روند کاهشی سفتی نمونه‌های شاهد و تیمار در مدت زمان نگه‌داری مشهود است. خیار میوه‌ای است که در طول مدت نگهداری، به دلیل کاهش آب و آسیب‌پذیری در برابر آلودگی قارچی، مستعد از دست‌دادن سریع سفتی خود است. دلیل کاهش ناگهانی سفتی در هفتهٔ سوم ناشی از میزان تغییرات متابولیکی و آب است. یکی از فاکتورهای اصلی مورد استفاده در تعیین کیفیت و عمرماندگاری میوه‌ها و سبزیجاتی مانند خیار سرعت یا مقدار کاهش سفتی بافت آن در طول انبارداری می‌باشد [۱۰]. سفتی خیار در بسته‌بندی نانو و هفتهٔ دوم N/mm ۴۰/۳ و در هفتهٔ اول N/mm ۳۹/۲ به‌دست آمد. به نظر می‌رسد بعلت چروک شدن پوست خیار به دلیل از دست دادن رطوبت نیروی بیشتری برای نفوذ مورد نیاز است. بیشترین مقدار سفتی (N/mm ۵۵/۴) در طول زمان نگه‌داری در انتهای پایان هفته اول و مربوط به بسته‌بندی متالایز بود. در هفتهٔ چهارم نیز بیشترین مقدار سفتی (N/mm ۱۸/۰) مربوط به متالایز و کمترین سفتی (N/mm ۲) مربوط به سلفون است. خواص مکانیکی و بافتی محصولات کشاورزی به محتوای رطوبتی بستگی داشته و در طول زمان تغییرپذیر هستند.

در محصولات تازه پس از برداشت مانند خیار مسالهٔ اصلی این است که آنها همچنان به تنفس خود ادامه می‌دهند و استفاده از بسته‌بندی متالایز در مقایسه با سایر بسته‌بندی‌ها می‌تواند سرعت تنفس را از طریق تنظیم نفوذپذیری اکسیژن و دی‌اکسیدکربن کاهش دهد. با این نوع بسته‌بندی می‌توان علاوه بر کاهش سرعت تنفس خیار تازه از نرم شدن

بافت (کاهش سفتی) و افت رطوبت جلوگیری نمود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های سفتی، مقادیر کاهشی برای این پارامتر در هفته چهارم به صورت: متالایز > نانو > سلفون است.

نرم شدن میوه‌ها به دلیل تخریب ساختار سلولی، ترکیب دیواره سلولی و مواد درون سلولی است. این نرم شدگی فرآیند بیوشیمیایی است که شامل هیدرولیز پکتین و نشاسته توسط آنزیم‌هایی مانند هیدرولاز دیواره است. مقادیر پایین O_2 و بالای CO_2 فعالیت آنزیم‌های دیواره سلولی را محدود کرده و باعث می‌شود سفتی در طول انبارداری حفظ شود. همچنین کاهش سرعت تنفس خیار می‌تواند عامل تأخیر در نرم شدن باشد که منجر به حفظ سفتی در طول انبارداری می‌شود [۱۱].

تأثیر بسته‌بندی و انبارداری در شرایط اتمسفر اصلاح شده بر خصوصیات کیفی خیار بررسی و مشخص شد که سفتی در مدت ۱۲ روز در سطح احتمال ۹۹ درصد روند کاهشی داشت. سفتی توسط پراب به قطر ۵ میلی‌متر و سرعت ۵ میلی‌متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد [۱۲]. تأثیر برخی پوشش‌های خوراکی بر کاهش وزن و عمر نگهداری دو رقم خیار خاردار بررسی شد. نتایج نشان داد که هر دو رقم خیار دارای مواد پوششی، بهترین ظاهر و شکل درخشندگی را از خود نشان دادند که مرتبط با اثر پوشش‌های خوراکی بر کاهش وزن کمتر، کاهش از بین رفتن کلروفیل و تأخیر در نرم شدن مربوط بود [۱۳].

نتیجه‌گیری

در پایان هفتهٔ چهارم خمش بحرانی نمونه‌های داخل بسته‌بندی متالایز برابر ۰/۴۳۵ cm^{-1} و کمترین مقدار بود. خمش بحرانی میوه خیار در طول مدت بسته‌بندی به دلیل تغییر ساختار محصول، تغییر محتوای رطوبتی محصول و سست شدن پیوند بین بافتی و تغییر سفتی محصول تغییر می‌کند. بنابراین از خاصیت خمش بحرانی می‌توان جهت ارزیابی کیفیت محصول استفاده نمود. روش بسته‌بندی خیار در متالایز به منظور حفظ کیفیت و تازه ماندن محصول سبب کاهش ضایعات این محصول جالیزی مفید است. بسته‌بندی متالایز نسبت به بسته‌بندی نانو و سلفون توانایی بیشتری در حفظ خصوصیات کمی و کیفی خیار دارد. بر اساس نتایج چنین به نظر می‌رسد که بسته‌بندی متالایز به دلیل نفوذپذیری بیشتر به گاز اکسیژن نسبت به سایر بسته‌بندی‌ها، باعث ایجاد اتمسفر مطلوب و حفظ بهتر خصوصیات خیار شده است. از بین بسته‌بندی‌هایی که آزمایش در آنها صورت گرفت، بسته‌بندی متالایز به دلیل کند نمودن تنفس، تبخیر و تعرق و کلیه فرایندهای متابولیکی در حفظ خصوصیات کمی و کیفی خیار بهتر عمل می‌کند.

References

[1] Aghdak, P., & Mobli, M. (2011). *Greenhouse vegetable growing technology (in soil and soilless cultivation)*. Arkan Danesh. https://www.gisoom.com/book/1787263/

[2] Maleki, G., Salemi, B., & Sedaghat, N. (2021). Improving postharvest attributes of Cucumber (Negin cultivar) using Combination of Aloe Vera-Limonene Coating and MAP. *Journal of Food Science and Technology*, *18*(113), 109-120. https://doi.org/10.52547/fsct.18.113.109

[3] Moalemiyan, M., & Ramaswamy, H. (2012). Quality retention and shelf-life extension in mediterranean cucumbers coated with a pectin-based film. *Journal of food research*, *1*(3), 159-168. https://doi.org/10.5539/jfr.v1n3p159

[4] Breene, W. M., Da Vis, D. W., & Chou, H-E. (1972). Texture profile analysis of cucumbers. *Journal of Food Science*, *37*(1), 113-117. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1972.tb03398.x

[5] Sakata, Y., Horie, H., Ohara, T., Kawasaki, Y., & Sugiyama, M. (2008). Influences of rootstock cultivar and storage on the texture of cucumber fruits. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, *77*(1), 47-53. https://doi.org/10.2503/jjshs1.77.47

[6] Manolopoulou, H., Xanthopoulos, G., Douros, N., & Lambrinos, G. (2010). Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: Quality criteria. *Biosystems Engineering*, *106*(4), 535-543. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.06.003

[7] Mohammadi, A., Hashemi, M., & Hosseini, S. M. (2016). Integration between chitosan and Zataria multiflora or Cinnamomum zeylanicum essential oil for controlling Phytophthora drechsleri, the causal agent of cucumber fruit rot. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie - Food Science and Technology*, *65*, 349-356. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.015

[8] Sardo, A. S., Sedaghat, N., Taghizadeh, M., & Milani, E. (2017). Effect of packaging type and chitosan edible coating on the physico-chemical and sensory characteristics of Royal Greenhouse cucumber during storage conditions. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, *13*(2), 363-378. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183011092

[9] Sanchís, E., Ghidelli, C., Sheth, C. C., Mateos, M., Palou, L., & Pérez-Gago, M. B. (2017). Integration of antimicrobial pectin-based edible coating and active modified atmosphere packaging to preserve the quality and microbial safety of fresh-cut persimmon (Diospyros kaki Thunb. cv. Rojo Brillante). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *97*(1), 252-260. https://doi.org/10.1002/jsfa.7722

[10] Tanada-Palmu, P. S., & Grosso, C. R. F. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (Fragaria ananassa) quality. *Postharvest Biology and Technology*, *36*(2), 199-208. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.12.003

[11] Al-Juhaimi, F., Ghafoor, K., & Babiker, E. E. (2012). Effect of gum arabic edible coating on weight loss, firmness and sensory characteristics of cucumber (Cucumis sativus L.) fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany*, *44*(4), 1439-1444. https://www.pakbs.org/pjbot/archives2.php?vol=44&iss=4&yea=2012

[12] Manjunatha, M., & Anurag, R. K. (2014). Effect of modified atmosphere packaging and storage conditions on quality characteristics of cucumber. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(11), 3470-3475. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0840-7

[13] Sedaghat, S., & Rahemi, M. (2021). Comparison of some edible coatings and paper bag on preservation of cucumber (Cucumis sativus L.) during storage. *Iran Agricultural Research*, *40*(1), 11-18. https://doi.org/10.22099/iar.2021.38301.1408