

Original Article

Simultaneous Use of Various Pre-cooling Methods and Temperature Control During Transport on the Quality of Exported Tomatoes

Sadegh Seyedlou¹, Habibeh Nalbandi^{1*}, Elnaz Ahmadiyan¹

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ARTICLE INFO

Keywords:

Precooling,
Storage Temperature,
Shelf Life,
Tomato

Received:

September 8, 2024

Revised:

November 16, 2024

Accepted:

December 3, 2024

* Corresponding Author:

h.nalbandi@tabrizu.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Fruits and vegetables are crucial horticultural products that significantly contribute to meeting human nutritional needs and health. Tomato is among the perishable products. Its waste plays a considerable role in the production and consumption cycle. Technologies for post-harvest management, along with suitable transportation and storage conditions, can help minimize the majority of its waste. By extending its shelf life and preserving its quality during transport, the product can be exported to far-off markets. Pre-cooling techniques and temperature management during storage and transportation are crucial for prolonging shelf life and reducing waste of products such as tomatoes.

Materials and Methods

In this study, the effect of pre-cooling methods, storage and transportation temperatures, and duration of storage time was investigated on the quality of tomato (Izmir cultivar). This is done to preserve product quality during transit to the market by ensuring the cold chain is maintained. The methods used for pre-cooling included forced-air cooling and hydro-cooling, which were conducted at air and water temperatures of 8 °C. The temperatures for storage and transportation were set at 12 °C and 21 °C. Following the pre-cooling process, all samples were stored for 20 days, and their quality characteristics, such as firmness and color, were assessed every 5 days during the storage period. As a control treatment, some tomatoes were also stored under the same conditions as the pre-cooled samples. Firmness was evaluated through compression and puncture testing. The color indices of the samples, such as L, a, and b, which represent the levels of brightness, redness, and greenness, as well as yellow and blue in the samples, were determined using Photoshop software. The total color variation along with color density was computed. The analysis of the data was conducted employing a randomized complete block design across three replications.

Results and Discussion

The 7/8th cooling time of tomato using the forced-air cooling and hydro-cooling was 225 min and 128 min, respectively. The cooling rate is more rapid with hydro-cooling. Pre-cooling techniques, temperatures for storage and transportation, as well as storage duration, significantly affected the maximum compression force at a 1% probability level. The maximum compression force was achieved in the fruit cooled by the forced air cooling. The higher compression force indicates the higher firmness. The firmness of tomatoes, stored at 12 °C, was higher than that of those stored at 21 °C (28 %). Throughout the storage period, the firmness of the samples declined. The results showed that the desirable firmness was associated with the samples being pre-cooled through forced-air cooling, and

How to cite:

Seyedlou, S., Nalbandi, H. and Ahmadiyan, E. (2025). *Simultaneous Use of Various Pre-cooling Methods and Temperature Control During Transport on the Quality of Exported Tomatoes*. Journal of Agricultural Mechanization, 10 (1):1-14.

<https://doi.org/10.22034/jam.2024.63362.1292>.



stored at a temperature of 12 °C. Comparable results were achieved for puncture force. The puncture force of samples that were pre-cooled using forced air cooling and stored at 12 °C was greater than that of other samples. The methods of pre-cooling and the duration of storage significantly impacted the color density and total color variation. The color variations of pre-cooled samples were less than those of the control samples (without cooling). This suggested that pre-cooling might decrease the ripening rate of tomatoes. Delays in ripening allow for the export of tomatoes to distant markets.

Conclusion

The results showed that it was possible to attain extended shelf life and maintain product quality through the use of forced-air cooling. Furthermore, shipping the product at 12 °C resulted in improved quality and an extended shelf life. Consequently, tomatoes ought to be transported in refrigerated containers. It was concluded that the shelf life of tomatoes can be extended through forced-air cooling and by transporting them at 12 °C via refrigerated truck.

Acknowledgment

This study has been conducted as an interior research project of the University of Tabriz. The authors have appreciated the university vice chancellor of research for its financial resources.



کاربرد همزمان عملیات مختلف پیش‌سرمایش و مدیریت دمایی در حمل و نقل روی حفظ کیفیت گوجه‌فرنگی صادراتی

سید صادق سیدلو¹، حبیبه نعلبندی^{1*}، النار احمدیان¹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳

۱- گروه مهندسی بیوسیستم - دانشکده کشاورزی - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران

E-mail: h.nalbandi@tabrizu.ac.ir

* نویسنده مسئول

چکیده

گوجه‌فرنگی یکی از محصولات است که ضایعات آن در زنجیره تولید و مصرف قابل توجه است. با این وجود بخش عمده‌ای از ضایعات آن را می‌توان با به‌کارگیری فناوری‌های پس از برداشت و نگهداری صحیح محصول حذف نمود و با افزایش عمر انبارمانی و حفظ کیفیت محصول در طی حمل و نقل، گوجه‌فرنگی را به بازارهای دور دست صادر کرد. عملیات پیش‌سرمایش و کنترل شرایط دمایی در انبارداری و حمل و نقل نقش موثری در کاهش ضایعات محصولات باغی به ویژه گوجه‌فرنگی دارد. در این تحقیق تأثیر این فاکتورها روی کیفیت گوجه‌فرنگی رقم ایزمیر به منظور حفظ کیفیت محصول در طول حمل و نقل و رسیدن به دست مشتری با حفظ زنجیره سرد بررسی شد. نوع روش پیش‌سرمایش شامل هوادهی اجباری و پیش‌سرمایش با آب و دمای نگهداری و حمل و نقل شامل کاربرد دمای ۱۲ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد بود. خصوصیات مکانیکی کیفی از طریق آزمون‌های فشار و نفوذ و تغییرات رنگ محصول در مدت نگهداری اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بالاترین عمر انبارمانی گوجه‌فرنگی با حفظ کیفیت مطلوب در میوه‌های پیش‌سرمایش شده به روش هوادهی اجباری حاصل شد. هم‌چنین میوه‌های نگهداری یا حمل شده در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد از کیفیت بهتر و عمر انبارمانی طولانی‌تری برخوردار بودند. بنابراین پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری و نگهداری و حمل و نقل محصول در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد و در داخل کامیون‌های یخچال‌دار، خواص کیفی محصول را بهتر حفظ می‌کند.

کلمات کلیدی: پیش‌سرمایش، حمل و نقل، دما، گوجه‌فرنگی، عمر انبارمانی

۱- مقدمه

گوجه‌فرنگی یکی از سبزیجات مهم و پر مصرف در جهان و ایران می‌باشد که به شیوه‌های مختلف شامل تازه‌خوری در انواع سالاد و به صورت فرآوری شده برای تهیه غذا و سوپ، سس و رب مصرف می‌شود. گوجه‌فرنگی با دارا بودن ویتامین آ، ث، لیکوپن، اسید فولیک و بتاکاروتن نقش مهمی را در سلامت انسان ایفا می‌کند. آنتی‌اکسیدان‌های موجود در گوجه‌فرنگی از بدن در مقابل سرطان‌ها محافظت می‌کنند (Saldana et al., 2010). به دلیل نقش آن در تغذیه انسان و تولید بالای آن در کشور، در سال‌های اخیر صادرات این محصول به کشورهایی مانند عراق، آذربایجان، روسیه افزایش قابل توجهی داشته است. حفظ محصول گوجه‌فرنگی پرورش داده شده، صادرات و رساندن آن به شکل تازه و با کیفیت بالا به دست مشتری خارجی ضروری است. دلیل کاهش کیفیت آن تغییرات فیزیولوژیکی به دلیل تنفس محصول در مرحله پس از برداشت و در حین حمل و نقل و انبارداری می‌باشد. به همین دلیل بخشی از محصول تولید شده قبل از اینکه به دست مصرف‌کننده برسد، به صورت ضایعات دور ریخته می‌شود. سبزیجاتی مانند گوجه‌فرنگی معمولاً زمانی برداشت می‌شوند که تازه بوده و رطوبت بالایی داشته باشند. رطوبت زیاد سبب می‌شود که عملیات آماده‌سازی، حمل و نقل و بازاریابی گوجه‌فرنگی، به ویژه در نقاط گرمسیری با مشکل مواجه شود. کیفیت و ارزش تغذیه‌ای گوجه‌فرنگی تحت تأثیر عملیات آماده‌سازی و شرایط نگهداری آن قرار دارد. مقدار ضایعات گوجه‌فرنگی به عوامل مختلفی از مرحله رشد محصول تا عرضه به بازار بستگی دارد (Karki & Dawadi, 2022). بنابراین استفاده از روش‌ها و تکنولوژی‌های مختلف پس از برداشت به منظور افزایش عمر انبارداری و افزایش کیفیت محصول در زنجیره برداشت تا مصرف و کاهش تلفات در حین حمل و نقل ضروری است.

یکی از فرآیندهایی که نقش موثری در افزایش عمر قفسه‌ای و کاهش ضایعات پس از برداشت محصولات باغی دارد، فرآیند پیش‌سرمایش است (Kumar et al., 2023). در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در این خصوص انجام شده است. در تحقیقی گوجه‌فرنگی‌ها پس از عملیات برداشت، تحت پیش‌سرمایش با هوا قرار گرفته و خواص کیفی، فیزیکی و شیمیایی آنها با نمونه‌های شاهد مقایسه شدند (Rab et al., 2013). نتایج نشان داد گوجه‌فرنگی‌های پیش‌سرمایش شده نسبت به گوجه‌فرنگی‌های شاهد از محتوی اسید آسکوربیک و سفیدی بیشتری برخوردار بودند. همچنین در گوجه‌فرنگی‌های پیش‌سرمایش شده، شیوع بیماری،

افت وزن، کل مواد جامد محلول و pH کمتر بود. در تحقیق دیگری اثر چهار روش مختلف پیش‌سرمایش شامل پیش‌سرمایش با آب، آب یخ، آب یخ همراه با تیمار کلسیم کلرید و سرمایش به روش هوادهی اجباری روی عمر انبارداری گوجه‌فرنگی‌ها بررسی شد (Shahi et al., 2012). محققین نتیجه گرفتند که عمر انبارداری در روش‌های سرمایش با آب یخ به همراه کاربرد و پیش‌تیمار کلسیم کلرید و سرمایش با آب یخ، بیشتر از سایر روش‌ها است. همچنین در این دو روش حداقل افت وزن، کاهش دانسیته، افزایش آسکوربیک اسید و اسیدیته قابل تیتراسیون در محصول مشاهده شد. ولی عمر انبارداری گوجه‌فرنگی در حالت بدون عملیات پیش‌سرمایش کمتر بود.

انجام عملیات پیش‌سرمایش هر چند می‌تواند در افزایش عمر انبارداری محصولات باغی تأثیرگذار باشد اما به تنهایی کافی نیست. شرایط انبارکردن محصولات از نظر دمایی و نیز در حین حمل و نقل نیز باید متناسب با نوع محصول، درجه مقاومت به سرما و خصوصیات ژنتیکی آنها بهینه گردد. در تحقیقی تغییرات کیفی گوجه‌فرنگی در دماهای مختلف نگهداری به منظور افزایش عمر انبارداری و حفظ پارامترهای کیفی آن بررسی شد (Znidarcic and Pozrl, 2006). نتایج نشان داد که میوه‌های نگهداری شده در دمای بالاتر، افت وزن سریع‌تری نسبت به میوه‌های نگهداری شده در دمای پایین‌تر دارند. محصول گوجه‌فرنگی که در دمای پایین‌تر ذخیره می‌شود از ثبات و ماندگاری بیشتری نسبت به محصول ذخیره شده در دمای بالاتر برخوردار است. محتوی مواد جامد محلول نیز افزایش تدریجی در حین ذخیره‌سازی داشت. مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون (اسید سیتریک) در روزهای اول ذخیره‌سازی کمی افزایش داشت ولی در پایان دوره، مقدار آن کاهش یافت. نتایج تحقیق دیگری نشان داد که عمر انبارداری گوجه‌فرنگی‌های پیش‌سرمایش شده به وسیله هوای سرد و نگهداری شده در دمای محیط، ۱۲ روز طولانی‌تر از محصولات پیش‌سرمایش نشده است (Patel et al., 2016). همچنین نگهداری گوجه پیش‌سرمایش شده در دمای ۱۳ درجه سانتی‌گراد، عمر انبارداری آن را از ۲۷ روز (در دمای محیط) به ۳۳ روز افزایش داد. تغییرات کیفی پس از برداشت در دو رقم Chef و Sunseed گوجه‌فرنگی، در طول دوره انبارداری توسط محققین دیگری بررسی شد (Khaleghi & Alemzadeh Ansri, 2012). نتایج آنان نشان داد که در طول دوره انبارداری، سفیدی بافت، TA، میزان کلروفیل، در هر دو رقم گوجه‌فرنگی مورد مطالعه کاهش یافت و مقادیر TSS/TA، TSS، درصد کاهش جرم، درصد پوسیدگی، محتوی ویتامین C و میزان کاروتنوئید افزایش یافت. ویتامین C

پیش‌سرمایش در سه سطح شامل سرمایش با آب، هوادهی اجباری و بدون پیش‌سرمایش و دمای نگهداری محصول در دو سطح شامل دمای ۱۲ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد بود. مدت زمان نگهداری محصول نیز ۲۰ روز بود که در فواصل زمانی ۵ روزه شامل روز برداشت، روز ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، خواص کیفی و مکانیکی محصول اندازه‌گیری شد. انتخاب دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد به دلیل مطابقت آن با دمای حمل و نقل گوجه‌فرنگی و انتخاب دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد به دلیل مطابقت با متوسط دمای هوا در حمل و نقل عادی با کامیون‌های معمولی به کشورهای شمالی ایران صورت گرفت.

۱-۲-۲- پیش‌سرمایش به روش هوادهی اجباری (FAC)

برای انجام آزمایش پیش‌سرمایش به روش هوادهی اجباری، از تونل باد افقی آزمایشگاهی موجود در آزمایشگاه مهندسی پس از برداشت استفاده شد که دو قسمت مجزا شامل محل نصب مکنده و محل قرارگیری جعبه‌ها تشکیل شده است (شکل ۱-ب). جریان هوای مورد نیاز به‌وسیله یک دستگاه مکنده واقع در انتهای تونل تامین می‌شود که دور مکنده و به تبع آن دبی هوای ورودی به تونل باد به‌وسیله یک اینورتر کنترل می‌شود (Nalbandi et al., 2016, 2020). ابتدا گوجه‌فرنگی‌هایی با اندازه یکنواخت داخل جعبه‌های پلاستیکی مخصوص گوجه‌فرنگی چیده شدند. میوه‌های درون جعبه قبل از آزمایش به وسیله ترازوی دیجیتالی مدل AND-GF-3000 با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ گرم توزین شدند تا بتوان با اندازه‌گیری جرم محصول بعد از اتمام فرآیند، میزان افت جرم آنها در طول فرآیند پیش‌سرمایش را محاسبه کرد. سپس هر جعبه در داخل تونل باد قرار داده شد. برای اندازه‌گیری دمای هوای ورودی و خروجی از تونل و همچنین برای ثبت تغییرات دمایی گوجه‌فرنگی‌ها در نقاط مختلف جعبه‌ها در طول فرآیند پیش‌سرمایش، از تعدادی ترموکوپل نوع K متصل به دستگاه دیتالاگر با ۱۵ کانال مستقل استفاده شد (شکل ۱-ج) که دو عدد ترموکوپل برای اندازه‌گیری دمای هوای ورودی و خروجی تونل، یک ترموکوپل جهت نشان دادن دمای هوای سردخانه و پنج ترموکوپل دیگر برای اندازه‌گیری دمای محصولات مورد استفاده قرار گرفت. ترموکوپل‌ها در مرکز و سطح گوجه‌فرنگی‌ها قرار داده شدند تا تغییرات دمای محصول حین فرآیند ثبت شود (شکل ۲).

در رقم Chef بیشتر از Sunseed بود و درصد کاهش جرم و میزان کاروتنوئید در رقم Sunseed بیشتر از رقم Chef بود.

با توجه به مطالب بیان شده می‌توان ادعان نمود دما مؤثرترین مشخصه در عمر انبارمانی در انبار و در حین حمل و نقل و نیز کیفیت محصولات کشاورزی می‌باشد. میوه‌ها و سبزی‌ها از زمان برداشت تا مصرف، در معرض شرایط نامساعد نگهداری، کیفیت خود را از دست می‌دهند و این امر سبب افزایش ضایعات می‌گردد. بنابراین گسترش عملیات پیش‌سرمایش به منظور افزایش عمر انبارمانی و حفظ کیفیت محصولات کشاورزی و نیز حفظ زنجیره سرد، از ضروریات این حوزه می‌باشد.

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر روش‌های مختلف پیش‌سرمایش از جمله پیش‌سرمایش به روش هوادهی اجباری و پیش‌سرمایش با آب و مقایسه آن دو برای افزایش ماندگاری محصول گوجه‌فرنگی در طی مراحل صادرات و حمل و نقل یا انبارداری برای حفظ کیفیت محصول می‌باشد. همچنین تعیین دمای مناسب در طی نگهداری و یا حمل و نقل محصول از دیگر اهداف تحقیق است. اثر بخشی عملیات پیش‌سرمایش و دمای نگهداری روی عمر انبارمانی و شاخص‌های کیفی محصول طی آزمایش‌های متعدد بررسی شد.

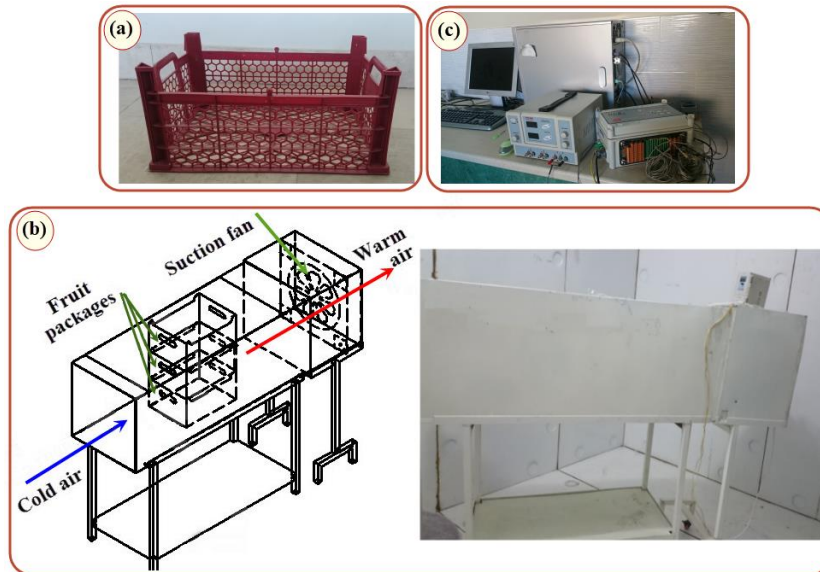
۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- آماده‌سازی نمونه

گوجه‌فرنگی‌های مورد نیاز به مقادیر کافی از رقم ایزمیر ترکیه از یک گلخانه واقع در شهرستان خسروشهر استان آذربایجان شرقی تهیه شد. بعد از برداشت، گوجه‌فرنگی‌ها در جعبه‌های پلاستیکی با ابعاد ۱/۲۶×۲/۱۷×۳۸ سانتی‌متر جمع‌آوری گردید (شکل ۱-ا) و برای حفظ دمای میوه‌ها، جعبه‌ها با روکش نایلونی پوشانده شده و محصول بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد و در دمای ۱۶ الی ۱۷ درجه سانتی‌گراد (هم‌دما با دمای گوجه‌فرنگی‌ها در گلخانه) نگهداری شدند.

۲-۲- تیمارهای مورد مطالعه

فاکتورهای مورد مطالعه در این تحقیق شامل نوع روش پیش‌سرمایش، دما و مدت زمان نگهداری بود. نوع روش



شکل ۱- a: جعبه پلاستیکی مخصوص گوجه‌فرنگی، b: تونل باد افقی مختص پیش‌سرمایش با هوا و c: سیستم داده‌برداری
 Fig 1- a: Tomato special polyethylene package, b: Forced-air cooling system, and c: Acquisition system



شکل ۲- گوجه‌فرنگی‌های مجهز شده به ترموکوپل در حین پیش‌سرمایش

Fig 2- Instrumented tomato with thermocouple during precooling

۲-۲-۲- پیش‌سرمایش با آب (HC)

برای انجام پیش‌سرمایش با آب از یک سیستم خنک‌کاری با روش مستغرق کردن محصول در داخل حوضچه آب سرد استفاده شد. با استفاده از سیستم سردکن مکانیکی و اواپراتورها، آب خنک با دمای ۸ درجه سانتی‌گراد داخل آن مهیا گردید. سپس گوجه‌فرنگی‌هایی با اندازه یکنواخت انتخاب و توزین شدند. برای اندازه‌گیری دمای آب از دماسنج جیوه‌ای و برای اندازه‌گیری دمای محصولات از ۵ عدد ترموکوپل نوع K متصل به دستگاه دیتالاگر استفاده شد. گوجه‌فرنگی‌های مجهز به ترموکوپل همراه سایر نمونه‌ها به صورت یکجا به داخل آب فرو برده شدند. تغییرات دمایی در طول فرآیند ثبت شد و پس از رسیدن دمای مرکز

در نهایت اطراف جعبه با صفحات یونولیتی پر شد تا مانع کنار-گذر شدن هوای داخل تونل شود. سپس سطح فوقانی تونل باد توسط صفحه پلی‌اتیلنی دیگری پوشانده شد. دبی هوای لازم برای پیش‌سرمایش گوجه‌فرنگی ۱ لیتر بر ثانیه به ازای هر کیلوگرم محصول بود. پس از تنظیم دبی هوا آزمایش شروع شد. لازم به ذکر است قبل از شروع آزمایش‌ها، حدود ۲ ساعت قبل دمای سردخانه روی ۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی آن روی ۷۵ درصد تنظیم شده بود. دمای سطح و مرکز گوجه‌فرنگی‌ها در فواصل زمانی ۵ دقیقه توسط ترموکوپل‌ها اندازه‌گیری و به‌وسیله دیتالاگر ثبت شد. دمای اولیه میوه‌ها ۱۷ درجه سانتی‌گراد و دمای هوای سرد ۸ درجه سانتی‌گراد بود. فرآیند سرمایش میوه‌ها تا رسیدن دمای میوه‌ها به دمای ۷/۸ ام سرمایش، یعنی ۹/۱۲۵ درجه سانتی‌گراد ادامه یافت. معیار رسیدن به دمای ۷/۸ ام سرمایش، دمای مرکز گوجه‌فرنگی واقع در بدترین نقطه جعبه بود که دارای زمان سرمایش طولانی‌تری بود. با اتمام فرآیند پیش‌سرمایش، جعبه از سردخانه خارج شد و مجدداً میوه‌های درون جعبه توزین شدند تا جرم نهایی آن‌ها مشخص شود و سریعاً مقداری از آنها به یخچال با دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی هوای ۷۵ درصد منتقل و مقداری نیز در محیط با دمای ۱۹ الی ۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۵ الی ۳۰ درصد به مدت ۲۰ روز نگهداری شدند و در فواصل زمانی ۵ روزه، خواص مکانیکی و تغییرات رنگ آن‌ها اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که برای اندازه‌گیری سرعت هوا از سرعت سنج پره‌ای (TESTO-435) استفاده شد.



شکل ۳- دستگاه آزمون یونیورسال
Fig. 3- Universal testing machine

۲-۴- اندازه‌گیری تغییرات رنگ گوجه‌فرنگی در طول نگهداری

همانند آزمون‌های مکانیکی، تغییرات رنگ گوجه‌فرنگی نیز در طول مدت نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفت. در روزهای مورد نظر، از میوه‌های موجود در یخچال و محیط، توسط دستگاه تشخیص رنگ تصاویری تهیه شد و تصاویر در محیط نرم‌افزار فتوشاپ مورد تحلیل قرار گرفتند. شاخص‌های رنگ شامل a ، L و b که به ترتیب بیانگر شفافیت، قرمزی-سبزی و زردی-آبی بودن نمونه‌ها بود، برای هر نمونه قرائت شد و دانسیته رنگ (C) و تغییرات رنگ (ΔE) نمونه‌ها با روابط ۱ و ۲ محاسبه شد. در این روابط اندیس ۰ نشان‌دهنده شاخص رنگ اولیه گوجه‌فرنگی (روز نخست) و اندیس i شاخص در روزهای مورد نظر پس از عملیات پیش‌سرمایش بود.

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_i^* - L_0^*)^2 + (a_i^* - a_0^*)^2 + (b_i^* - b_0^*)^2} \quad (2)$$

۲-۵- طرح آماری آزمایش‌ها

در این مطالعه اثر فاکتورهای مختلف شامل نوع روش پیش‌سرمایش در سه سطح، دمای نگهداری در دو سطح و روزهای نگهداری در پنج سطح مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌ها به صورت آزمایش‌های فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در محیط نرم‌افزار MSTATC تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش دانکن انجام شد.

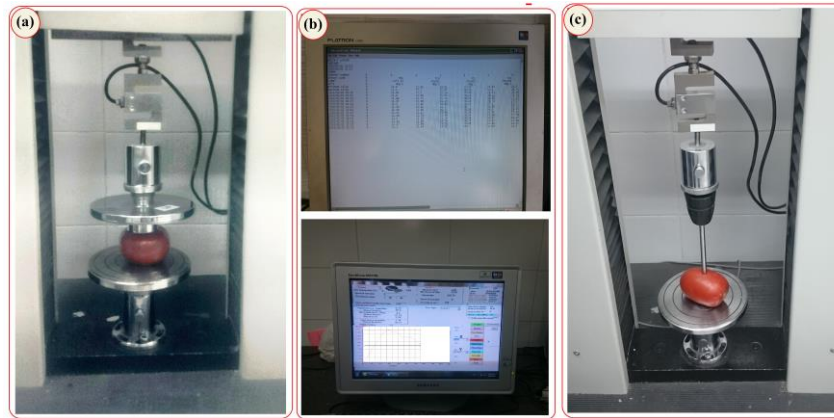
گوجه‌فرنگی‌ها به دمای ۷/۸ ام سرمایش، میوه‌ها از داخل حوضچه بیرون آورده شدند. رطوبت سطحی آنها گرفته شده و مجدداً توزین شدند و در نهایت مقداری از نمونه‌ها در یخچال با دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد و مقداری نیز در محیط با دمای ۱۹ الی ۲۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۵ درصد به مدت ۲۰ روز نگهداری شدند و در طول این مدت در زمان‌های مشخص خواص مکانیکی و تغییرات رنگ میوه‌ها ارزیابی شد.

۲-۳- اندازه‌گیری خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی

همان‌طوری که بیان شد گوجه‌فرنگی‌ها پس از پیش‌سرمایش با آب و هوای سرد، در دماهای ۱۲ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ روز نگهداری شدند. در روز اول و روزهای ۵ام، ۱۰ام، ۱۵ام و ۲۰ام، خواص مکانیکی آن‌ها با انجام آزمون‌های فشار و نفوذ به وسیله دستگاه آزمون یونیورسال ساخت ایران اندازه‌گیری شد (شکل ۳).

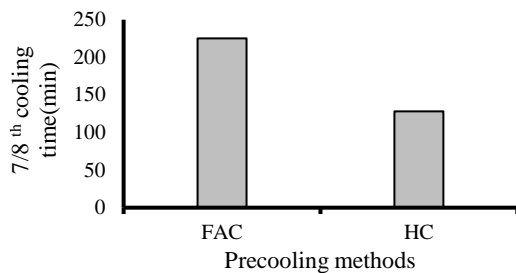
آزمون فشار: برای ارزیابی سفتی بافت گوجه‌فرنگی از آزمون فشار استفاده شد. برای این منظور از هر محصول نگهداری شده در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد و نیز دمای محیط، ۳ عدد گوجه‌فرنگی خارج شد و پس از اندازه‌گیری ارتفاع نمونه توسط کولیس، روی فک پایین دستگاه قرار داده شد (شکل ۴- a). فک بالایی دستگاه یک صفحه آلومینیومی مسطح با قطر ۴۵ میلی‌متر بود که به یک لودسل با ظرفیت ۵ کیلوگرم نیرو متصل بود. سرعت بارگذاری در آزمون فشار، ۱۰ میلی‌متر در دقیقه انتخاب شد. آزمون فشار تا کاهش ارتفاع حصول به مقدار ۲۰ درصد ارتفاع اولیه آن صورت گرفت و حداکثر نیروی ثبت شده به عنوان نیروی فشار (MCF) در آن لحظه در نظر گرفته شد. منحنی نیرو- تغییرشکل نیز توسط نرم‌افزار دستگاه رسم گردید (شکل ۴- b).

آزمون نفوذ: آزمون دیگری که برای ارزیابی تغییرات بافت گوجه‌فرنگی در طول مدت نگهداری انجام شد، آزمون نفوذ بود. برای انجام این آزمون از یک پروب استوانه‌ای از جنس استیل ضدزنگ با انتهای مسطح و به قطر ۸ میلی‌متر استفاده شد که با سرعت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه به بافت میوه نفوذ می‌کرد (شکل ۳- c). حداکثر نیروی لازم برای نفوذ پروب به بافت میوه، به عنوان نیروی نفوذ (MPF) ثبت گردید.



شکل ۴- a: آزمون فشار، b: سیستم داده‌برداری و c: آزمون نفوذ روی گوجه‌فرنگی

Fig.4- a: Compression test, b: Acquisition system, and c: Puncture test on the tomato



شکل ۵- زمان ۷/۸ام سرمایش در روش‌های مختلف پیش‌سرمایش
Fig 5. 7/8th cooling time of tomato at various precooling methods.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر روش پیش‌سرمایش روی زمان ۷/۸ام سرمایش

فرآیند پیش‌سرمایش گوجه‌فرنگی در دو روش پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری و پیش‌سرمایش با آب، از دمای اولیه تقریباً ۱۸ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به دمای ۷/۸ام سرمایش یعنی ۹ درجه سانتی‌گراد، انجام شد. نتایج نشان داد زمان لازم برای رسیدن به دمای ۷/۸ام سرمایش در پیش‌سرمایش با آب نسبت به روش هوادهی اجباری کوتاه‌تر بود. به طوری که این زمان در پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری ۲۲۵ دقیقه و در پیش‌سرمایش با آب ۱۲۸ دقیقه بود (شکل ۵). دلیل این امر، بالا بودن ضریب انتقال گرمای سطحی در آب نسبت به هوا می‌باشد که موجب می‌گردد انتقال گرما از سطح گوجه‌فرنگی به سیال خنک‌کننده، سریع‌تر و بیشتر باشد.

نتایج مشابهی نیز در پیش‌سرمایش گیلان با استفاده از آب و هوادهی اجباری توسط سایر محققین گزارش شده است. آنان زمان ۷/۸ام سرمایش گیلان را در دو روش مذکور به ترتیب ۷۰ و ۱۲۵ دقیقه گزارش کردند (Sigbar Ghiasi, 2021).

بدیهی است انتخاب روش پیش‌سرمایش صرفاً با استفاده از زمان عملیات نمی‌تواند معیار مناسبی باشد چرا که عواملی از جمله هزینه‌های ثابت عملیات برای احداث و توسعه تجهیزات پیش‌سرمایش و نیز هزینه‌های متغیر مانند هزینه‌های کارگری و به ویژه هزینه انرژی در انتخاب روش تأثیرگذار هستند (Kader, 2002). مقایسه این موارد در اشل آزمایشگاهی و گسترش آن در اشل صنعتی نمی‌تواند صحیح باشد. بنابراین صرفاً زمان عملیات در این تحقیق گزارش شد.

۳-۲- تأثیر روش پیش‌سرمایش، دما و زمان نگهداری روی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی

۳-۲-۱- بیشینه نیروی فشاری

نتایج تجزیه واریانس اثر روش پیش‌سرمایش، دما و زمان نگهداری گوجه‌فرنگی روی بیشینه نیروی فشاری نشان می‌دهد که اثر این عوامل و همچنین اثر متقابل آنها روی بیشینه نیروی فشاری گوجه‌فرنگی‌ها، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر روش پیش‌سرمایش روی بیشینه نیروی فشاری نشان می‌دهد که بیشینه نیروی فشاری در روش پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری با مقدار ۴۵/۶۲۷ نیوتن بیشتر از دو روش دیگر بود (جدول ۲). بیشینه نیروی فشاری در روش‌های پیش‌سرمایش با آب و نمونه شاهد (بدون پیش‌سرمایش) به ترتیب برابر با ۴۱/۱۳۸ و ۳۷/۶۹۲ نیوتن می‌باشد. بنابراین بهترین روش برای افزایش زمان نگهداری گوجه‌فرنگی، پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری است که سبب حفظ سفتی گوجه‌فرنگی می‌شود که شاخص کیفی محصول در طول نگهداری است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر روش پیش‌سرمایش، دمای حمل و نقل و زمان نگهداری بر بیشینه نیروی فشاری، نیروی نفوذ، دانسیته رنگ و

تغییرات کلی رنگ گوجه‌فرنگی

Table 1. Summary of ANOVA for parameters of precooling methods, temperature of transportation and storage time on maximum compression force (MCF), maximum puncture force (MPF), color density and total color variation of tomato

میانگین مربعات (MS)				درجه	منبع تغییرات
تغییرات کلی رنگ	دانسیته رنگ	بیشینه نیروی نفوذ	بیشینه نیروی فشاری	آزادی	S.V.
Total color variation	Color density	MPF	MCF	df	
1.924 ^{ns}	1.115 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.118 ^{ns}	2	تکرار
					Repetition
5.216*	40.796**	0.014**	474.99**	2	روش پیش‌سرمایش (A)
					Precooling methods (A)
0.106 ^{ns}	0.244 ^{ns}	0.015**	2366.98**	1	نحوه نگهداری (B)
					Storage methods (B)
2.238 ^{ns}	2.801 ^{ns}	0.001*	66.76**	2	A×B
7.955**	8.214**	0.155**	9045.00**	4	زمان نگهداری (C)
					Storage time (c)
0.413 ^{ns}	9.551 ^{ns}	0.004**	88.70**	8	A×C
0.326 ^{ns}	0.604 ^{ns}	0.005**	356.92**	4	B×C
0.174 ^{ns}	0.632 ^{ns}	0.001*	27.83*	8	A×B×C
1.245	0.948	0.001	13.13	58	خطا
					Error

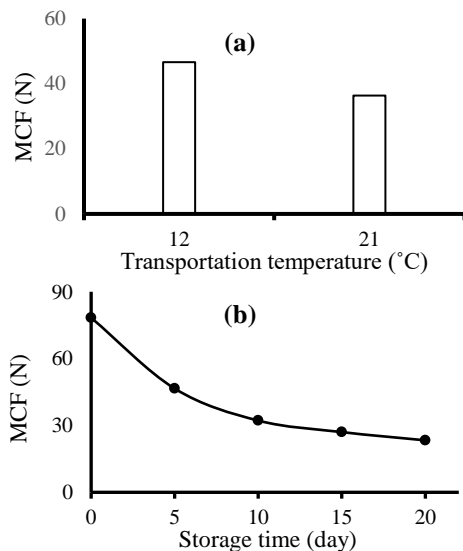
** و * به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ^{ns} بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۲- میانگین بیشینه نیروی فشاری، نفوذ و دانسیته رنگ در روش‌های مختلف پیش‌سرمایش

Table 2- Mean of MCF, MPF and color density at various precooling methods

روش پیش‌سرمایش	بیشینه نیروی فشاری (N)	بیشینه نیروی نفوذ (N)	دانسیته رنگ
Precooling methods	MCF (N)	MPC (N)	Color density
FAC	45.627 ^A	16.89 ^B	35.309 ^B
HC	41.138 ^B	18.35 ^A	34.055 ^C
Control	37.692 ^C	16.18 ^B	36.385 ^A

حروف متفاوت بزرگ بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.



شکل ۶- a: تأثیر دماهای مختلف حمل و نقل و b: زمان نگهداری

روی بیشینه نیروی فشاری گوجه‌فرنگی

Fig. 6- a: Effect of transportation temperature and b: storage time on the MCF of tomato

مقایسه میانگین اثر دمای نگهداری یا حمل و نقل روی بیشینه نیروی فشاری گوجه‌فرنگی در شکل ۶- a نشان داده شده است. نگهداری محصول در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد، نیروی بیشینه فشاری و یا به عبارت دیگر سفتی بافت محصول را حدود ۲۸ درصد بیشتر از نگهداری در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد حفظ کرد. بر اساس این نتایج، حمل گوجه‌فرنگی توسط کامیون‌های یخچال‌دار به ویژه در زمان‌ها و مسافت‌های طولانی مانند صادرات به کشورهایمانند روسیه و کنترل دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد بسیار مهم ارزیابی شد. بنابراین به هیچ عنوان حمل گوجه‌فرنگی با کامیون‌های معمولی توصیه نمی‌شود چرا که نیروی فشاری به عنوان شاخص سفتی محصول بوده و ارزش تجاری آن و بازار-پسندی محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روش پیش‌سرمایش و دمای نگهداری روی بیشینه نیروی فشاری در جدول ۳ نشان داده شده است. بیشینه نیروی فشاری در روش پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری و نگهداری در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد با ۵۱/۳۴۳ نیوتن بیشتر از سایر روش‌ها بود.

نتایج مقایسه میانگین اثر زمان نگهداری روی بیشینه نیروی فشاری نشان می‌دهد که بیشینه نیروی فشاری در روز نخست نگهداری برابر با ۷۸/۳۴۷ نیوتن می‌باشد که بیشتر از سایر روزها است و کمترین مقدار آن با ۲۳/۳۱۸ نیوتن مربوط به روز بیستم نگهداری است (شکل ۶-ب).

چنانکه جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر روش پیش‌سرمایش روی بیشینه نیروی فشاری یا سفتی گوجه‌فرنگی معنی‌دار است. بر اساس جدول ۴، مقدار سفتی محصول در طول زمان نگهداری، در روش پیش-سرمایش با هوا نسبت به روش پیش‌سرمایش با آب و شاهد بالاتر بود یعنی استفاده از پیش‌سرمایش موجب حفظ سفتی محصول در طول نگهداری می‌شود. نمونه‌های پیش‌سرمایش شده با آب در روزهای نخست دارای سفتی بالاتری بودند ولی استفاده از آب موجب می‌شود که نمونه در طی روزهای نگهداری سفتی خود را از دست بدهد. به عبارت دیگر، در زمان‌های حمل و نقل و نگهداری بالاتر از ۱۰ روز، نمونه‌های پیش-سرمایش شده با آب، حتی نسبت به نمونه‌های شاهد بدون پیش-سرمایش، دارای سفتی کمتری است و استفاده از این روش توصیه نمی‌شود.

جدول ۳- میانگین بیشینه نیروی فشاری گوجه‌فرنگی در روش‌های مختلف پیش‌سرمایش و دمای حمل و نقل
Table 3- Mean of MCF at various precooling methods and transportation temperatures

دمای حمل و نقل (°C)		روش پیش‌سرمایش Precooling methods
21	12	
39.91 ^C	51.34 ^A	FAC
34.90 ^D	47.38 ^B	HC
34.26 ^D	41.12 ^C	Control

حروف متفاوت بزرگ بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

با افزایش دمای نگهداری از ۱۲ به ۲۱ درجه سانتی‌گراد، مقادیر نیروی فشاری در هر دو روش پیش‌سرمایش کاهش یافت. بالا بودن دمای نگهداری بالا به بافت محصول آسیب وارد کرده و موجب نرم‌تر شدن بافت می‌گردد. به طوری که موقع استفاده از پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری، زمانی که محصول به جای نگهداری در محیط سرد ۱۲ درجه سانتی‌گراد، در دمای محیط معمولی نگهداری می‌شود، به طور متوسط ۲۲/۲۶ درصد از مقاومت فشاری آن کاهش می‌یابد. بنابراین استفاده از روش پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری و نگهداری در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد بهترین شرایط برای حفظ سفتی بافت گوجه‌فرنگی است.

جدول ۴- میانگین بیشینه نیروی فشاری گوجه‌فرنگی در روش‌های مختلف پیش‌سرمایش و مدت زمان نگهداری
Table 4- Mean of MCF at various precooling methods and storage time

مدت زمان نگهداری (روز) Storage time (day)					روش‌های پیش‌سرمایش Precooling methods
20	15	10	5	0	
30.68 ^{FG}	32.45 ^F	35.29 ^F	50.96 ^D	78.77 ^B	FAC
20.78 ^{HI}	22.58 ^{HI}	30.72 ^{FG}	46.95 ^{DE}	84.67 ^A	HC
18.50 ^I	26.05 ^{GH}	30.56 ^{FG}	41.75 ^E	71.61 ^C	Control

حروف متفاوت بزرگ بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

مربوط به دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد و در طول روزهای صفر تا دهم نگهداری می‌باشد که سفتی محصول در حد قابل قبولی حفظ می‌شود چرا که از روز ۱۰ ام به بعد و در دمای ۱۲ درجه سانتی-گراد، مقدار سفتی از ۳۱/۴۲ نیوتن به ۲۷/۰۹ نیوتن کاهش یافته است. نتایج تحقیق دیگری نیز نشان داده است که گوجه‌فرنگی‌های نگهداری شده تحت سرمایش غیرمستقیم با هوای سرد توام با سرمایش تبخیری، ۱۸/۹ درصد سفت‌تر از محصول نگهداری شده در دمای محیط بودند و قابلیت فروش آنها ۲۴/۸ درصد بالاتر بود (Sibanda & Workneh, 2019). تأثیر پیش‌سرمایش و نگهداری در دمای پایین روی حفظ سفتی بافت گوجه‌فرنگی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Patel et al., 2016).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دما و زمان نگهداری روی بیشینه نیروی فشاری (جدول ۵) نشان می‌دهد که با گذشت زمان نگهداری یا به عبارت دیگر با گذشت تعداد روزهای حمل و نقل از مبدا در هر کدام از حالات نگهداری و حمل در دمای ۱۲ یا ۲۱ درجه سانتی‌گراد، مقدار سفتی محصول کاهش می‌یابد. ولی مقایسه تغییرات سفتی در دو درجه حرارت مختلف نشان می‌دهد که محصول نگهداری شده یا حمل شده در دمای ۱۲ درجه سانتی-گراد، دارای سفتی بیشتری نسبت به دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به عبارت دیگر نگهداری و یا حمل گوجه‌فرنگی باید در دمای کنترل شده ۱۲ درجه سانتی‌گراد باشد. با این وجود بیشترین مقادیر نیروی فشاری و یا سفتی محصول از بین اعداد گزارش شده،

جدول ۵- میانگین بیشینه نیروی فشاری گوجه‌فرنگی در دماهای مختلف حمل و نقل و مدت زمان نگهداری

مدت زمان نگهداری (روز)					دمای حمل و نقل (°C)
Storage time (day)					
20	15	10	5	0	
27.09 ^{EF}	31.42 ^{DE}	38.40 ^C	58.31 ^B	77.84 ^A	12
19.54 ^G	22.63 ^{FG}	25.98 ^F	34.79 ^{CD}	78.85 ^A	21

حروف متفاوت بزرگ بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

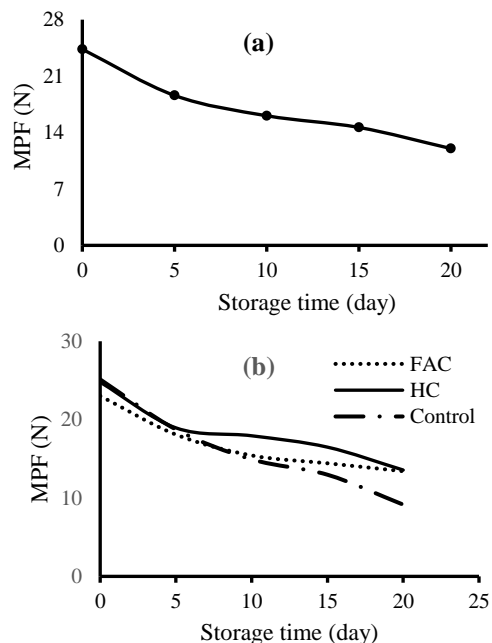
تأثیر پیش‌سرمایش با آب روی حفظ سفتی بافت گوجه‌فرنگی در مدت نگهداری توسط سایر محققین نیز گزارش شده است. آنان نشان دادند که پیش‌سرمایش به روش غوطه‌وری در آب با دمای ۲۳/۷ درجه سانتی‌گراد، و سپس نگهداری به مدت ۸ روز در دمای ۲۵/۹ درجه سانتی‌گراد، موجب حفظ سفتی بافت شده و در شرایط یکسان، مقدار سفتی محصول پیش‌سرمایش شده نسبت به نمونه شاهد، ۴۴ درصد بیشتر بود (Mani et al., 2023).

مهم‌ترین معیار مکانیکی در گوجه‌فرنگی سفتی بافت است. مشتری‌پسندی گوجه‌فرنگی بر اساس نیروی فشاری و متناسب با آن سفتی بافت است. درحالی‌که نیروی نفوذ آنالیز و وضعیت بافت داخلی محصول را نشان می‌دهد و از نظر تأثیر روی مشتری‌پسندی در مقام دوم قرار دارد. بر اساس این نتایج، در بررسی خواص مکانیکی گوجه‌فرنگی (نیروی فشاری و نیروی نفوذ) روش پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری در مقام نخست قرار می‌گیرد و سپس روش پیش‌سرمایش با آب توصیه می‌شود.

نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل دما و زمان نگهداری روی بیشینه نیروی نفوذ در جدول ۶ آورده شده است. مقدار نیروی نفوذ در هر دو دمای نگهداری با گذشت زمان نگهداری کاهش یافته است. ولی در اغلب موارد نیروی نفوذ محصول نگهداری شده در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد بیشتر از مقدار آن در شرایط نگهداری در محیط عادی (۲۱ درجه سانتی‌گراد) بود. مجدداً از دیدگاه نیروی نفوذ یا سفتی بافت محصول نیز توصیه می‌شود محصول بعد از عملیات پیش‌سرمایش حتماً در کامیون‌های یخچال‌دار حمل شود و یا در سردخانه با دمای کنترل شده نگهداری شود. محققین دیگری نیز به نتایج مشابهی دست یافتند به‌طوری‌که سفتی گوجه‌فرنگی در طول نگهداری کوتاه مدت در دمای ۱۰ و ۲۲ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۸/۳۶ و ۳۷/۱۲ درصد نسبت به روز نخست کاهش یافته بود (Al-Ai et al., 2021). محققین دیگری نیز دریافتند که مقاومت به صدمات نفوذ در گوجه‌فرنگی‌های تازه برداشت‌شده بیشتر از محصولات نگهداری شده است. به عبارت دیگر نگهداری محصول، مقاومت به نفوذ آنها را کاهش می‌دهد. نرم‌شدن بافت و کاهش

۳-۲-۲- بیشینه نیروی نفوذ

نتایج تجزیه واریانس اثر روش پیش‌سرمایش، دما و زمان نگهداری میوه گوجه‌فرنگی روی بیشینه نیرو در آزمون نفوذ نشان داد که اثر اصلی این عوامل و نیز اثر متقابل آنها روی مشخصه مذکور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان می‌دهد که با گذشت زمان نگهداری و حمل و نقل، مقدار نیروی نفوذ برای نفوذ پروب کاهش می‌یابد که بیانگر کاهش سفتی محصول است (شکل ۷-۱). به‌طوری‌که در روز نخست نگهداری، نیروی نفوذ با ۲۴/۳۳ N از بیشترین و در روز بیستم نگهداری با ۱۲/۰۱ N از کمترین مقدار برخوردار بود که نشان می‌دهد بافت محصول شل شده است. ولی مقدار نیروی نفوذ در طول زمان نگهداری در نمونه‌های پیش‌سرمایش شده با آب و هوا، نسبت به نمونه‌های شاهد بالاتر بود. استفاده از پیش‌سرمایش مجدداً در گوجه‌فرنگی توصیه می‌شود (شکل ۷-۲).



شکل ۷-۱: تأثیر زمان نگهداری و ۲: تأثیر روش پیش‌سرمایش و

زمان نگهداری روی بیشینه نیروی نفوذ گوجه‌فرنگی

Fig. 7- a: Effect of storage time and b: precooling methods and storage time on MPF of tomato

مقاومت پوست محصول در طول مدت نگهداری از عوامل موثر در کاهش مقاومت به نفوذ گوجه‌فرنگی می‌باشد (Desmet et al., 2003).

جدول ۶- میانگین بیشینه نیروی نفوذ گوجه‌فرنگی در دماهای مختلف حمل و نقل و مدت زمان نگهداری

Table 6- Mean of MPF at various transportation temperatures and storage time

مدت زمان نگهداری (روز)					دمای حمل و نقل (°C)
Storage time (day)					
20	15	10	5	0	Transportation temperature (°C)
12.01 ^F	15.38 ^{CDE}	17.19 ^C	20.26 ^B	24.08 ^A	12
12.06 ^F	13.92 ^{EF}	14.98 ^{DE}	16.94 ^{CD}	24.58 ^A	21

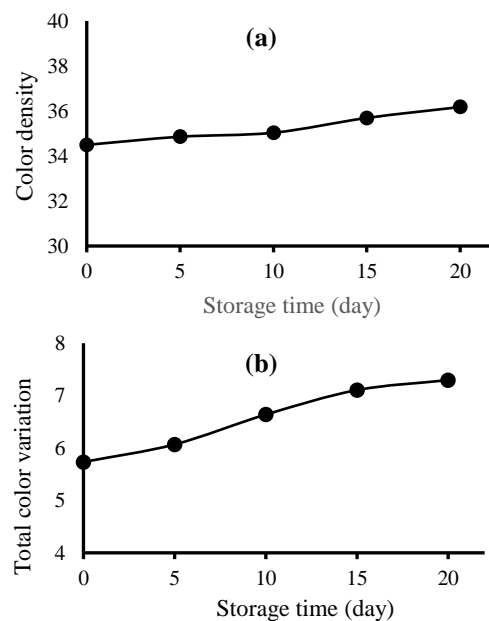
حروف متفاوت بزرگ بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر زمان نگهداری روی دانسیته رنگ و تغییرات کلی رنگ نشان داد که در روز بیستم نگهداری بیش‌ترین مقدار دانسیته و تغییرات کلی رنگ به ترتیب با مقادیر ۳۶/۱۷۶ و ۷/۲۹۶ حادث شده است (شکل ۸). به عبارت دیگر دانسیته رنگ و تغییرات کلی رنگ محصول با افزایش مدت زمان نگهداری، افزایش می‌یابد. افزایش قرمزی محصول با گذشت زمان نگهداری و به تبع آن افزایش مقدار تغییرات کلی در گوجه‌فرنگی‌ها طبیعی است. ولی عملیات پیش‌سرمایش موجب کاهش عملکرد فیزیولوژی طبیعی محصول می‌شود. بنابراین تغییر رنگ و قرمزی که شاخصی از رسیدگی است در محصول پیش‌سرمایش شده، پایین‌تر از نمونه‌های شاهد می‌باشد. بنابراین مجدداً تاکید می‌شود استفاده از پیش‌سرمایش موجب جلوگیری از تسریع در رسیدگی محصول و جلوگیری از کاهش بازاریابی آن می‌شود. در شکل ۹ تغییرات رنگ گوجه‌فرنگی در طول زمان نگهداری نشان داده شده است.

تأثیر زمان نگهداری روی تغییرات کلی رنگ گوجه‌فرنگی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است. نگهداری گوجه‌فرنگی در دمای محیط، منجر به تغییرات رنگ محصول گردید به طوری که تغییرات کلی رنگ محصول در پایان ۱۲ روز نگهداری در دمای محیط، ۳۲/۸۳ بود. اما نگهداری محصول در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد موجب حفظ بهتر رنگ محصول در مدت نگهداری گردید و تغییرات کلی محصول ۱۴/۹۹ بود (Al-Dairi et al., 2021). این نتایج نشان داد که نگهداری گوجه‌فرنگی در دمای پایین می‌تواند رنگ محصول را بهتر حفظ نماید. در مقاصد صادراتی مختلف، رنگ شاخص اساسی در بیان کیفیت است. بنابراین زمانی که محصول در مناسبترین رنگ برداشت می‌شود، حفظ آن در مرحله انتقال و انبارداری ضروری است و عملیات پیش‌سرمایش به این اصل کمک می‌کند.

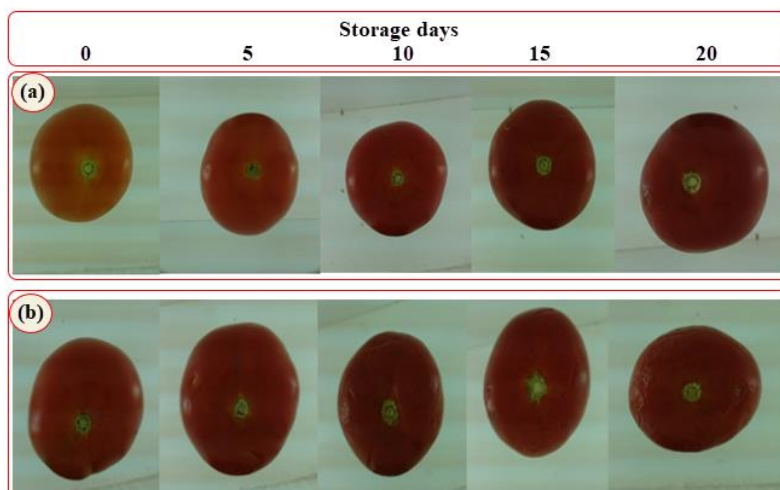
۳-۳- دانسیته رنگ و تغییرات کلی رنگ گوجه‌فرنگی

دانسیته رنگ و تغییرات کلی رنگ گوجه‌فرنگی تحت تأثیر روش پیش‌سرمایش و زمان نگهداری قرار داشتند، ولی اثر دما نگهداری یا حمل و نقل و اثرات متقابل این مشخصه‌های کیفی معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر روش‌های پیش‌سرمایش روی دانسیته رنگ نشان داد که بیش‌ترین مقدار دانسیته رنگ با مقدار ۳۶/۳۸۵ مربوط به نمونه‌های بدون پیش‌سرمایش و کم‌ترین مقدار آن نیز مربوط به تیمار کاربرد پیش‌سرمایش با آب با مقدار ۳۴/۰۵۵ بود (جدول ۲). به عبارت دیگر مقدار دانسیته رنگ زمانی که پیش‌سرمایش استفاده نشده است بالاتر بود و رنگ گوجه‌فرنگی‌ها تیره‌تر بود که این تیرگی از روز برداشت تا انتهای انبارداری یا حمل و نقل روند افزایشی داشت.



شکل ۸- تأثیر زمان نگهداری روی a: دانسیته رنگ و b: تغییرات کلی رنگ گوجه‌فرنگی

Fig. 8- Effect of storage time on a: color density, and b: Total color variation of tomato



شکل ۹- تغییرات رنگ گوجه‌فرنگی پیش‌سرمایش شده و نگهداری شده در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ روز a: پیش‌سرمایش با هوادهی اجباری و b: پیش‌سرمایش با آب

Fig. 9- A color variation of pre-cooled tomato stored at 12 °C for 20 days; a: FAC and b: HC

۴- نتیجه‌گیری کلی

حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی محصولات کشاورزی مانند گوجه‌فرنگی نیازمند انجام عملیات پس از برداشت، نگهداری و حمل و نقل در شرایط مناسب می‌باشد. عدم رعایت اصول علمی در نگهداری، حمل و نقل و توزیع، موجب افت کیفیت و افزایش ضایعات محصول می‌گردد. در این تحقیق نمونه‌های گوجه‌فرنگی با دو روش هوادهی اجباری و آب پیش‌سرمایش شده و همراه با نمونه‌های شاهد (بدون پیش‌سرمایش) در دمای محیط و دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ روز نگهداری شدند. نتایج نشان داد که از بین دو روش مذکور و با هدف حفظ کیفیت و کاهش هزینه‌های عملیاتی، استفاده از عملیات پیش‌سرمایش به روش هوادهی اجباری و نگهداری یا حمل و نقل در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد، کیفیت بافت و رنگ گوجه‌فرنگی را بهتر حفظ می‌کند. به این ترتیب می‌توان محصول را به کشورهای دیگر و نقاط دوردست صادر نمود. ولی اگر محصول بعد از پیش‌سرمایش به روش هوادهی اجباری، در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد نگهداری و یا حمل‌ونقل شود، خواص کیفی آن افت بیشتری خواهد داشت. بنابراین استفاده از کامیون‌های یخچال‌دار برای حمل و نقل گوجه‌فرنگی به منظور صادرات محصول ضروری است.

منابع

- Al-Dairi, M., Pathare, P.B., and Al-Yahyai, R. (2021). *Effect of Postharvest Transport and Storage on Color and Firmness Quality of Tomato*. Horticulturae, 7, 163: 1-15. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7070163>.
- Desmet, M., Lammertyn, J., Scheerlinck, N., Verlinden, B. E., and Nicolai, B. M. (2003). *Determination of puncture injury susceptibility of tomatoes*. Postharvest Biology and Technology, 27: 293-303. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00115-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00115-1).
- Kader, A. A. (2002). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, third ed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publication, Oakland, CA.
- Karki, A., and Dawadi, E. (2022). *A review on post-harvest handling practices of tomato (LYCOPERSICUM ESCULENTUM)*. Food and Agricultural Economics Review, 2(2): 100-103. <https://doi.org/10.26480/faer.02.2022.100.103>.
- Khaleghi, S., and Alemzadeh Ansari, N. (2012). *Evaluation of post-harvest quality changes of two tomato cultivars during the storage period*. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 8(1): 33-39 (In Persian).
- Kumar, A., Kumar, R., and Subudhi, S. (2023). *Numerical modeling of forced-air pre-cooling of fruits and vegetables: A review*. International Journal of Refrigeration, 145: 217-232. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.09.007>.
- Mani, V.P., Abdul-Rahaman, A., Nimbare, A.C., Buonamwen, Y.I., Musah, K., Abdul-Wahab, S., and Ghulam, K. (2023). *Effects of postharvest dipping of sodium hypochlorite and hydro-cooling on the quality of 'Petomech' tomato fruits*. Journal of Postharvest Technology, 11(4): 37-48.

- Nalbandi, H., Seiedlou, S., Ghasemzadeh, H. R., and Rangbar, F. (2016). *Innovative Parallel Airflow System for forced-air cooling of strawberries*. Food and Bioproducts Processing. 100: 440-449. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.09.002>.
- Nalbandi, H., and Seiedlou, S. (2020). *Sensitivity analysis of the precooling process of strawberry: Effect of package designing parameters and the moisture loss*. Food Science and Nutrition. 8 (5): 2458-2471. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1536>.
- Patel, P. P., Sutar, R. F., Khanbarad, S. C., and Darji, V. B. (2016). *Effect of different precooling techniques on the storage behavior of tomato fruits at low and ambient temperatures*. Vegetable Science. 43 (2): 184-18. <https://doi.org/10.61180>.
- Rab, A., Rehman, H., Haq, I., Sajid, M., Nawab, K., and Ali, K. (2013). *Harvest stages and pre-cooling influence the quality and storage life of tomato fruit*. Journal of Animal and Plant Sciences. 23(5): 1347-1352.
- Saldana, M. D., Temelli, F., Guigard, S. E., Tomberli, B., and Gray, C. G., (2010). *Apparent solubility of lycopene and b-carotene in supercritical CO₂, CO₂+ethanol and CO₂+canola using dynamic extracting of tomatoes*. Journal of Food Engineering. 99: 1-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.017>.
- Shahi, N. C., Lohani, U. C., Chand, Kh., and Singh, A. (2012). *Effect of pre-cooling treatments on shelf life of tomato in ambient condition*. International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences. 2(3): 50-56. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:198119079>.
- Sibanda, S., and Workneh, T. S. (2019). *Effects of indirect air cooling combined with direct evaporative cooling on the quality of stored tomato fruit*. CyTA - Journal of Food. 17(1): 603-612. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1622595>.
- Sighar Ghiasi, M. (2021). *The Study of the consecutive effect of applying pre-cooling technologies and modified atmosphere packaging (MAP) on the shelf life and quality of sweet cherry fruit*. MSc thesis. Department of Biosystems Engineering. Faculty of Agriculture. University of Tabriz.
- Znidarcic, D., and Pozrl, T. (2006). *Comparative study of quality changes in tomato cv. 'Malike' (Lycopersicon esculentum mill.) whilst stored at different temperatures*. Acta Agriculture Slovenica. 87 (2):2 35 – 243. <http://dx.doi.org/10.14720/aas.2006.87.2.15102>