Food Research Journal
Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Simultaneous effect of the packages designed for the precooling process with gamma irradiation on the shelf life of the strawberry

Sadegh Seyedlou [1]✉, Habibeh Nalbandi [1], Fakhredin Asaadi [2] and Mahdi Arzanlou [3]

[1] Professor and Associate Professor respectively, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[2] MSc student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[3] Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
✉Corresponding author: ss_seiedlo@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: February 20, 2024
Accepted: November 23, 2024
Published: Jan 4, 2024

Keywords:
Gamma, Irradiation, Packaging, Postharvest, Shelf life

ABSTRACT

Background: Gamma-ray irradiation is a novel method for controlling pathogen, effectively eliminating almost all microorganisms present on the fruit and the package surface. Moreover, precooling plays an effective role in prolonging the shelf life of fruits. The performance parameters of the gamma application and design specifications of the package can be attained through concurrently utilizing these processes.
Aims: The aim of this research was to examine the combined effects of packaging type and gamma irradiation at different doses on quality attributes, fruit decay during storage, and the determination of ideal performance conditions.
Methods: In this study, three types of packages were used, perforated polyethylene package designed for the strawberry precooling process, non-perforated polyethylene package with a top polymer film and non-perforated polyethylene packages without film. Moreover, three doses of gamma irradiation, namely 1, 2, and 3 kGy, were investigated, and their effect on the quality attributes of strawberry were assessed over a 16-day storage period.
Results: The finding showed that both package type and dose of gamma irradiation significantly affected the quality attributes of strawberry in comparison to the control treatment. The concurrent application of irradiation at a dose of 2 kGy along with precooling package effectively preserved the quality attributes of the fruit at a high level as long as 12 days. On the 12th day of storage, the decay index for the control treatment and the irradiated fruit were 4.33 and 1.6, respectively. At this dose of radiation, the firmness, decay index, ascorbic acid content, TSS, and TA were assessed in the precooling package and the non-perforated polyethylene package with a top film, with values of 0.97 N, 1.43, 45 mg/100 g, 6.2%, and 1.26 g/100 ml, respectively.
Conclusion: The shelf life of strawberry can be significantly extended by applying a precooling package and gamma radiation at 2 kGy since these processes delay the re-contamination of the fruit.

CC BY NC

OPEN ACCESS

Extended Abstract

Introduction: Fruits and vegetables are highly perishable products due to their high moisture content. Various technologies have been developed and used to prevent decay and increase the shelf life of agricultural products. However, many methods are not appropriate for fresh food products due to quality deterioration. Irradiation technology effectively reduces postharvest losses by prevent of insects and acts on the stored products. This technology does not create toxic or radioactive compounds in food. Gamma irradiation eliminates most microorganisms on the fruit and the package surface but does not guarantee the re-contamination. Consequently, the type of product packaging is critical to prevents re-contamination of the product during postharvest stage. Few studies examined the simultaneous effects of these two factors on the shelf life of perishable products such as strawberry, which is one of the most perishable fruits, and is susceptible to destruction by microorganisms, especially Botrytis cinerea, which causes extensive losses (40%) in the postharvest stage. Selecting appropriate packaging is the initial step in reducing the waste of this product. Strawberries come in various packaging, consist of perforated polyethylene packages and perforated packages designed for precooling operations. The type of packaging can play an essential role in irradiation and re-contamination after this operation. Consequently, both gamma irradiation and the precooling of fruits are cost-effective methods for controlling pathogens and preserving quality. This study evaluated the simultaneous effect of various packaging types, including commercial non-perforated polyethylene package with a top polymer film, non-perforated polyethylene package without a top polymer film, and specific precooling package, long with the effects of gamma irradiation at different doses on qualitative characteristics, contamination reduction, shelf life extension, and the subsequent contaminants throughout storage and decay control.

Material and methods: In this study, three types of packages were used, including perforated polyethylene package designed for the strawberry precooling operation, non-perforated polyethylene package with polymer film on top of that and non-perforated polyethylene package without a lid and film. Strawberry cv. *Gavita* was acquired from a greenhouse. Fruits with a uniform shape and no damage were selected and packed. Packages were situated in trays and then placed in five-layer thick cartons for irradiation in accordance with the suggestion of the Food and Agricultural Product Radiation Center. The prepared samples were immediately transferred to the irradiation center. The cartons were placed in the irradiation pallet and irradiated by a cobalt-60 source (Gamasel) with doses of 1, 2, and 3 kGy. Then, the irradiated samples were stored with the control samples at $1 \pm 3\ ^{\circ}C$ and relative humidity of 90 %. Qualitative changes in strawberry were evaluated in five phases, including days 1, 4, 8, 12, and 16 after process. In each step, the three packages of each treatment were removed from the cold storage, and quality characteristics were measured, such as fungal decay, fruit tissue firmness, ascorbic acid content, total soluble solid content (TSS), titratable acidity (TA), flavor index and the pH (acidity) of the juice. The results were analyzed using a randomized complete block design (as factorial experiments) in three replications. The mean comparison was performed by the Duncan test.

Results and discussion: Contamination and decay indices serve as the key indicators for assessing the shelf life and quality of fruits in the postharvest stage. The results indicated that the type of packaging and storage time had a significant effect on the decay index at a probability level of 1%.

The lowest decay was witnessed in fruits packed in precooling and polyethylene package with a film (1.44 and 1.42, respectively). In polyethylene package with a film, the fruit's surface area exposed to the outside is nonexistent, leading to no chance of

secondary contamination. Nonetheless, within these packages rising humidity and the condensation of moisture on the product create a suitable environment for the development of microorganisms present in the strawberry achenes and exacerbating their deterioration. In precooling packages, the storage conditions of the fruit were superior to those of the polyethylene packages with a film as moisture can exit these packages, leading to a reduced spoilage rate for the product. The irradiation dose has a non-significant effect, based on the results, the decay and its rate in treated samples were lower than in the control sample. After being stored for 12 days, the decay index of the treated strawberry was approximately 1.66 whereas 4.33 for the control sample. The type of Packaging type, the dose of irradiation, and duration of storage significantly influenced the firmness of strawberry texture. The fruits kept in the precooling package exhibited the greatest firmness (0.97 N). There was no significant effect between the precooling package and polyethylene package with a top film. The evaluation of the firmness between irradiated and control fruits showed that control samples were firmer than irradiated samples on the 4th and 8th days. In addition, maximum and minimum firmness were recorded at doses of 2 and 3 kGy with values of 0.966 and 0.918 N. Based on these findings, the use of 3 kGy is not advisable. Irradiation at doses of 1 and 2 kGy may preserve fruit firmness throughout storage. The firmness of fruit diminished the storage period, reaching its minimum after 16 days. Nonetheless, there was no difference between fruit firmness at the 8 and 12 day of storage. As a results, a storage period of 12 days was advised. The packaging type and storage duration influenced the ascorbic acid content of strawberry. The level of ascorbic acid was greater in the fruits kept in precooling and polyethylene package with a film, possibly because this package created optimal storage conditions that preserve the fruit quality. The greatest level of ascorbic acid was noted on the initial day of the storage (71.11 mg/100 g) which declines as the fruit is stored because this vitamin is utilized throughout the storage duration. Irradiation doses did not affect the ascorbic acid content. Nonetheless, the control samples contained more ascorbic acid than the treated samples. Although the amount of ascorbic acid was equal in all samples at the end of storage, the control samples shoed higher ascorbic acid levels on the 8th and 12th days of storage. The maximum pH (3.22) was observed at irradiation doses of 1 and 2 kGy and throughout the storage period, the pH showed a declining trend. Comparing control specimens with other samples demonstrated that the fruit in the control package exhibited a higher pH until the 8th day. However, no difference was noted between the control sample and the other samples following this duration. The polyethylene package with the film and the precooling package showed a more effective preservation of TSS, with no significant differences noted between the two. Thus, the type of packaging influenced the quality attributes of the fruit by regulating the rate of respiration and transpiration of the product. The irradiation dose also had a significant effect on the TSS in the samples. Raising the irradiation dose from 1 to 3 kGy led to increase TSS (from 6.29 to 6.59%). On the 1st, 4th, and 8th days of storage, the TSS was reduced, it rose over the storage period. The maximum TSS of 7.32% was associated with a 3 kGy treatment on the 16th day post-irradiation. The irradiation dose and storage duration influenced the TA of strawberry. It rose with increasing the irradiation dose and showed a downward trend over 16 days of storage. The maximum and minimum TA percentages of 1.51 % and 1.02 % were associated with the 2 kGy dose treatment on the first and 16th days following irradiation, respectively. the flavor index of the fruit increased over the storage period and there was no significant difference between the irradiation levels.

Conclusion: The finding indicated that the firmness, decay index, and ascorbic acid content of fruits stored in precooling packages and polyethylene packages with a protective top film were better preserved during storage.

The irradiated fruits with a dose of 2 kGy exhibited increased firmness and pH alongside a reduced decay index, which was significantly lower than that of non-irradiated control samples. In general, irradiating strawberry with gamma at a dose of 2 kGy and packing them in precooling packaging or polyethylene packaging with a top film can serves as an effective method in strawberry postharvest technology. These processes delay the re-contamination of the fruit and help to preserve the quality index of product at a high level for up 12 days, which is adequate for a perishable fruit like strawberry.

پژوهش‌های صنایع غذایی
شاپا الکترونیکی: ۵۶۹۱-۲۶۷۶ ، شاپا چاپی ۵۱۵X- ۲۰۰۸
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

بررسی تاثیر کاربرد هم‌زمان جعبه‌هایی با طراحی مختص پیش‌سرمایش و پرتوتابی با اشعه گاما روی عمر انبارمانی توت‌فرنگی

صادق سیدلو[۱]✉، حبیبه نعلبندی[۱]، فخرالدین اسعدی[۲] و مهدی ارزنلو[۳]

[۱] به ترتیب استاد و دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
[۲] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
[۳] استاد گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
✉ مسئول مکاتبه: ss_seiedlo@yahoo.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱
پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۳
انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

کلید واژه:
اشعه گاما، بسته‌بندی، پرتودهی، پس از برداشت، توت‌فرنگی، عمر انبارمانی

چکیده

زمینه مطالعاتی: پرتودهی با اشعه گاما یک روش نوین برای کنترل عوامل بیماری‌زا می‌باشد و عملیات پیش‌سرمایش نیز در افزایش انبارمانی محصول موثر است. کاربرد توام این دو فرآیند به منظور دست‌یابی به پارامترهای عملکردی کاربرد این فرآیندها در توت‌فرنگی می‌تواند مفید باشد.

هدف: این تحقیق به منظور مطالعه تاثیر هم‌زمان نوع بسته‌بندی و تاثیر پرتودهی با اشعه گاما در دوزهای مختلف روی خصوصیات کیفی، کنترل پوسیدگی توت‌فرنگی در دوره نگهداری و تعیین بهترین شرایط عملکردی، انجام شد.

روش کار: در این تحقیق سه نوع بسته‌بندی شامل جعبه‌های پلی‌اتیلنی تجاری بدون منفذ با پوشش فیلم پلیمری و بدون پوشش فیلم پلیمری و جعبه‌های منفذدار مختص عملیات پیش‌سرمایش توت‌فرنگی و نیز سه دوز اشعه گاما شامل دوزهای ۱، ۲ و ۳ کیلوگری مورد استفاده قرار گرفت و اثر این تیمارها روی خواص کیفی توت‌فرنگی در طول ۱۶ روز نگهداری بررسی شد.

نتایج: استفاده هم‌زمان از پرتودهی با دوز ۲ کیلوگری و جعبه مختص پیش‌سرمایش، توانست شاخص‌های کیفی را تا ۱۲ روز، در حد بالایی حفظ کند. در روز ۱۲ام نگهداری، شاخص پوسیدگی میوه‌های شاهد ۴/۳۳ و میوه‌های پرتودهی شده ۱/۶ بود. در این دوز پرتودهی در جعبه‌های مختص پیش‌سرمایش و جعبه‌های با پوشش فیلم پلیمری مقدار سفتی، شاخص پوسیدگی، محتوی اسید اسکوربیک، محتوی کل ماده جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون به ترتیب ۰/۹۷ نیوتن، ۱/۴۳، ۴۵ میلی‌گرم در صد گرم، ۶/۲ درصد و ۱/۲۶ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر اندازه‌گیری شد.

نتیجه‌گیری کلی: استفاده از جعبه‌های مختص پیش‌سرمایش و استفاده از اشعه گاما با دوز ۲ کیلوگری می‌تواند در افزایش عمر انبارمانی توت‌فرنگی (تا ۱۲ روز) موثر باشد.

مقدمه

محصولات باغی به ویژه میوه‌ها و سبزی‌ها محصولات بسیار حساسی بوده و به دلیل داشتن رطوبت بالا بسیار فسادپذیر می‌باشند. سهل‌انگاری و عدم دقت کافی در مراحل مختلف پس از برداشت از جمله بسته‌بندی، حمل و نقل و نگهداری محصول، موجب ضایعات و تلفات محصول شده و ضرر اقتصادی به بار خواهد آورد (کادر ۲۰۰۲). روش‌های متعددی برای جلوگیری از فساد و افزایش عمرانباری محصولات کشاورزی ابداع و مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی اکثر این روش‌ها برای محصولات تازه‌خوری قابل کاربرد نبوده و یا موجب کاهش ارزش تغذیه‌ای و کیفیت آنها می‌شوند. هم‌چنین استفاده از مواد شیمیایی برای کاهش فساد محصول به دلیل اثرات مضر آن بر سلامت انسان و محیط زیست، با محدودیت‌های جدی مواجه می‌باشد. زیرا امروزه سالم بودن مواد غذایی، اولین و مهم‌ترین شاخص در ارزیابی آنها است. بنابراین محصولات تولید شده باید فاقد هر نوع بیماری، آفت و باقی‌مانده مواد شیمیایی باشند. از این‌رو یافتن روش‌های سالم و سازگار با محیط‌زیست برای استفاده در تکنولوژی پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها ضروری است.

فناوری‌های نوین مانند فشار هیدرواستاتیک بالا، میدان‌های پالس الکتریکی، استفاده از ازون و به ویژه پرتودهی، استفاده از پیش‌سرمایش و بسته‌بندی محصول روش‌های جدیدی هستند که برای کاهش فساد، افزایش عمر انبارمانی و به ویژه کاهش بار میکروبی و آلودگی محصولات استفاده می‌شوند و کاربرد آنها روز به روز در حال افزایش است. در عملیات پیش‌سرمایش با کاهش گرمای مزرعه‌ای و کاهش سریع متابولیسم طبیعی محصول، عمر انبارمانی محصول افزایش می‌یابد (چاکراورتی و پل ۲۰۰۱). کاربرد این روش نیازمند طراحی جعبه‌های مختص این عملیات است تا شاخص خنک‌شدگی در همه نقاط جعبه و پالت میوه یکنواخت‌تر و انرژی مصرفی کمینه شود. در این خصوص از روش‌های عددی مختلف برای شبیه‌سازی فرآیند به منظور حصول مناسب‌ترین طرح جعبه استفاده می‌شود. غالب این جعبه‌ها دارای منافذی برای عبور هوای سرد به داخل جعبه می‌باشند تا ضمن تماس هوای خنک با محصول داخل جعبه، عملیات پیش‌سرمایش تسهیل و تعجیل شود (نعلبندی و همکاران ۲۰۱۶). از طرف دیگر در عملیات پرتودهی، مواد غذایی در معرض یک مقدار انرژی به شکل ذرات با سرعت بسیار بالا و یا پرتوها قرار می‌گیرند. این روش ضمن داشتن نتایج سودمند، ترکیبات سمی و رادیواکتیو در ماده غذایی ایجاد نمی‌کند. تکنولوژی پرتودهی در کاهش تلفات پس از برداشت محصولات موثر است و باعث کنترل حشرات و میکروارگانیسم‌های موجود در محصولات انبار شده می‌گردد (ژنگ و همکاران ۲۰۲۱).

پرکاربردترین و به‌صرفه‌ترین روش اقتصادی پرتودهی، استفاده از اشعه‌ی گاما است زیرا از قدرت نفوذ بیشتری برخوردار بوده ولی قدرت آن در تولید یون کمتر است. این اشعه ارزان‌ترین شکل پرتودهی مواد غذایی می‌باشد (گئورگ و همکاران ۲۰۱۵). تحقیقات گسترده‌ای توسط اغلب محققین در خصوص پرتودهی محصولات کشاورزی صورت گرفته است که در اغلب این تحقیقات پرتوهای استفاده شده از نوع گاما و UVC[1] بوده به‌طوری‌که تاثیر دوز پرتو گاما و یا شدت UVC بر خصوصیات کیفی و کاهش بار آلودگی و میکروبی و آنزیمی محصولات مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. با اینکه تحقیقات مذکور در خصوص محصولات مختلف داخلی و ارقام متنوع آن در داخل کشور، صورت نگرفته است و دلیل اصلی آن نوپا بودن استفاده از انرژی هسته‌ای و عدم توسعه سیستم‌های تجاری پرتودهی در کشور در سال‌های گذشته بوده است، در چند سال اخیر خوشبختانه این نوع سیستم‌های پرتودهی در واحدهای تابعه سازمان انرژی اتمی تجاری‌سازی شده است.

پریمی دیوی و همکاران (۲۰۱۸) لیمو را تحت پرتودهی گاما با دوز های ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ کیلوگری قرار دادند. آنان نشـان دادند که محتوی رطوبت، خاکسـتر، چربی، فیبر خام و پروتئین میوه، در پرتودهی با دوزهای ۰/۲۵ الی ۰/۵ کیلوگری

[1] Ultraviolet C

تغییر چندانی نکرد، ولی در کاربرد دوزهای بالاتر (۰/۷۵ و ۱ کیلوگری) مقادیر آنها کاهش یافت. هم‌چنین محتوی اسید اسکوربیک میوه‌ها در دوزهای بالا کاهش یافت. مقدار کربوهیدرات‌ها نیز با افزایش دوز پرتودهی افزایش یافت. جابین و همکاران (۲۰۲۳) تاثیر دوز پرتودهی گاما را روی عمر ماندگاری انبه بررسی کردند. نتایج نشان داد که پرتودهی با دوز ۱/۵ کیلوگری می‌تولند سفتی بافت میوه را در مدت نگهداری سرد ۲ هفته ای حفظ کند. هم‌چنین پرتودهی اثر معنی‌داری روی کاهش خواص تغذیه‌ای میوه در مدت نگهداری نداشت. لی و همکاران (۲۰۲۳) اثر دوز پرتودهی با اشعه گاما را روی کیفیت فیزیکی- شیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پرتقال در طول ۷۰ روز نگهداری بررسی کردند. آنان نشان دادند در دوره اول نگهداری (از روز نخست تا روز ٤٢ ام) آهنگ فساد میوه‌های پرتودهی شده بیشتر از میوه‌های کنترل بود. اما در نگهداری طولانی‌تر، فساد در میوه‌های پرتودهی‌شده با دوز ۰/۳ و ۰/٦ کیلوگری کمتر از نمونه های شاهد بود. پرتودهی اثری روی اسیدیته کل و اسید قابل تیتراسیون نداشت. ولی این فرآیند میزان قند آزاد و TSS میوه را کاهش و محتوی فنولیک کل آن را افزایش داده بود. در نهایت دوز پرتودهی ۰/٦ کیلوگری دوز مناسب برای پرتودهی پرتقال معرفی شد. کیرکین و گونش (۲۰۲۲) اثر پرتودهی با اشعه گاما و بسته‌بندی تحت اتمسفر متعارف و اتمسفر اصلاح شده با ۱۰۰ درصد نیتروژن را روی خواص کیفی، حسی و ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی آویشن و فلفل سیاه بررسی کردند. نتایج نشان داد بدون به مخاطره افتادن خواص حسی و توسعه میکروبی محصول، پرتودهی تحت اتمسفر اصلاح شده می‌تواند ویژگی‌های عملکردی محصول را تا ٦ ماه حفظ کند. عبداله و همکاران (۲۰۱۸) تاثیر پرتودهی با اشعه گاما را روی خواص حسی و فیزیکوشیمیایی نارنگی در شرایط نگهداری در یخچال و محیط بررسی کردند. آنان نشان دادند با پرتودهی میوه‌ها با دوز ۱/۵ کیلوگری و نگهداری در یخچال، می‌توان عمر انباری میوه‌ها را به مدت یک هفته افزایش داد بدون اینکه خواص حسی و فیزیکوشیمیایی میوه‌ها تغییر کند. حیدر و همکاران (۲۰۲۳) اثر پرتودهی گاما را روی کیفیت پس از برداشت نارنگی در مدت ۹۰ روز نگهداری در دمای ۵ درجه سانتیگراد بررسی کردند. نتایج نشان داد استفاده از دوزهای بالای گاما، موجب کاهش افت جرم و کاهش توسعه بیماری‌ها، ممانعت از افزایش SSC، حفظ مقادیر بالای TA و نسبت پایین TA به SSC گردید. در نهایت استفاده از دوز ۰/۸ کیلوگری اشعه گاما برای حفظ خواص کیفی نارنگی در طول مدت نگهداری در سردخانه پیشنهاد شد. پانوا و همکاران (۲۰۲۰) اثر پرتودهی با اشعه گاما با دوز ۰/۵ و ۱ کیلوگری را روی خواص کیفی توت‌فرنگی در طول ۲۰ روز نگهداری در دمای ۵ درجه سانتیگراد بررسی کردند. آنان نشان دادند ویژگی‌های ظاهری و مزه میوه‌های پرتودهی شده با دوز ۰/۵ کیلوگری، در طول ۱۰ روز نگهداری بهتر حفظ شد. ولی اشعه‌دهی با دوز ۱ کیلوگری افت جرم میوه‌ها را افزایش داد. هم‌چنین شتاب توسعه فساد قارچی متناسب با دوز پرتودهی کاهش یافت. بر اساس نتایج تحقیقات می‌توان عنوان داشت شدت و سطح پرتودهی با گاما بایستی مختص هر محصول و رقم آن انتخاب شود.

تحقیقات مشابهی نیز روی روی سایر محصولات کشاورزی انجام شده است (وانگ و همکاران ۲۰۰٦؛ وانامالا و همکاران ۲۰۰۷؛ یوالەخان و همکاران ۲۰۱۸ و آنتونیو و همکاران ۲۰۱۳). به عنوان نمونه اثر اشعه‌دهی با دوزهای مختلف پرتو گاما روی حضور میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و ارزش غذایی گندم، جو، ذرت و سورگوم توسط عزیز و همکاران (۲۰۰٦) مطالعه شد. آنان نشان دادند که اشعه‌دهی با دوز ۱ کیلوگری موجب بازدارندگی فعالیت کلیفرم‌ها شده و دوز ۵ کیلوگری از فعالیت

قارچ‌ها جلوگیری می‌کند. هم‌چنین در دوز ۱۵ کیلوگری کلیه میکروارگانیسم‌های زنده از بین رفتند. کیرکین و همکاران (۲۰۱٤) نیز نشان دادند که در گیاهان دارویی، بار میکروبی باقی‌مانده پس از اشعه‌دهی با دوز ۱۲ کیلوگری اشعه گاما، در نمونه‌های آویشن، رزماری، فلفل‌سیاه و زیره‌سبز در حد صفر می‌باشد. ولی اشعه‌دهی موجب تغییرات در رنگ رزماری و فلفل سیاه شد. علی‌رغم نتایج خوب به دست آمده توسط محققین در اثر بخشی پرتودهی گاما، ذکر این نکته حائز اهمیت است که پرتودهی با اشعه گاما اغلب میکروارگانیسم‌های موجود در سطح میوه و رویه جعبه را از بین می‌برد ولی عدم آلودگی مجدد محصول را تضمین نمی‌کند. بنابراین نوع بسته‌بندی محصول برای ممانعت از آلودگی مجدد محصول از اهمیت به سزایی برخوردار است که مطالعه چندانی در خصوص تاثیر هم‌زمان این دو عامل بر عمر انبارمانی محصولات فسادپذیری مانند توت‌فرنگی انجام نشده است. در عملیات پیش‌سرمایش طراحی بسته مورد استفاده، با بسته‌های متداول متفاوت است چرا که وجود منافذ و شکاف‌های موجود در بدنه جهت امکان جریان هوا به داخل بسته الزامی است. تحقیقات گسترده‌ای در خصوص طراحی بسته مختص محصولات به ویژه توت‌فرنگی صورت گرفته است (نعلبندی و همکاران ۲۰۱٦، ۲۰۲۰؛ فوریا و سینگ ۲۰۱۱). حال سوال اصلی این است که با توجه به وجود شکاف‌هایی روی بسته مختص پیش‌سرمایش و انجام پرتودهی ثانویه روی این بسته‌ها، آیا عملیات توام پیش‌سرمایش و پرتودهی در عمر انبارمانی و خواص کیفی محصول موثر خواهد بود یا خیر و آلودگی ثانویه این بسته‌ها در مقایسه با بسته‌های متداول بازار که بدون منفذ هستد و عملیات پیش‌سرمایش روی آنها صورت نمی‌گیرد چگونه خواهد بود؟ آیا اثر بخشی عملیات پرتودهی در ادغام با عملیات پیش‌سرمایش به دلیل وجود شکاف‌های روی بسته از بین خواهد رفت؟ بنابراین هدف از این کار تحقیقاتی بررسی اثر پرتودهی با گاما روی خواص کیفی محصول توت‌فرنگی رقم گاویتا بود به‌طوری‌که محصول در داخل انواع بسته شامل جعبه‌های پلی‌اتیلنی تجاری بدون منفذ و پوشش فیلم پلیمری، جعبه‌های پلی‌اتیلنی تجاری بدون منفذ با پوشش فیلم پلیمری و جعبه‌های مختص عملیات پیش‌سرمایش تحت تاثیر پرتودهی با دوزهای مختلف قرار داده شد تا کاربرد هم‌زمان عملیات پیش‌سرمایش با پرتودهی امکان‌سنجی شود.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

میوه‌های توت‌فرنگی رقم گاویتا از گلخانه‌ای واقع در شهرستان مراغه تهیه شدند. میوه‌ها در مرحله رسیدگی تجاری هنگامی که ۸۰ درصد رنگ گرفته و دارای اندازه مناسب بودند برداشت شدند. میوه‌های دارای شکل غیر طبیعی و صدمات فیزیکی حذف و میوه‌های سالم و یکنواخت انتخاب شدند. سپس با دقت و در زمان کم بسته‌بندی شده و تا زمان انجام آزمایش در دمای ٤ °C نگهداری شدند.

جعبه‌های مورد استفاده

جهت بررسی تاثیر نوع بسته‌بندی روی عملیات پرتودهی و در نهایت روی مدت ماندگاری محصول از سه نوع جعبه استفاده شد که شامل جعبه پلی‌اتیلنی منفذدار طراحی‌شده مختص عملیات پیش‌سرمایش توت‌فرنگی (P)، جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون منفذ و با پوشش فیلم پلیمری همانند بسته‌های سالاد (S) و جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون منفذ و درب و بدون پوشش فیلم پلیمری (R) بودند (شکل ۱).

چنانکه در مقدمه بیان شد دلیل انتخاب جعبه نوع اول، بررسی جعبه مختص پیش‌سرمایش در عملیات پرتودهی بود که آیا وجود منافذ و شکاف روی جعبه‌ها می‌تواند روی آلودگی ثانویه محصول توت‌فرنگی پس از پرتودهی موثر باشد. به عبارت دیگر آیا می‌توان هم‌زمان دو عملیات مهم پس از برداشت را به توالی هم روی توت‌فرنگی انجام داد. جعبه نوع دوم و سوم به کرات در بازار برای توت‌فرنگی و محصولات مشابه استفاده می‌شود. جعبه‌های حاوی توت‌فرنگی در سینی‌هایی از جنس کارتن‌پلاست قرار داده شدند. سپس برای پرتودهی در کارتن‌های ضخیم پنج لایه طبق استانداردهای پژوهشکده‌ی سازمان انرژی اتمی قرار داده شدند (شکل ۲).

Figure 1- Packages used for packing strawberries: I. Perforated polyethylene package for pre-cooling operation, II. Perforated polyethylene package with a polymer film, III. Non-perforated polyethylene package without a polymer film

پرتودهی نمونه‌ها با اشعه‌ی گاما

نمونه‌های آماده‌شده بلافاصله به سالن پرتودهی مجتمع کاربرد پرتوهای شمال‌غرب ایران انتقال داده شدند سپس کارتن‌های حاوی نمونه‌ها در پالت پرتودهی قرار داده شده و با چشمه‌ی کبالت ٦٠ (گاماسل) با شدت ۱، ۲ و ۳ کیلوگری پرتودهی شدند. در شکل ۳ مراحل انجام پرتودهی تجاری با اشعه گاما حاصل از کبالت ٦٠ نشان داده شده است. بعد از اتمام پرتودهی و انجام آزمایش‌های دوزی‌متری، نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه مهندسی پس از برداشت منتقل شدند. نمونه‌های پرتودهی شده در سردخانه (دمای ۳±۱°C و رطوبت نسبی ۹۰٪) نگهداری شدند

آزمون‌های کیفی میوه

تغییرات کیفی توت‌فرنگی در پنج مرحله شامل روز برداشت محصول (روز صفر) و ٤، ٨، ١٢و ١٦روز پس از پرتودهی ارزیابی شدند. به این ترتیب که در هر مرحله سه جعبه از هر تیمار از سردخانه بیرون آورده شدند و خصوصیات کیفی شامل شاخص پوسیدگی قارچی، سفتی بافت میوه، محتوای اسید آسکوربیک، محتوی کل مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) و اسیدیته کل (pH) آب‌میوه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. در این تحقیق تاثیر شدت پرتودهی در سه سطح با شدت دوز جذبی ۱، ۲ و ۳ کیلوگری، نوع بسته‌بندی در سه سطح شامل P، R، S و زمان نگهداری میوه‌ها در پنج سطح شامل ۱، ٤، ٨، ١٢ و ١٦ روز پس از پرتودهی روی خواص کیفی توت‌فرنگی بررسی شد. برای مطالعه بهتر تاثیر پرتودهی روی خواص کیفی و عمر ماندگاری میوه‌ها، از نمونه شاهد نیز استفاده شد که میوه‌ها بدون پرتودهی در جعبه‌های پلی‌اتیلنی رو باز قرار بسته‌بندی شدند و همراه با سایر تیمارها در سردخانه نگهداری و خواص کیفی آنها اندازه‌گیری شد (نتایج نمونه شاهد در تجزیه واریانس آورده نشد).

Figure 2- Trays used for irradiation

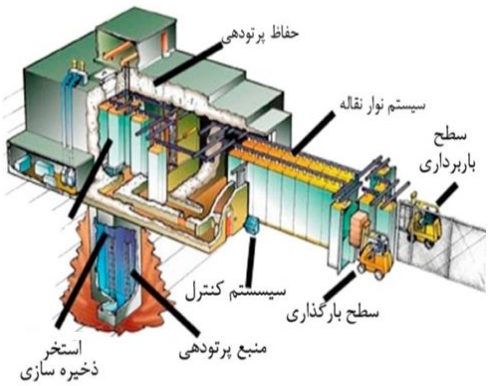

Figure 3- Gamma irradiation set up for food processing

نحوه ارزیابی میزان پوسیدگی نمونه‌ها و محاسبه شاخص آن

برای ارزیابی پوسیدگی توت‌فرنگی‌ها، از بررسی کیفی استفاده شد. برای این منظور، نمونه‌ها از لحاظ میزان پیشرفت پوسیدگی سطحی به پنج گروه تقسیم شدند و عدد ۱ برای توت فرنگی‌های فاقد پوسیدگی، عدد ۲، ۳، ٤ و ۵ به ترتیب برای نمونه‌هایی تا ۵ درصد، ۵ الی ۲۰ درصد، ۲۰ الی ۵۰ درصد و بیش از ۵۰ درصد پوسیدگی سطحی در نظر گرفته شد. در هر مرحله از زمان‌های نگهداری، سطح پوسیدگی هر یک از میوه‌های داخل جعبه‌ها با تصویربرداری از میوه‌ها و شمارش پیکسل‌های نواحی پوسیده، بررسی و میزان پوسیدگی آنها امتیازدهی شد. سپس میانگین امتیاز پوسیدگی همه میوه‌های درون هر جعبه مطابق رابطه ۱ محاسبه و به عنوان شاخص پوسیدگی (D) استفاده شد (ایالا-زاوالا و همکاران ۲۰۰۷). در این رابطه q امتیاز تعلق‌گرفته به هر میوه از لحاظ شدت پوسیدگی و n تعداد میوه‌های داخل هر جعبه می‌باشد.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i}{n} \times 100 \quad , \quad 1 \le q \le 5 \qquad (۱)$$

ارزیابی سفتی بافت میوه

برای اندازه‌گیری سفتی بافت توت‌فرنگی از آزمون فشار استفاده شد. این آزمون با استفاده از دستگاه کشش- فشار یونیورسال (مدل ۱۱٤۰ ساخت کمپانی اینسترون) مجهز به لودسل با قابلیت اندازه‌گیری نیرو در گستره‌ی صفر تا ۵ نیوتن، انجام شد. بارگذاری با سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه فک متحرک دستگاه انجام گرفت (بورن ۲۰۰۲). بدین منظور توت‌فرنگی به حالت طبیعی بر روی سکوی ثابت دستگاه قرار داده شد و حداکثر نیروی مورد نیاز برای فشردن میوه بر حسب نیوتن و تغییر ارتفاع آن به اندازه ۲۰ درصد ارتفاع اولیه میوه، به عنوان شاخص سفتی گزارش شد. آزمایش‌ها برای هر تیمار در سه تکرار انجام شدند.

اندازه‌گیری محتوی اسید آسکوربیک (ویتامین ث)

اندازه‌گیری محتوی اسید آسکوربیک با روش تیتراسیون با محلول ۲-٦ دی کلروفنل ایندوفنل انجام شد. میزان اسید آسکوربیک از رابطه ۲ محاسبه و بر حسب میلی‌گرم در صد گرم جرم ماده تر بیان شد. در این رابطه AA بیانگر مقدار اسید اسکوربیک موجود در عصاره (mg/100gr)، V حجم رنگ مورد استفاده در تیتراسیون حجم معینی از نمونه صاف شده (میلی‌لیتر)، W جرم نمونه در حجم معینی از محلول تیتر شده (گرم) و **J** اکی‌والان اسیدآسکوربیک (میلی‌گرم اسید آسکوربیک در میلی‌لیتر) می‌باشد.

$$AA = \frac{V \times J}{W} \times 100 \qquad (۲)$$

اندازه‌گیری کل مواد جامد محلول عصاره میوه (TSS)

برای اندازه‌گیری کل مواد جامد محلول عصاره میوه، چند قطره از آب میوه در دمای اتاق روی چشمی رفراکتومتر دیجیتال مدل ATAGO قرار گرفت و عدد مربوطه (برحسب بریکس) از روی صفحه دیجیتال آن قرائت شد.

اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون، عمل تیتراسیون توسط هیدروکسیدسدیم ۰/۱ نرمال (٤ گرم در لیتر) تا اسیدیته ۸/۲ (pH=۸/۲) صورت گرفت.. مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون برحسب معادل اسید سیتریک (اسید غالب توت‌فرنگی) مطابق رابطه ۳ محاسبه شد. در این رابطه TA بیانگر مقدار اسیدهای آلی موجود در عصاره میوه (g/۱۰۰ml)، S مقدار هیدروکسید-سدیم مصرف شده (ml)، N نرمالیته هیدروکسیدسدیم، F فاکتور هیدروکسیدسدیم، C مقدار عصاره میوه (ml) و E اکی‌والان اسید مورد نظر (اسید سیتریک) می‌باشد.

$$T.A = (\frac{S \times N \times F \times E}{C}) \times 100 \quad (۳)$$

محاسبه شاخص طعم توت‌فرنگی

از نسبت کل مواد جامد محلول (TSS) به اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) به عنوان شاخص طعم توت‌فرنگی استفاده شد.

اندازه‌گیری pH آب‌میوه

pH آب‌میوه با دستگاه pH متر دیجیتالی کالیبره‌شده با بافرهای ٤ و ٧ اندازه‌گیری شد. بعد از عصاره‌گیری نمونه‌های توت‌فرنگی و عبور دادن آن از صافی با قرار دادن سنسور pH متر در داخل آب میوه، مقدار pH ثبت گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشی

نتایج حاصل از اندازه‌گیری خواص کیفی در تیمارها و تکرارهای مختلف، در قالب آزمایش‌های فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار با نرم‌افزار SAS تحلیل شدند. مقایسات میانگین نیز با آزمون دانکن انجام و بهترین تیمار تعیین شد.

نتایج و بحث

شاخص پوسیدگی میوه‌ها

پوسیدگی به دلیل آلودگی مجدد محصول به انواع قارچ‌ها، باکتری‌ها و اسپورها، یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در تعیین عمر ماندگاری و کیفیت میوه‌ها در مراحل پس از برداشت می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱)، از بین فاکتورهای مورد مطالعه نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری و اثر متقابل آنها، تاثیر معنی‌داری روی میزان شاخص پوسیدگی میوه‌ها (رابطه ۱) در سطح احتمال ۱٪ داشتند ولی اثر دوز پرتودهی روی این شاخص معنی‌دار نبود. به عبارت دیگر هر سه دوز مورد استفاده تاثیر نسبتا یکسانی روی عمر نگهداری محصول توت‌فرنگی داشتند. کمترین میزان شاخص پوسیدگی در میوه‌های بسته‌بندی شده در جعبه‌های مختص پیش‌سرمایش (P) با مقدار ١/٤٤ و میوه‌های بسته‌بندی شده در جعبه‌های پلی‌اتیلنی با فیلم پلیمری (S) با مقدار ١/٤٢ حادث شد. ولی میوه‌های بسته‌بندی شده در جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون فیلم پلیمری (R) با شاخص پوسیدگی ٢/٤٢ متحمل بیشترین پوسیدگی شدند. به این مفهوم که مقدار پوسیدگی در حد ۵ الی ۲۰ درصد سطح توت‌فرنگی‌ها بود (جدول ۲).

Table 1- ANOVA results for irradiation doses, packaging type, and storage time on the quality characteristics of the strawberry

SV	df	MS					
		Decay index	Firmness	Ascorbic acid	TSS	TA	pH
Packing type (A)	2	14.674 **	0.028 **	784.630 **	2.096 *	0.004 ns	0.004 ns
Irradiation dose (B)	2	0.049 ns	0.023 **	33.519 ns	1.680 **	0.068 **	0.035 **
Time (C)	4	9.696 **	0.784 **	6775.460 **	4.840 **	0.569 **	0.572 **
A×B	4	0.085 ns	0.007 ns	55.185 ns	0.296 ns	0.009 ns	0.002 ns
A×C	8	0.896 **	0.010 ns	58.930 ns	0.529 ns	0.008 ns	0.008 ns
B×C	8	0.163 ns	0.006 **	74.490 ns	3.485 **	0.05 **	0.120 **
A×B ×C	16	0.363 *	0.006 ns	50.670 ns	0.51 ns	0.007 ns	0.007 ns
Error	90	0.185	0.004	31.660	0.298	0.004	0.004
CV		24.41%	6.8%	13.04%	8.56%	5.13%	1.91%

ANOVA: Analysis of variance; SV: Source of variation; df: Degree of freedom; MS: Mean squares; TSS: Soluble solid content; TA: Titratable acidity. ** p <0.01, * p <0.05, and ns: non-significant difference

Table 2- Mean comparison of the packaging type on decay, firmness, ascorbic acid, and TSC of the strawberry

Box Type	Decay index	Firmness (N)	Ascorbic Acid (mg/100 g)	TSS (%)
P	1.444 [b]	0.975 [a]	45.780 [a]	6.380 [ab]
S	1.422 [b]	0.968 [a]	45.330 [a]	6.150 [b]
R	2.422 [a]	0.925 [b]	38.330 [b]	6.542 [a]

Different letters indicate a significant difference at the 1% probability level

وجود پوسیدگی پس از اعمال پرتودهی را می‌توان چنین توجیه نمود که این عملیات مانع آلودگی ثانویه میوه‌ها نمی‌شود. در جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون فیلم، سطح تماس میوه‌ها با محیط اطراف بیشتر بوده و میوه‌ها در معرض آلودگی بیشتری قرار می‌گیرند ولی در جعبه‌های پلی‌اتیلنی با فیلم سطح تماس محصول با اتمسفر محیط صفر بوده و احتمال آلودگی ثانویه به حداقل کاهش می‌یابد. ولی در این جعبه‌ها افزایش رطوبت داخل جعبه‌ها و تقطیر رطوبت روی محصول، محیط مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم کرد و فساد محصول را تشدید می‌کند. در جعبه‌های پیش‌سرمایش علی‌رغم وجود منافذ و شکاف‌ها روی دیواره‌های جانبی و درب جعبه، سطح تماس میوه‌ها با محیط مجاور محدود بوده و احتمال آلودگی ثانویه به حداقل می‌رسد. ضمن اینکه شرایط نگهداری میوه در این جعبه‌ها بهتر از جعبه‌های پلی‌اتیلنی با فیلم پلیمری بود زیرا در این جعبه‌ها امکان خروج رطوبت و گرمای حاصل از تنفس محصول از داخل جعبه‌ها به بیرون در طول مدت نگهداری وجود داشته و میزان فساد محصول کمتر می‌باشد.

میزان پوسیدگی میوه‌ها به شدت تحت تاثیر مدت زمان نگهداری قرار داشت به‌طوری‌که با گذشت زمان نگهداری، میزان پوسیدگی محصول افزایش یافته است و بیشترین میزان شاخص پوسیدگی مربوط به روز شانزدهم نگهداری بود (جدول ۳). در روز ۱۶ام نگهداری، شاخص پوسیدگی میوه‌ها نسبت به روز اول نگهداری حدود ۱۴۵ درصد افزایش داشت یعنی سطح پوسیدگی میوه‌ها به حدود ۲۰ درصد رسیده است.

Table 3- Mean comparison of the storage time on decay, firmness, ascorbic acid, TSS, TA, and pH of the strawberry

Storage Time	Decay index	Firmness (N)	Ascorbic Acid (mg/100 g)	TSS (%)	TA (g/100ml)	pH
1	1.074 [e]	1.214 [a]	71.110 [a]	6.120 [b]	1.450 [a]	3.370 [a]
4	1.407 [d]	0.977 [b]	40.010 [b]	5.920 [b]	1.370 [b]	3.280 [b]
8	1.667 [c]	0.913 [c]	36.110 [c]	6.180 [b]	1.270 [c]	3.210 [c]
12	2.037 [b]	0.9005 [c]	35.740 [cd]	6.800 [a]	1.260 [c]	3.170 [d]
16	2.63 [a]	0.745 [d]	32.780 [d]	6.850 [a]	1.060 [d]	2.280 [e]

Different letters represent a significant difference at the probability level of 1%

شکل ٤-I اثر متقابل تاثیر نوع جعبه و زمان نگهداری بر میزان شاخص پوسیدگی توت‌فرنگی را نشان می‌دهد. در روز اول نگهداری پس از پرتودهی تفاوت معنی‌داری در میزان پوسیدگی میوه‌ها در جعبه‌های مختلف مورد مطالعه وجود نداشت ولی مقدار پوسیدگی در جعبه شاهد بدون پرتودهی بالاتر بود. با گذشت زمان روند توسعه میزان شاخص پوسیدگی میوه‌ها در جعبه‌های مختلف متفاوت بود. میوه‌های موجود در جعبه پلی-اتیلنی بدون فیلم در همه مدت نگهداری بیشترین پوسیدگی و فساد را متحمل شدند. در پایان روز ۱۶ ام نگهداری، کمترین مقدار شاخص پوسیدگی توت‌فرنگی با مقدار ۲ مشترکا در بسته پلی‌اتیلنی با فیلم و بسته مختص پیش‌سرمایش و بیشترین مقدار آن (۳/۷۷) مربوط به بسته پلی‌اتیلنی بدون فیلم بود. در این زمان مقدار شاخص پوسیدگی نمونه شاهد برابر ۵ بود. به عبارت دیگر پس از ۱۶ روز نگهداری محصول مقدار سطح پوسیدگی محصول شاهد بدون پرتودهی در حدود بیش از ۵۰ درصد سطح آنها بود.

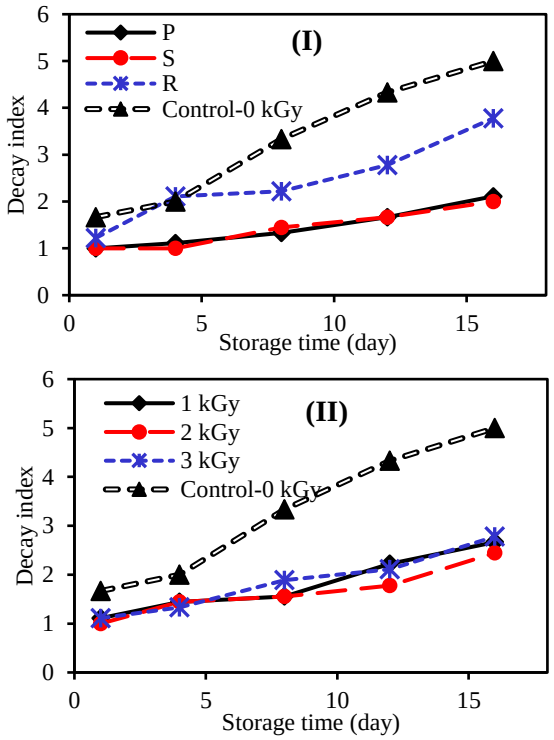

Figure 4- Variations in the strawberry decay index during the storage time as a function of I. Type of packaging and II. Irradiation dose

مطالعه بیشتر نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان پوسیدگی در روز ۱۶ ام نگهداری میوه‌های پرتودهی شده در جعبه پیش‌سرمایش و پلی‌اتیلنی با فیلم پلیمری، معادل میزان پوسیدگی در جعبه پلی‌اتیلنی بدون فیلم در روز ٤ ام نگهداری است. این نتایج نشان می‌دهد عمر انبارمانی میوه‌ها در جعبه‌های پیش‌سرمایش و پلی‌اتیلنی با فیلم، به مراتب بیش از جعبه‌های بدون فیلم است. هر چند اثر متقابل دو عامل اصلی دوز پرتودهی و زمان نگهداری روی شاخص پوسیدگی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ولی مطالعه بیشتر اثرات آنها و مقایسه آنها با تیمار شاهد بدون پرتودهی (دوز صفر) نشان داد که پوسیدگی در همه تیمارها در طول زمان رشد می‌یابد ولی میزان پوسیدگی و آهنگ افزایش آن در نمونه‌های تیمار شده به وسیله اشعه گاما، به مراتب کمتر از نمونه شاهد بود (شکل ٤-II).

به عنوان مثال متوسط شاخص پوسیدگی پس از ۱۲ روز نگهداری در نمونه‌های پرتودهی شده به حدود ۲ رسید درحالی که در نمونه شاهد فقط ٤ روز طول کشید تا شاخص پوسیدگی به مقدار ۲ برسد. پرتوهای گاما از طریق صدمه به DNA میکروارگانیسم‌ها، آن‌ها را غیر فعال می‌سازند و میزان کنترل‌کنندگی آن، به شدت پرتودهی بستگی دارد. هم‌چنین مقایسه بین دوزهای مختلف پرتودهی نیز نشان داد که در دوز ۲ کیلوگری میزان پوسیدگی کمتر از سایر دوزهای مورد مطالعه می‌باشد. دوزهای پایین‌تر از ۲ کیلوگری احتمالا توانایی پاک‌سازی مناسب میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا را ندارد و به همین دلیل میزان پوسیدگی نمونه‌های توت‌فرنگی رقم گاویتا در پایان زمان نگهداری کمی بیشتر بود. کاهش اثر بازدارنگی اشعه در دوزهای بالا احتمالا به خاطر آسیبی است که پرتو به بافت میوه وارد می‌سازد و به عنوان عامل ثانویه فساد محسوب می شود (مستوفی و اصغری، ۱۳۸۹). بنابراین در دوزهای بالاتر از ۲ کیلوگری به علت قدرت اشعه در تخریب دیواره سلولی گسترش پوسیدگی در سطح میوه افزایش یافته است ولی اثر آن معنی‌دار نمی‌باشد. هم‌چنین پرتوها از طریق فعال کردن مکانیسم‌های دفاعی باعث القای مقاومت در برابر عوامل قارچی می‌شود القای مقاومت از طریق فعال کردن یک‌سری مواد ضد قارچی بنام فیتوالکسین‌ها صورت می‌گیرد که متابولیت‌های ثانویه گیاهی بوده و در کنترل فساد محصولات کشاورزی و باغی نقش دارند (گونزالس و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج فوق با نتایج آزمایش‌های پژوهشگران متعددی هم‌خوانی دارد. مستوفی و اصغری (۱۳۸۹) گزارش کردند که پرتودهی توت‌فرنگی با اشعه فرابنفش از رشد کپک خاکستری جلوگیری می‌کند. این در حالی است که قدرت میکروب‌کشی پرتوهای گاما به مراتب بیشتر از پرتوهای UV است. بر اساس یافته‌های پانوا و همکاران (۲۰۲۰) توسعه فساد قارچی در پایان ۲۰ روز نگهداری توت‌فرنگی‌های پرتودهی شده با دوزهای ۰/۵ و ۱ کیلوگری اشعه گاما، به ترتیب ۳۱ و ٤۳ درصد نسبت به نمونه‌های پرتودهی نشده کمتر بود.

تغییرات سفتی بافت توت‌فرنگی

تاثیر هر سه عامل نوع جعبه، دوز پرتودهی و زمان نگهداری و نیز اثر متقابل زمان نگهداری و دوز پرتودهی روی مقدار سفتی بافت توت‌فرنگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. میوه‌های نگهداری شده در جعبه‌های مختص پیش‌سرمایش (P)

و جعبه‌های پلی‌اتیلنی با فیلم (S) دارای بیشترین سفتی بودند (به ترتیب ۰/۹۷۵ و ۰/۹٦۸ نیوتن) و کمترین مقدار سفتی در میوه‌های ذخیره شده در جعبه پلی‌اتیلنی بدون فیلم با مقدار ۰/۹۲ نیوتن به‌دست آمد (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهد که میوه‌های ذخیره شده در جعبه پیش‌سرمایش ضمن اینکه دارای کمترین مقدار پوسیدگی هستند متناسب با آن، به دلیل سطح باز کمتر این جعبه‌ها نسبت به جعبه‌های بدون فیلم و تماس کمتر با هوای سردخانه، کمتر دچار تغییرات بافت شده و سفتی خود را بیشتر حفظ نموده‌اند. دوز پرتودهی نیز تاثیر معنی‌داری روی سفتی بافت میوه‌ها داشت. بیشترین سفتی در دوز ۱ و ۲ کیلوگری و کمترین مقدار آن در دوز ۳ کیلوگری به مقدار ۰/۹۱۸ نیوتن به‌دست آمد. بنابراین با توجه به اینکه کاربرد شدت ۳ کیلوگری روی شاخص پوسیدگی تاثیر معنی‌داری نداشت (شکل II-٤) و تا حدودی نسبت به ۲ شدت دیگر شاخص پوسیدگی هم بیشتر بود و از طرف دیگر مقدار سفتی بافت هم در شدت ۳ کیلوگری کمتر است (جدول ٤)، بنابراین هیچ توجیحی برای کاربرد شدت ۳ کیلوگری از نظر این دو مشخصه وجود ندارد. هم‌چنین نتایج نشان داد که در طول مدت نگهداری، میزان سفتی محصول کاهش یافته است که امری طبیعی است (جدول ۳). بیشترین میزان سفتی مربوط به روز اول نگهداری به مقدار ۱/۲۱٤ نیوتن و کمترین مقدار آن مربوط به روز شانزدهم نگهداری (۰/۷٤ نیوتن) بود که کاهش ۳۹ درصدی سفتی در طول نگهداری ملاحظه می‌شود. روند کاهش سفتی از روز ۱۲ام نگهداری به بعد، بسیار سریع می‌باشد.

Table 3- Mean comparison of the average effect of irradiation dose on firmness, TSS, TA, and pH of strawberry

Irradiation Dose (kGy)	Firmness (N)	TSS (%)	TA (g/100ml)	pH
1	0.965 [a]	6.310 [b]	1.260 [b]	3.220 [a]
2	0.966 [a]	6.330 [b]	1.270[b]	3.210 [a]
3	0.918 [b]	6.590 [a]	1.330 [a]	3.170 [b]

Different letters indicate a significant difference at the probability level of 1%

تغییرات سفتی بافت توت‌فرنگی تابعی از دوز پرتودهی و زمان نگهداری در شکل ۵ نشان شده است. در همه دوزهای پرتودهی مورد مطالعه با افزایش زمان نگهداری از سفتی نمونه‌ها کاسته شده است. تا روز ۱۲ام نگهداری محصول، مقدار سفتی محصول شاهد بدون پرتودهی، بیشتر از مقدار سفتی محصول پرتودهی شده بود ولی بعد از روز ۱۲، تفاوتی بین سفتی شاهد با بقیه تیمارها وجود نداشت. مقدار سفتی از روز ۱۲ به بعد کاهش زیادی دارد. بنابراین به دلیل اینکه سفتی جزء خواص کیفی اصلی محصول بود و از دیدگاه مشتری از جایگاه بالاتری دارد، بنابراین کاربرد شدت ۳ کیلوگری و نگهداری بیشتر از ۱۲ روز توجیه اقتصادی و فنی ندارد.

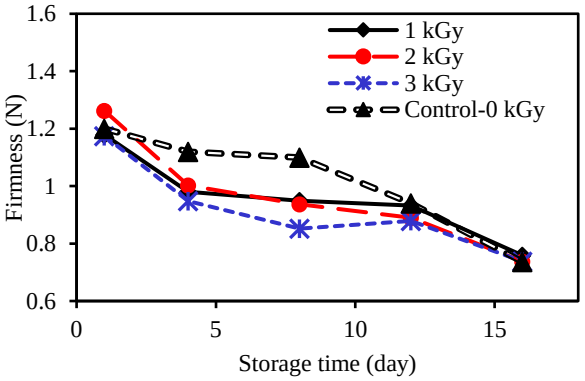

Figure 5- Variations in strawberry firmness during the storage time as a function of irradiation dose

همایونی‌راد و همکاران (۱۳۹۳) توت‌فرنگی را با پرتو الکترونی با شدت صفر، ۱ و۲ کیلوگری تحت تابش قرار دادند. نتایج آنها حاصل نشان داد که با افزایش دوز پرتودهی استحکام میوه کاهش می‌یابد. هم‌چنین در مدت یک روز بعد از اشعه‌دهی، پکتین محلول در آب نمونه‌های اشعه‌دهی شده با دوز ۱و۲ کیلوگری افزایش و مقدار اگزالات نمونه ها کاهش یافته بود.

کاهش سفتی میوه‌های پرتودهی شده به‌دلیل تجزیه ترکیبات سلولی مثل پکتین، همی‌سلولز، سلولز، تغییرات غشای سلولی و از دست دادن تورژسانس سلولی بود. مورنو و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که اشعه‌دهی در دوزهای بیش از ۱/٦ کیلوگری موجب تغییرات بافتی نامطلوب در زغال اخته شد. بوینتن و همکاران (۲۰۰٦) نیز نشان دادند که اشعه‌دهی با دوزهای کمتر از ۱ کیلوگری بافت قطعات تازه‌ی طالبی را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. پانوا و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند سفتی بافت توت‌فرنگی‌های اشعه‌دهی شده با پرتو گاما با دوز ۱ کیلوگری، کمتر از نمونه‌های پرتودهی شده با دوز ۰/۵ کیلوگری بود. مندس و همکاران (۲۰۲۰) نیز کاهش سفتی گوجه‌فرنگی‌های گیلاسی پرتودهی شده با اشعه گاما نسبت به نمونه‌های شاهد را گزارش نمودند. آنان نشان دادند تفاوت بین سفتی نمونه‌های پرتودهی شده با دوزهای ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ کیلوگری تا روز ۷ ام بعد از پرتودهی بیشتر بود و استفاده از دوزهای بالاتر اشعه گاما موجب کاهش بیشتر سفتی گوجه‌فرنگی شد. ولی در پایان ۲۸ روز نگهداری، تفاوت معنی‌داری بین سفتی نمونه‌های پرتودهی شده با دوزهای مختلف اشعه گاما وجود نداشت. نتایج تحقیقات آنها، هم سو با نتایج تحقیق حاضر بیانگر این است که دوزهای بالا اشعه موجب تخریب بافت و کاهش سفتی محصولات می‌شود.

محتوی اسید آسکوربیک

محتوی اسید آسکوربیک میوه‌های توت‌فرنگی تحت تاثیر نوع بسته‌بندی و مدت زمان نگهداری قرار داشت (جدول ۱). مقدار اسید آسکوربیک میوه‌های نگهداری شده در جعبه‌های پیش‌سرمایش و پلی‌اتیلنی با فیلم، بیشتر از میوه‌های نگهداری شده در جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون فیلم بود که علت آن می‌تواند شرایط بهینه نگهداری در این جعبه‌ها و حفظ کیفیت میوه‌ها باشد که از زایل شدن محتوی اسید اسکوربیک جلوگیری کرده است (جدول ۲). بیشترین مقدار اسید آسکوربیک در روز اول نگهداری به مقدار ۷۱/۳۲ و کمترین مقدار آن در روز شانزدهم نگهداری به مقدار ۳۲/٦٦ میلی‌گرم در صد گرم ثبت شد (جدول ۳). اسید آسکوربیک یکی از آنتی‌اکسیدان‌های مهم توت‌فرنگی است که در طول مدت نگهداری میوه‌ها، مقدار آن افت پیدا می‌کند که دلیل آن مصرف این ویتامین بعنوان دهندهٔ الکترون به اکسیدان‌ها برای خنثی کردن رادیکال‌های آزاد می‌باشد (سمیموف، ۱۹۹۵).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تفاوتی بین محتوی اسید اسکوربیک میوه‌های پرتودهی شده با دوزهای مختلف پرتو-دهی ۱، ۲ و ۳ کیلوگری وجود ندارد. ولی نمونه‌های شاهد دارای اسید اسکوربیک بیشتری نسبت به نمونه‌های پرتودهی شده می‌باشند (شکل ٦-I). هرچند در انتهای مدت نگهداری (روز ۱٦ام) میزان اسید اسکوربیک همه نمونه‌ها با یکدیگر برابر بود ولی در روزهای ۸ام و ۱۲ام نگهداری، نمونه‌های شاهد دارای اسید اسکوربیک بیشتری بودند. بنابراین از دیدگاه سفتی و پوسیدگی و هم از دیدگاه محتوی اسید اسکوربیک، کاربرد ۳ کیلوگری و نگهداری بیشتر از ۱۲ روز توجیه فنی، اقتصادی و کیفی ندارد.

کاهش محتوی اسید آسکوربیک میوه‌ها در اثر پرتودهی در برخی از میوه‌ها نیز گزارش شده است. پرتودهی با دوز ۰/۷ کیلوگری اثر خاصی بر محتوی اسید آسکوربیک گریپفروت زودرس نداشت، اما گریپفروت دیررس زمانی‌که در معرض اشعه با دوز ۰/۲ کیلوگری و بیشتر از آن قرار گرفت متحمل کاهش محسوس اسید آسکوربیک بعد از ۳۵ روز نگهداری شد (پاتیل و همکاران، ۲۰۰٤). مندس و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با دوزهای ۰/۵ و ۱ کیلوگری اشعه گاما، در روز نخست پرتودهی از محتوی اسید آسکوربیک بالاتری نسبت به نمونه‌های شاهد برخوردار بودند، اما با افزایش مدت زمان نگهداری، محتوی اسید آسکوربیک در همه نمونه‌ها (اشعه‌دهی شده با دوزهای مختلف و شاهد) یکسان بود. فن و سوکورای (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که تخریب اسید اسکوربیک با افزایش میزان دوز پرتودهی افزایش می‌یابد.

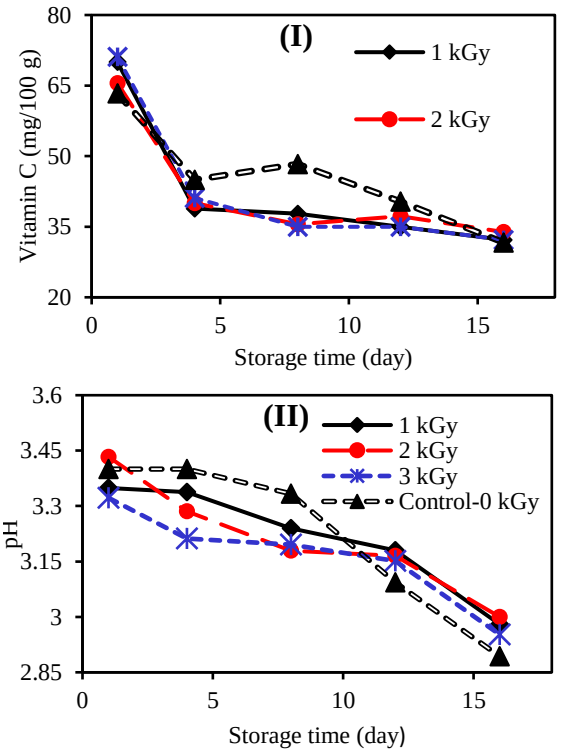

Figure 6- Variations in I: ascorbic acid and II: pH of strawberry during storage as a function of irradiation dose

میزان اسیدیته کل

از میان فاکتورهای مورد مطالعه اثر ساده دوز پرتودهی و زمان نگهداری و اثر متقابل دوز پرتودهی با زمان نگهداری، در سطح احتمال ۱٪ بر میزان اسیدیته کل (pH) آب‌میوه توت‌فرنگی معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین pH با مقدار ۳/۲۲ در دوز پرتودهی ۱ و ۲ کیلوگری مشاهده شد (جدول ٤). در طول دوره نگهداری میزان pH نمونه‌ها روند نزولی داشت به‌طوری‌که در پایان روز شانزدهم، میزان pH به ۲/۹۷ افت پیدا کرد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین تاثیر متقابل دوز پرتودهی و زمان نگهداری نیز نشان داد بیشترین مقدار pH مربوط به تیمار دوز ۲ کیلوگری در روز اول بعد از پرتودهی (۳/٤٤) و کمترین مقدار آن با مقدار ۲/۹٦ مربوط به تیمار دوز ۳ کیلوگری در روز شانزدهم نگهداری بود (شکل ٦-**II**). به‌طورکلی می‌توان بیان نمود که تا روز ۸ام نگهداری، تیمارهای ۱ و ۲ کیلوگری دارای pH بیشتری هستند ولی بعد از آن تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود ندارد. تا روز ۸ام نمونه‌های شاهد که پرتودهی نشده بودند دارای pH بیشتری بودند ولی بعد از آن تفاوتی با نمونه‌های پرتودهی شده نداشتند.

این نتایج با یافته‌های استیونس و همکاران (۱۹۷۸) و هم‌چنین مستوفی و اصغری (۱۳۸۹) مطابقت دارد. آنها نشان دادند که با افزایش شدت پرتودهی با اشعه‌ی فرابنفش میزان pH آب میوه در نمونه‌های هلو و توت‌فرنگی کاهش پیدا می‌کند. این در حالی است که پانوا و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که پرتودهی با اشعه گاما اثر معنی‌داری روی pH توت‌فرنگی ندارد. نتایج مشابهی نیز توسط مندس و همکاران (۲۰۲۰) در مورد pH گوجه‌فرنگی گیلاسی گزارش شده است.

محتوی کل مواد جامد محلول (TSS)

همانند سایر خصوصیات کیفی مورد مطالعه، تاثیر پارامترهای مورد مطالعه روی محتوی کل مواد جامد محلول (TSS) نیز معنی‌دار بود (جدول ۱). TSS در جعبه‌های پلی‌اتیلنی بدون فیلم بیشترین مقدار (٦/٥٨ درصد) و در جعبه پلی‌اتیلنی با فیلم و جعبه‌های پیش‌سرمایش کمترین مقدار بود (جدول ۲). جعبه پلی‌اتیلنی با فیلم و جعبه‌های پیش‌سرمایش در TSS میوه توت‌فرنگی، تاثیر بهتری داشتند. به عبارت دیگر نوع بسته‌بندی در TSS اثرگذار بود. نوع بسته‌بندی با کنترل میزان تنفس و تعرق نمونه‌ها خصوصیات کیفی میوه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. دوز پرتودهی نیز اثر معنی‌داری روی TSS نمونه‌ها داشت به‌طوری‌که با افزایش دوز پرتودهی مقدار TSS افزایش یافت. در دوزهای ۱ و ۲ کیلوگری مقدار TSS به ترتیب برابر ٦/۲۹ و ٦/۲۳ درصد بود که بین آنها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی در دوز ۳ کیلوگری مقدار TSS برابر ٦/٥۹ درصد بود (جدول ٤). همان‌طوری‌که قبلا بیان شد استفاده از دوز ۳ کیوگری به دلیل اثرات منفی آن روی سفتی توجیه فنی ندارد. با افزایش مدت نگهداری توت‌فرنگی TSS افزایش یافت. به طوری‌که بیشترین مقدار آن (٦/۸٥ درصد) در روز ۱٦ام ملاحظه شد (جدول ۳). به این ترتیب جعبه پلی‌اتیلنی با فیلم و جعبه‌های پیش‌سرمایش و دوز پرتودهی ۱ و ۲ کیلوگری در TSS میوه توت‌فرنگی، تاثیر بهتری داشتند.

پانوا و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که TSS توت‌فرنگی تا ۱٥ روز نگهداری سرد به دلیل مصرف قند کاهش و بعد از

آن به دلیل کاهش رطوبت محصول افزایش می‌یابد. تفاوت قابل ملاحظه‌ای در TSS میوه‌های پرتودهی شده با دوزهای مختلف اشعه گاما با میوه‌های شاهد وجود نداشت. مندس و همکاران (۲۰۲۰) نیز به نتایج مشابهی در خصوص **TSS** گوجه‌فرنگی دست یافتند.

میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

میزان اسیدیته قابل تیتراسیون توت‌فرنگی تحت تاثیر دوز پرتودهی و زمان نگهداری قرار دارد (جدول ۱). هم‌چنین اثر دوز پرتودهی در زمان نگهداری نیز معنی‌دار بود. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که TA نمونه‌ها در طول شانزده روز نگهداری روند نزولی داشت و بیشترین TA در روز اول (۱/٤٥ گرم در صد میلی‌لیتر) و کمترین مقدار آن در روز شانزدهم (۱/۰٦ گرم در صد میلی‌لیتر) ثبت گردید (جدول ۳). نتایج مطالعات حاکی از آن است که TA میوه توت‌فرنگی در تمام سطوح دوزهای پرتودهی از گروه شاهد بیشتر بود و مقدار آن با افزایش دوز پرتودهی افزایش یافت (جدول ٤). به‌طوری‌که بیشترین مقدار مربوط به دوز ۳ کیلوگری بود (۱/۳۳ گرم در صد میلی‌لیتر). مطالعه اثر متقابل دوز پرتودهی و زمان نگهداری روی TA نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب با مقادیر ۱/۵۱ و ۱/۰۲ گرم در صد میلی‌لیتر به ترتیب مربوط به تیمار دوز ۲ کیلوگری در روز اول و ۲ کیلوگری در روز شانزدهم بعد از پرتودهی بود (شکل۷-I). به این ترتیب دور پرتودهی ۲ کیلوگری برای پرتودهی میوه‌ها مناسب‌تر می‌باشد. نتایج هم‌چنین نشان داد TA میوه‌های پرتودهی شده همواره بیشتر از میوه‌های گروه شاهد بود. نتایج تحقیقات پانوا و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد TA توت‌فرنگی‌های پرتودهی شده با اشعه گاما بیشتر از نمونه‌های شاهد بود ولی تفاوت معنی‌داری در TA میوه‌های پرتودهی شده با دوز ۰/۵ و ۱ کیلوگری وجود نداشت. مندس و همکاران (۲۰۲۰) نیز بیشترین TA گوجه‌فرنگی را در پرتودهی با دوز ۱ کیلوگری اشعه گاما تا روز ۷ ام بعد از پرتودهی مشاهده نمودند. اما در پایان ۲۸ روز نگهداری، تفاوت معنی‌داری بین TA نمونه‌های تیمارشده با دوزهای مختلف و تیمار شاهد وجود نداشت.

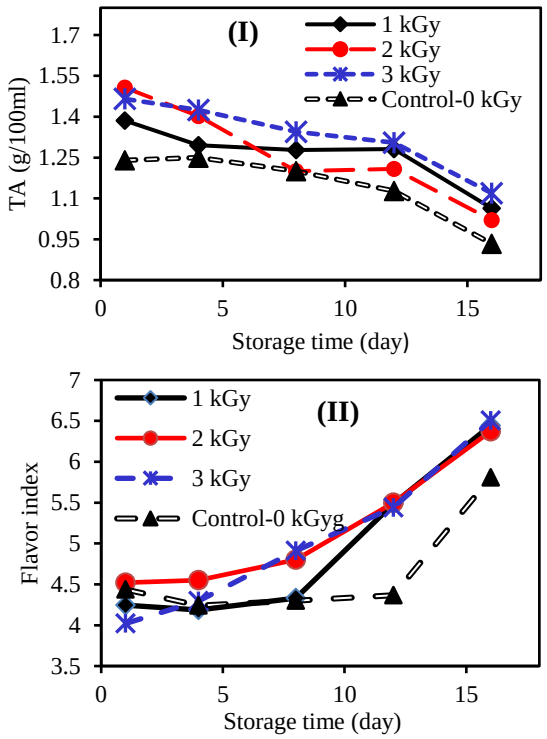

Figure 7- Variations of I: TA and II: Flavor index of strawberry during storage as a function of irradiation dose

شاخص طعم توت‌فرنگی

از نسبت TSS روی TA به عنوان شاخص طعم استفاده گردید که مطالعه این شاخص بهتر از مطالعه انفرادی TSS و TA می‌تواند تغییرات طعم میوه‌ها را نشان دهد. همان‌طوری‌که در شکل ۷-II نشان داده شده است با افزایش زمان نگهداری، شاخص طعم توت‌فرنگی افزایش یافت. شاخص طعم در میوه‌های پرتودهی‌شده بالاتر از نمونه‌های شاهد بود. هم‌چنین بعد از روز ۱۲ام نگهداری تفاوت محسوسی بین شاخص طعم میوه‌ها در دوزهای مختلف پرتودهی مشاهده نشد. بنابراین با توجه به اینکه دوز پرتودهی ۳ کیلوگری قبلا توصیه نشده بود، می‌توان دوز پرتودهی ۲ کیلوگری و مدت زمان نگهداری ۱۲ روز را برای شاخص طعم مطلوب توصیه نمود.

مندس و همکاران (۲۰۲۰) گزارش نمودند که شاخص طعم گوجه‌فرنگی در نمونه‌های پرتودهی شده با دوز ۱ کیلوگری اشعه گاما در روز ۷ ام بعد از پرتودهی، کمتر از نمونه‌های تیمار شده با دور ۰/۲۵ و ۰/۵ کیلوگری بود. اما در پایان ۲۸ روز نگهداری، تفاوت معنی‌داری بین شاخص طعم

نمونه‌های تیمارشـــده با دوزهای مختلف اشـــعه گاما وجود نداشت.

نتیجه گیری

علاوه بر طعم، وضعیت ظاهری محصول مهم‌ترین شاخص ارزیابی بازارپسندی محصول است و وجود هر گونه علایم آلودگی و پوسیدگی و نرم‌شدن میوه باعث کاهش بازارپسندی محصول می‌شود. بنابراین هر عاملی که سرعت پیری و فساد را کاهش داده و از توسعه علایم پوسیدگی جلوگیری کند باعث بازارپسندی محصول خواهد شد. پرتودهی محصولات کشاورزی با اشعه گاما یک روش پرکاربرد برای کنترل عوامل بیماری‌زا و فساد می‌باشد. مطالعه تاثیر هم‌زمان نوع بسته‌بندی، دوز پرتودهی با اشعه گاما و مدت زمان نگهداری روی خصوصیات کیفی و کنترل پوسیدگی نشان داد که همه این عوامل اثر معنی‌داری بر خواص مورد مطالعه دارند. نتایج تحقیق نشان داد که پوسیدگی و TSS میوه‌های نگهداری‌شده در جعبه‌های پیش‌سرمایش و پلی‌اتیلنی با فیلم، در طول مدت نگهداری از مقادیر پایین و سفتی و اسید اسکوربیک بالایی نسبت به سایر تیمارها برخوردار بودند. پرتودهی با دوز ۲ کیلوگری نیز موجب حفظ بهتر سفتی، TSS و pH میوه‌ها شده و میزان پوسیدگی میوه‌ها را کاهش داد. TA میوه‌ها نیز در این دوز پرتودهی، کمتر از سایر دوزهای مورد مطالعه بود. میوه‌های نگهداری شده تا روز ۸ام و ۱۲ام نگهداری از کیفیت خوبی برخوردار بوده و میزان پوسیدگی آنها کمتر از ۱/۸٦ بود. در نهایت پرتودهی با اشعه گاما با دوز ۲ کیلوگری و بسته‌بندی در جعبه پیش‌سرمایش و یا پلی‌اتیلن با فیلم پلیمری به عنوان بهترین تیمار برای نگهداری توت‌فرنگی تا ۱۲ روز پیشنهاد شد.

References

مستوفی ی و اصغری مرجانلو ا، ۱۳۸۹. تأثیر پرتو تابی با UVC بر کنترل پوسیدگی خاکستری و کیفیت پس از برداشت توت فرنگی (سلوا). مجله علوم باغبانی ایران، دوره ٤١، شماره ١. صفحه‌های ٣٩ تا ٤٦.

همایونی‌رادع و طبیبیان م، ۱۳۹۳. افزایش ماندگاری قطعات تازه میوه‌ها وسبزیجات بوسیله‌ی پرتودهی. اولین همایش کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم صنایع غذایی و کشاورزی، دانشگاه تبریز.

Abdullah R, Rashid S, Naz Sh, Iqtedar M and Kaleem A. 2018. Postharvest preservation of citrus fruits (Kinnow) by gamma irradiation and its impact on physicochemical characteristics. Progress in Nutrition 20 (1): 133-145.

Ayala-Zavala, JF, Wang ShY, Wang ChY and Gonzalez-Aguilar GA. 2007. Oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. Food Technology and Biotechnology. 42(2): 166-173.

Antonio AL, Fernandes A, Bento A, Ferreira A, Trigo MJ, Botelho ML, Quintana B and Ramalhosa E. 2013. Gamma irradiation preservation of chestnut fruits: effects of color and texture. European Scientific Journal 3: 1857 – 7881.

Aziz NH, Souzan RM and Shahin Azza A. 2006. Effect of g-irradiation on the occurrence of pathogenic microorganisms and nutritive value of four principal cereal grains. Applied Radiation and Isotope 64: 1555–1562.

Bourne MC. 2002. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Elsevier Science and Technology Books.

Boynton BB, Welt BA, Sims CA, Balaban MO, Brecht JK and Marshall MR. 2006. Effects of Low-dose Electron Beam Irradiation on Respiration, Microbiology, Texture, Color, and Sensory Characteristics of Fresh-cut Cantaloupe Stored in Modified-atmosphere Packages. Journal of Food Science 71: 149-155.

Chakraverty A and Paul SR. 2001. Postharvest Technology: Cereals, Pulses and Vegetables. Sci. Publ., India.

Fan X and Sokorai KJB. 2011. Changes in quality, liking, and purchase intent of irradiated fresh-cut spinach during storage. Journal of Food Science 76: 363-368.

Ferrua MJ and Singh RP. 2011. Improved airflow method and packaging system for forced-air cooling of strawberries. International Journal of Refrigeration 34: 1162–1173.

George DS, Razali Z, Santhirasegaram V and Somasundram C. 2015. Effects of ultraviolet light (UV-C) and heat treatment on the quality of fresh-cut Chokanan mango and Josephine pineapple. Journal of Food Science 80(2): 426-434.

Gonzalez A, Zavaleta R and Tiznado ME. 2007. Improving postharvest quality of mango Haden by UV-C treatment. Postharvest Biology and Technology 45: 108-116.

Haider ST, Azam M, Naz S, Hussain S, Ali S, Liaquat M, Umer MA, Asif M, Nasir M, Mustafa Z, Hussain R, Iqbal MA, Masih Sh, Akram MT and Naveed Kh. 2023. Postharvest application of gamma irradiation affects fruit quality and antioxidant enzymes activities of 'kinnow' mandarin fruits during cold storage. Food Science and Technology 43: 1-10.

Jabin T, Kamal S, Islam Sh, Razu MH, Paul G K, Karmaker P, Huda M, Rahman M, Moniruz zaman M, Uddin M S, Saleh M A, Khan M and Zaman Sh. 2023. Effect of gamma irradiation on chemical composition, antioxidant activity, antibacterial activity, shelf life, and cytotoxicity in the peels of two mango varieties grown in Bangladesh. Arabian Journal of Chemistry 16: Article 104708.

Kader AA. 2002. Postharvest Technology of Horticultural Crops, third ed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publication, Oakland, CA. p. 3311.

Kirkin C and Gunes G. 2022. Quality of thyme (Thymus vulgaris L.) and black pepper (Piper nigrum L.) during storage as affected by the combination of gamma-irradiation and modified atmosphere packaging. South African Journal of Botany 150: Article 978985.

Kirkin C, Mitrevski B, Gunes G and Marriott PJ. 2014. Combined effects of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on quality of some spices. Food Chemistry 154: 255-261.

Lu Q, Yang D and Xue Sh. 2023. Effects of postharvest gamma irradiation on quality maintenance of Cara Cara navel orange (Citrus sinensis L. Osbeck) during storage. LWT - Food Science and Technology 184: Article 115017.

Mendes KF, Mendes KF, Guedes SF, Santos Silva LCA and Arthur V. 2020. Evaluation of physicochemical characteristics in cherry tomatoes irradiated with 60Co gamma-rays on post-harvest conservation. Radiation Physics and Chemistry 177: 1-9.

Moreno MA, Castell-Perez ME, Gomes C, Da Silva PF and Moreira RG, 2007. Quality of electron beam irradiation of blueberries (Vaccinium corymbosum L.) at medium dose levels (1.0–3.2 kGy). LWT - Food Science and Technology 40: 1123–1132.

Nalbandi H and Seiiedlou S. 2020. Sensitivity analysis of the precooling process of strawberry: Effect of package designing parameters and the moisture loss. F*ood Science and Nutrition* 8: 2458-2471.

Nalbandi H, Seiiedlou S, Ghassemzadeh HR and Ranjbar F. 2016. Innovative parallel airflow system for forced-air cooling of strawberries. Journal of Food and Bioproducts Processing 100: 440–449.

Panou AA, Karabagias IK and Riganakos KA. 2020. Effect of Gamma-Irradiation on Sensory Characteristics, Physicochemical Parameters, and Shelf Life of Strawberries Stored under Refrigeration 20(2): 191–206.

Patil BS, Vanamala J and Hallman G. 2004. Irradiation and storage influence on bioactive components and quality of early and late season ''Rio Red'' grapefruit (Citrus) paradisi Macf. Postharvest Biology and Technology 34: 53–64.

Premi Devi M, Sahoo MR, Kuna A, Deb P, Dasgupta M and Prakash N. 2018. Effect of gamma irradiation on nutritional properties and antinutrient contents of Citrus jambhiri Lush. Fruits. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 7(4): 2833-2836

Smirnoff N. 1995. Antioxidant systems and plant response to the environment, In: Smirnoff N, ed. Environment and plant metabolism. Flexibility and acclimation. Oxford: Bios Scientific Publishers. Pp: 217-243.

Stevens C, Khan VA, Lu JY, Wilson CL, Pusey PL, Kabwe MK, Igwegbe ECK, Chalutz E and Droby, S. 1998. The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast micro flora of peaches. Crop Protection 17(14): 75-84.

Ullah Khan Q, Mohammadzai I, Shah Z, Ullah I, Khattak TN, Noreen H and Hassan W. 2018. Effect of Gamma Irradiation on Nutrients and Shelf Life of Peach (Prunus persical) Stored at Ambient Temperature. The Open Conference Proceedings Journal 9(1): 8-15

Vanamala J, Cobb G, Loaiza J, Yoo K, Pike LM and Patil BS. 2007. Ionizing radiation and marketing simulation on bioactive compounds and quality of grapefruit (Citrus paradisi c.v. Rio Red). Food Chemistry 105: 1404–1411.

Wang Z, Ma Y, Zhao G, Liao X, Chen F, Wu J, Chenand J and Hu X. 2006. Influence of gamma irradiation on enzyme, microorganism, and flavor of cantaloupe (Cucumis melo L.) juice. Journal of Food Science 71(6): 215–220.

Zhang Q, Yang W, Liu J, Liu H, Lv Z, Zhang Chen D, Zhonggao J. 2021. Postharvest UV-C irradiation increased the flavonoids and anthocyanins accumulation, phenylpropanoid pathway gene expression, and antioxidant activity in sweet cherries (Prunus avium L.). Postharvest Biology and Technology 175, Article 111490.