Journal of Vegetables Sciences, Spring & Summer 2024, Vol 8, No 15(1), Pages 19-38

Ilam University

doi:10.22034/IUVS.2023.1987227.1269 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

The effect of gamma radiation intensity and time on storage and quality of capsicum (*Capsicum annuum* L.)

Majid Baluti Dehkordi [1,*], Gholamreza Rabiei [2], Mohammad Rabiei [3], Morteza Raisi [4]

1- M.Sc., Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2- Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3- Assistant Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
4- Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

[*]**Corresponding author:** majidbaloutidehkordi@gmail.com

(**Received:** 24 January 2023 **Revise:** 24 February 2023 **Accepted:** 06 March 2023)

Extended Abstract

1. **Introduction:** Nowadays, healthy and environmentally compatible methods are necessary for use in post-harvest technology of fruits and vegetables. Sweet bell pepper with the scientific name *Capsicum annuum* L. is one of the prominent vegetables of the solanaceae family. Sweet bell pepper is an important agricultural crop, which has received much attention not only because of its economic value, but also because of its natural colors, antioxidant compounds, and vitamins A, C, and E. Considering the importance of this plant in terms of antioxidant and vitamin C levels and the problems after harvesting bell pepper fruit including shriveling, loss of moisture and fungal contamination, the effect of gamma radiation on this product, the present research was conducted in order to investigate the characteristics The quality and life after harvesting of sweet pepper and the effect of gamma radiation on this product were done.
2. **Materials and Methods:** This research aims to investigate the effect of gamma radiation on the post-harvest life and quality of "Nirvin" sweet pepper in the red stage and during five weeks of keeping the fruits at a temperature of 7±1 degrees Celsius and a relative humidity of 85 to 90% was studied as a factorial package in a completely randomized design with three replications. The experimental treatments included gamma radiation at three levels (zero, 400 and 800 Gy) and storage time at five levels (the first week, the second week, the third week, the fourth week and the fifth week). The studied characteristics of sweet pepper including weight loss percentage, number of rotten fruit, anthocyanin, phenol, ascorbic acid, total acidity, titratable acidity and carotenoid were evaluated. Data were analyzed using SAS version 9.4 software and mean comparison was done through Duncan's multi-range test at a one percent probability level.
3. **Results and Discussion:** The results of this experiment showed that treatment with gamma rays, especially the dose of 800 Gy, increased total acidity (0.75), total carotenoid (2.61) and total phenol (0.75) and decreased anthocyanin (1.14). and ascorbic acid (2.27) times compared to the control treatment, but the dose of 400 grams, as opposed to 800 grams, had a very effective effect in reducing the microbial load and, as a result, reducing decay and reducing the weight and freshness of fruits. Since the appearance quality and quality attributes of agricultural products are the most obvious indicators for the consumer and marketability, therefore, any factor that slows down the aging rate and prevents the growth of decay factors will maintain the appearance and marketability of the product. Any deficiency in the quality characteristics and appearance of the products such as rotting, softness, discoloration, cracking, etc., causes a sharp decrease in the product's economic value and marketability. During the storage process and with the passage of time and the increase of this period, the quality characteristics of the products decrease, and with the increase of this period, the amount of ascorbic acid, anthocyanin, and the firmness of the fruit decreased, especially in the dose of 800 grams. The use of gamma rays was effective on the quality characteristics of bell peppers. Especially in the dose of 400 grams, which prevented the spread and spread of pathogens such as fungi, bacteria, and microbes, which effectively reduced decay and maintained the quality of the product, which resulted in marketability. and provide customer satisfaction. It should also be noted that the use of gamma rays can have negative effects in addition to positive effects, and the appropriate dose should be selected during different tests. Pathogens and softness and spoilage, which can be due to the destruction of pectin compounds in oxalate, therefore, the appropriate dose for

different products and varieties is different and must be determined through different tests, and it still requires tests and More reviews should be done on different products

4. **Conclusion:** The results of this research showed that the use of gamma ray irradiation has a positive effect on the quality characteristics and life after harvesting of bell peppers. Since the treatment with gamma rays has a very good effect on maintaining freshness and freshness and eliminating pathogenic factors and almost preserves the nutritional properties of the product, and on the other hand, it is available nowadays and the cost is very low. In terms of economy, it imposes more on the producer or exporter of different products compared to other methods, so it is more suitable than other methods.

Keywords: Ascorbic acid, acidity, marketability, total phenol

Citation: Baluti Dehkordi, M., Rabiei, G., Rabiei, M. & Raisi, M. (2024). The effect of gamma radiation intensity and time on storage and quality of capsicum (*Capsicum annuum* L.)*Journal of Vegetables Sciences*, 15(1), 19-38. doi:10.22034/IUVS.2023.1987227.1269

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال۸ ، دوره ۱۵، شماره ۱، بهار و تابستان۱۴۰۳، صفحات (۳۸-۱۹)

دانشگاه ایلام شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi:10.22034/IUVS.2023.1987227.1269

اثر شدت و زمان پرتودهی گاما، بر انبارمانی و کیفیت فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum L.*)

مجید بلوطی دهکردی*[۱]، غلامرضا ربیعی[۲]، محمد ربیعی[۳]، مرتضی رییسی [۴]

۱- کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳- استادیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۴- ستادیارگروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

*نویسنده مسئول: majidbaloutidehkordi@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵)

چکیده

امروزه روش‌های سالم و سازگار با محیط‌زیست برای استفاده در فناوری پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها لازم می‌باشد. فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) یکی از سبزی‌های شاخص خانواده سیب‌زمینی است. این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر اشعه گاما بر عمر پس از برداشت و کیفیت فلفل دلمه‌ای رقم نیروین (Nirvin) در مرحله قرمز رنگی و در طول پنج هفته نگهداری میوه‌ها در دمای ۱±۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت‌نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد در بسته‌بندی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محل آزمایشگاه‌های گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۴۰۰ مورد مطالعه قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل پرتو گاما در سه سطح (صفر، ۴۰۰ و ۸۰۰ گری) و زمان انبارمانی در پنج سطح (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ هفته) بود. صفات مورد بررسی فلفل دلمه‌ای شامل درصد کاهش وزن، تعداد میوه پوسیده، آنتوسیانین، فنل، اسیدآسکوربیک، pH، اسیدیته قابل تیتر و کاروتنوئید ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که تیمار با اشعه‌ی گاما به‌ویژه دوز ۸۰۰ گری باعث افزایش pH آب میوه (۰/۷۵)، کاروتنوئید کل (۲/۶۱)، فنل کل (۰/۷۵) و باعث کاهش آنتوسیانین (۱/۱۴) و اسیدآسکوربیک (۲/۲۷) برابر نسبت به تیمار شاهد گردیده است. نتایج این پژوهش نشان داد تیمار ۴۰۰ گری برخلاف ۸۰۰ گری در هفته‌ی اول تأثیر بسیار مؤثری در کاهش بار میکروبی و درنتیجه کاهش پوسیدگی و درصد کاهش وزن و طراوت و شادابی میوه‌ها داشت.

واژه‌های کلیدی: اسیدآسکوربیک، اسیدیته، بازارپسندی، فنل کل

استناد: بلوطی دهکردی، مجید.، ربیعی، علامرضا.، ربیعی، محمد.، رییسی، مرتضی. (۱۴۰۱). اثر شدت و زمان پرتودهی گاما، بر انبارمانی و کیفیت فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum L.*) . *علوم سبزی‌ها*، ۱۵(۱)، ۳۸-۱۹.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

فلفل با نام علمی *Capsicum annuun L.* متعلق به راسته Solonales و خانواده Solanaceae می‌باشد. فلفل دلمه‌ای یک محصول مهم کشاورزی است که نه‌تنها به دلیل ارزش اقتصادی، بلکه به دلیل دارا بودن رنگ‌های طبیعی، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ویتامین‌های A، C و E بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Britt, 2019). مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد که ترکیبات و مواد موجود در سبزی‌ها از قبیل فیبر، پتاسیم و آنتی‌اکسیدان‌ها ارتباط زیادی با کاهش ابتلا به بیماری‌های مختلف در انسان دارند (Cassels, 2018; Sheibani-Rad *et al*., 2015). بیشتر محصولات باغبانی به دلیل دارا بودن فعالیت متابولیکی، از زمان برداشت تا زمان مصرف از نظر کمی و کیفی ضایعاتی دارند که میزان آن در کشورهای توسعه یافته به‌طور متوسط بین ۵ تا ۲۵ درصد و در کشورهای در حال توسعه ۲۵ تا ۵۰ درصد می‌باشد (Moosavi *et al*., 2023). کیفیت ظاهری شامل صفاتی از قبیل شکل، رنگ، اندازه، شادابی و طراوت میوه، نداشتن عوارض فیزیولوژیکی و بیماری‌های میکروبی نقش بسیار مهمی در بازارپسندی میوه‌ها دارد. فلفل دلمه‌ای یک سبزی میوه‌ای با نسبت سطح به حجم بالا می‌باشد که اُفت رطوبتی آن زیاد بوده و باعث بروز چروکیدگی و پلاسیدگی سریع در این محصول می‌شود، بنابراین، همواره نیازمند راهی برای کنترل و جلوگیری از گسترش این ضایعات می‌باشد (Shalmani *et al*., 2019).

با توجه به اینکه در مراحل پس از برداشت محصولات کشاورزی، همچنان فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در میوه‌ها و سبزی‌ها ادامه دارد و ویژگی‌های کیفی از قبیل رطوبت، بافت، عطر و طعم این محصولات دچار افت می‌شود. نگهداری کوتاه مدت و بلند مدت میوه‌ها و سبزی‌ها در مراحل پس از برداشت یک چالش مهم نیز محسوب می‌شود که یک راه حل مناسب استفاده از سردخانه است، اما در بسیاری از محصولات کشاورزی انتقال به بازار بلافاصله پس از برداشت برای مصرف تازه‌خوری یک مشکل تلقی می‌شود که می‌توان آن را با بسته‌بندی مناسب و سازگار با قابلیت اصلاح اتمسفر داخلی بسته‌ها در هر محصول کنترل کرد به نحوی که کیفیت و ماندگاری محصول را نیز افزایش دهد (Aseneion, 2020). نتایج بررسی‌های دهه‌های اخیر پژوهشگران نشان داد که کاربرد مواد شیمیایی علاوه بر خطرات زیست‌محیطی منجر به ایجاد بیماری‌های متعدد در مصرف‌کنندگان به دلیل انتقال باقیمانده سم به بدن آن‌ها خواهد شد (Fiero, 2022). لذا استفاده از روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی نظیر پرتودهی به‌عنوان یک روش ایمن و مؤثر در فرآوری مواد غذایی مورد توجه محققین بهداشت مواد غذایی، متولیان صنایع غذایی و دولت‌مردان قرار گرفته است. پرتودهی برای نگهداری محصولات کشاورزی مانند میوه‌ها و سبزی‌ها و خشکبار استفاده می‌شود که خود محصول پرتودهی می‌شود مثل سیر (*Allium sativum* L.) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) و البته محصولات کم آب‌تر بهتر به این روش جواب می‌دهند. در این روش پرتودهی به میزانی انجام می‌شود که انگل‌ها، قارچ‌ها و میکروارگانیسم‌هایی که باعث تخریب محصول می‌شوند از بین بروند و این‌کار باعث افزایش انبارداری می‌شود بدون اینکه نیاز به کار خاصی داشته باشد (Fartash Naimi *et al*., 2021).

پرتوی گاما مجموعه‌ای از فوتون‌های پرانرژی است که معمولاً به همراه ذرات آلفا و بتا از هسته مواد رادیواکتیو ساطع می‌شود و چون بدون بار الکتریکی است قدرت نفوذ زیادی نیز دارد. لذا از لایه‌های سربی یا سیمانی برای توقف آن استفاده می‌شود (Stalter & Howath, 2018). کاهش طول میوه و کاهش آنتوسیانین بر اثر پرتوگاما روی توت‌فرنگی (*Fragaria*) توسط Thanh و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش شده است. افزایش تعداد میوه در بوته یکی دیگر از اثرات مثبت پرتودهی در گیاهان می‌باشد (Sharma & Mishra, 2017). Fartash Naimi و همکاران

(۲۰۲۱) در پژوهشی اثر متقابل دوز پرتودهی و بسته‌بندی بر ماندگاری قارچ خوراکی دکمه‌ای (*Agaricus bisporus* L.) پرداختند. نتایج نشان داد دوز و زمان نگهداری برای همه‌ی صفات اندازه‌گیری شده به‌جز سفتی بافت در سطح احتمال ۱درصد معنی‌دار بودند. بر اساس یافته‌های این بررسی استفاده از پرتودهی در دوزهای ۲-۱ گری به‌همراه بسته‌بندی نانو کامپوزیتی به‌طور معنی‌داری در افزایش ماندگاری قارچ خوراکی به مدت ۲۰ روز مؤثر بود. Oliveira و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی اثر کاربرد پرتو گاما را در دوزهای صفر، یک و دو کیلوگری بر ماندگاری میوه کیوی (*Actinidia deliciasa* L.) مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که پرتودهی گاما با ممانعت از شیوع بیماری موجب افزایش عمر انبارمانی میوه کیوی گردید (Harder *et al*., 2012). اثر پرتودهی گاما در دوزهای مختلف (صفر، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰ و ۱۲۰۰ گری) روی ماندگاری میوه سیب (*Malus domestica* L.) توسط Mostafavi و همکاران (۲۰۱۲) بررسی و در نتایج به‌دست آمده نشان داده شد که در نمونه‌های شاهد شیوع بیماری و کاهش شدید سفتی میوه‌ها عامل محدودکننده عمر انبارمانی می‌باشد، در حالیکه در سایر تیمارها اعمال پرتودهی با ممانعت از شیوع بیماری و حفظ بهتر سفتی میوه‌ها، نقش مهمی در حفظ کیفیت میوه‌های انبار شده در دمای سرد داشت.

باتوجه به اهمیت این گیاه از نظر میزان آنتیاکسیدان و ویتامین C و مشکلات پس از برداشت میوه فلفل-دلمه‌ای شامل چروکیدگی، از دست دادن رطوبت و آلودگی‌های قارچی ناشی از جنس‌های *Alternaria* و *Botrytis* و تأثیر پرتودهی گاما در این محصول تحقیق حاضر به منظور بررسی ویژگی‌های کیفی و عمر پس از برداشت فلفل دلمه‌ای و تأثیر پرتودهی گاما بر این محصول انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر پرتودهی گاما بر ویژگی‌های کیفی و عمر پس از برداشت فلفل دلمه‌ای آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار در محل آزمایشگاه‌های گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی در دانشگاه شهرکرد در سال ۱۴۰۰ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل پرتو گاما در سه سطح (صفر، ۴۰۰ و ۸۰۰ گری) و زمان انبارمانی در پنج سطح (هفته‌ی اول، هفته‌ی دوم، هفته‌ی سوم، هفته‌ی چهارم و هفته‌ی پنجم) بود.

میوه فلفل دلمه‌ای رقم نیروین (Nirvin) با رنگ قرمز از یک گلخانه در شهرستان شهرکرد برداشت و در بسته‌بندی‌های جداگانه (میوه‌ها ابتدا در کاغذ مخصوص نازک پیچیده و سپس در کیسه‌های نایلونی مخصوص حاوی ۴ سوراخ قرار داده شدند) بر اساس تعداد نمونه برای هر تیمار بسته‌بندی و بلافاصله به مرکز پرتودهی واقع در قطب صنعتی فرخ‌شهر منتقل شد و پرتودهی میوه‌های فلفل دلمه‌ای در دوزهای صفر، ۴۰۰ و ۸۰۰ گری انجام شد. پس از تیمار میوه‌ها در بسته‌بندی‌های جداگانه بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد و در یخچال با دمای ۱±۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد نگهداری شد. این آزمایش‌ها در سه تکرار و هر تکرار شامل چهار میوه بود و زمان‌بندی اجرای آزمایش به‌صورت مشاهده هفتگی از زمان تیمار تا ۲۸ روز بود و هر هفت روز یک‌بار بررسی فاکتورهای یاد شده اجرا شد. کلیه شرایط محیطی آزمایشگاه ازنظر میزان رطوبت و دمای محل نگهداری نمونه‌های آزمایشی برای کلیه تیمارها به‌طور یکسان بود. صفاتی که در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفت شامل درصد کاهش وزن میوه، تعداد میوه پوسیده، آنتوسیانین، فنل کل، اسیدآسکوربیک، pH، اسیدیته قابل تیتر و کاروتنوئید کل بود.

درصد کاهش وزن میوه‌ها

درصد کاهش وزن میوه‌ها در فاصله‌های هفت روزه از نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال Citizen (مدل CT-1202) با دقت ۰/۰۱ گرم به کمک رابطه ۱ انجام شد.

(رابطه ۱) { (a – b) / a } × ۱۰۰ = درصد کاهش وزن

a = وزن اولیه میوه

b= وزن نهایی میوه

تعداد میوه پوسیده به‌صورت روزانه مشاهده و ثبت می‌شد.

آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری ترکیبات آنتوسیانینی از دو سیستم بافر (بافر پتاسیم کلرید ۰/۲۵ مولار و بافر سدیم‌استات ۰/۴ مولار) استفاده شد و جذب آن‌ها به‌طور جداگانه در طول‌موج ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر ساخت شرکت PG انگلستان (مدل T-80) خوانده شد. نتایج برحسب میلی‌گرم سیانیدین ۳-گلیکوزید بر گرم وزن‌تر عصاره و بر اساس رابطه ۲ محاسبه گردید (Makkar *et al*., 2007).

(رابطه ۲)

غلظت رنگ‌دانه آنتوسیانین = A × MW × DF × 1000 / E × L

A = (A520-A700) pH1- (A520-A700) pH4.5

A = مقدار جذب

E= ضریب مولی سیانیدین

MW = وزن مولکولی سیانیدین

DF = فاکتور رقت نمونه‌ها

فنل کل

برای اندازه‌گیری مقدار فنل کل از معرف فولین سیوکالتو به روش Ebrahimzadeh و همکاران (۲۰۰۸) استفاده شد. بدین منظور یک گرم از بافت نمونه منجمد در ۱۰ میلی‌لیتر متانول خالص کوبیده شد، سپس عصاره حاصل در ۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد، سپس مقدار ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره تهیه شده را برداشته و به آن ۱۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتو رقیق شده با نسبت ۱ به ۱۰ اضافه شد و به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق قرار داده شد. سپس به آن ۱۲۰۰ میکرولیتر سدیم‌کربنات ۷/۵ درصد اضافه شد و به مدت ۱/۵ ساعت با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه روی شیکر در دمای اتاق قرار داده شد، در نهایت جذب محلول در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر ساخت شرکت PG انگلستان (مدل T-80) اندازه‌گیری شد و منحنی استاندارد اسیدگالیک رسم شد. معادله‌ای که بدست آمد 0.049 + Y=0.008 X بود. در نظر گرفتن نسبت رقیق شدن، مجموع فنل به‌صورت میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم وزن‌تر بیان شد.

تعیین pH و اسید قابل تیتر

عصاره فلفل دلمه‌ای از نمونه صاف شده ۱۰ میلی‌لیتر به نسبت ۱/۱۰ تهیه شد و با محلول سود ۰/۱ نرمال تیتر شد و بر اساس درصد معادل اسیدسیتریک محاسبه گردید (Tsegay *et al*., 2013). حجم سود مصرفی (V) یادداشت شده و با قرارگرفتن در رابطه ۳ درصد اسیدیته به دست آمد:

(رابطه ۳) درصد اسیدیته =v× 0. 00067× 100/ 5

میزان pH به کمک دستگاه pH متر (مدل PAD-LAB) مطابق دستورالعمل اندازه‌گیری شد.

اسیدآسکوربیک

اندازه‌گیری بر اساس روش تیتراسیون با ۲-۶ دی-کلروفنل ایندوفنل انجام شد (Conway *et al*., 2002). برای اندازه‌گیری میزان ویتامین ث میوه در هر دوره از آزمایش‌ها از روش تیتراسیون با رنگ دی‌کلروفنل ایندوفنل طی سه مرحله استفاده شد. برای نمونه‌های هر تیمار در هر دوره، طبق این روش ابتدا محلول متافسفریک ۳٪، رنگ ایندوفنل و سپس محلول استاندارد ویتامین ث تهیه شد. برای تهیه محلول متافسفریک ابتدا ۲۰۰ سی‌سی آب مقطر به‌وسیله هیتر به دمای ۵۰-۴۵ سانتی‌گراد رسانده شد سپس مقدار ۸/۴ گرم متافسفریک به آب اضافه و حل شد در مرحله پایانی ۰/۲۲ گرم EDTA اضافه شد و محلول به حجم ۲۸۰ سی‌سی رسید و در ظرف تیره و در یخچال نگهداری شد. جهت تهیه رنگ فنل ایندوفنل ۱۵۰ سی-سی آب مقطر با دمای ۸۵-۸۰ درجه سانتی‌گراد را با ۵۰ میلی‌گرم پودر رنگ ۲-۶ دی‌کلروفنل ایندوفنل ترکیب شد و پس از حل شدن، ۴۲ میلی‌گرم بی‌کربنات سدیم به آن اضافه شد و به حجم ۲۰۰ سی‌سی رسید و در ظرف تیره در یخچال نگهداری شد. برای تهیه محلول استاندارد ویتامین ث، ابتدا مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم

اسیدآسکوربیک در ۱۰۰ سی‌سی محلول متافسفریک اسید ۳ درصد حل شد و ۵ سی‌سی از این محلول با رنگ فنل ایندوفنل تا رسیدن به رنگ صورتی روشن و پایداری آن به مدت ۱۵ ثانیه تیتر شد که مقدار رنگ مصرفی در این مرحله در فرمول به‌جای D جای‌گذاری شد. برای محاسبه میزان ویتامین ث در هر نمونه ابتدا ۱ گرم از بافت میوه به‌وسیله ۱۰ سی‌سی متافسفریک‌اسید ۳ درصد در هاون به‌طورکامل له و ساییده شد، پس از صاف کردن بافت حل شده، به‌طور مجدد با ۱۰ سی‌سی دیگر متافسفریک‌اسید ۳ درصد رقیق شد و ۵ سی‌سی از محلول حاصل توسط رنگ فنل ایندوفنل تا ظهور رنگ صورتی روشن تیتر شد و میزان ویتامین ث برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر نمونه (رابطه ۴) بیان شد.

مقدار ویتامین ث = B× E×D/C×A **(رابطه ۴)**

A: مقدار وزن نمونه‌های گیاهی، B: حجم متافسفریک مصرفی برای نمونه اول، C: حجم نمونه مورد استفاده برای تیتراسیون، D: فاکتور رنگ (اکی والان رنگ)، E: حجم رنگ مصرفی در تیتراسیون

مقدار کاروتنوئیدها

اندازه‌گیری محتوای کاروتنوئید میوه‌ها به روش استخراج کاروتنوئید با استون انجام شد (Carvalho *et al*., 2012). یک گرم از بافت میوه در هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد (۲۰ سی‌سی آب مقطر به‌علاوه ۸۰ میلی‌لیتر استون) له و کوبیده شد پس از آن نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه و ۵۰۰۰ دور سانتریفیوژ شدند، سپس قسمت رویی نمونه‌ها جمع‌آوری شد و جذب آن‌ها در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر با اسپکتروفتومتر ساخت شرکت PG انگلستان (مدل T-80) اندازه‌گیری گردید و با استفاده از رابطه ۵ میزان کاروتنوئید کل محاسبه شد.

(رابطه ۵)

$$Chl_a\,(mg/g) = 12.71(A663) - 2.69(A646)\,1/10$$
$$Chl_b\,(mg/g) = 22.09(A646) - 4.68(A663)\,1/10$$
$$\text{Carotenoid (mg/ml)} = (1000(A470) - 1.8(Chla) - 85.02(Chlb))/198$$

داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹.۴ آنالیز و مقایسه میانگین از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

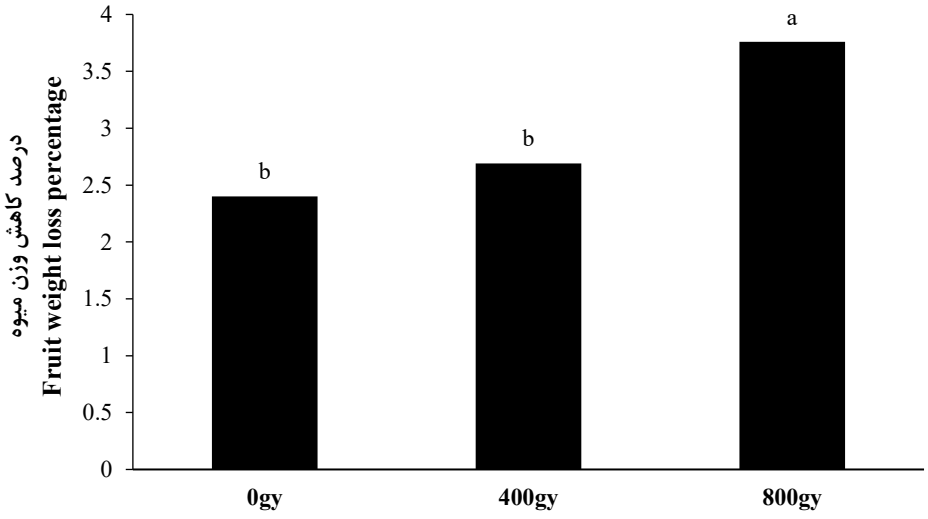
درصد کاهش وزن میوه

بیشترین درصد کاهش وزن میوه (۳/۷۶ درصد) در دوز ۸۰۰ پرتوگاما اتفاق افتاد که اختلاف معنی‌داری با تیمار دوز ۴۰۰ و شاهد داشت و ۰/۵۶ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (شکل ۱). بیشترین درصد کاهش وزن میوه (۶/۷۶) در هفته پنجم مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود (شکل ۲). کاهش وزن می‌تواند ناشی از افزایش تعرق و تنفس میوه در دوره انبارداری و همچنین مصرف ترکیبات کربوهیدراتی، اسیدها و قندها باشد. از فاکتورهای مهم افت وزن در طی پرتودهی از بین رفتن مولکول‌های آب و جذب امواج و انرژی توسط مولکول‌هاست. پرتودهی گاما، در دوزهای بالا به دلیل افزایش سرعت تنفس و فعالی متابولیکی موجب کاهش وزن بیشتر میوه‌ها می‌شود (Benoit *et al*., 2000). مهم‌ترین عامل کاهش وزن میوه در طی دوره انبارداری افزایش تبخیر و تعرق از سطح میوه می‌باشد (Chograni *et al*., 2013).

در توت‌فرنگی نشان داده شده است که پرتودهی گاما در دوزهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ کیلوگری اثر معنی‌داری بر کاهش وزن میوه‌ها دارد به‌طوری که دوز ۰/۵ کیلوگری پرتوگاما پس از ۹ روز انبارمانی موجب کاهش حدود ۵۰ درصدی وزن میوه شد و با افزایش شدت دوز کاهش وزن بیشتر شد (Majeed *et al*., 2014).

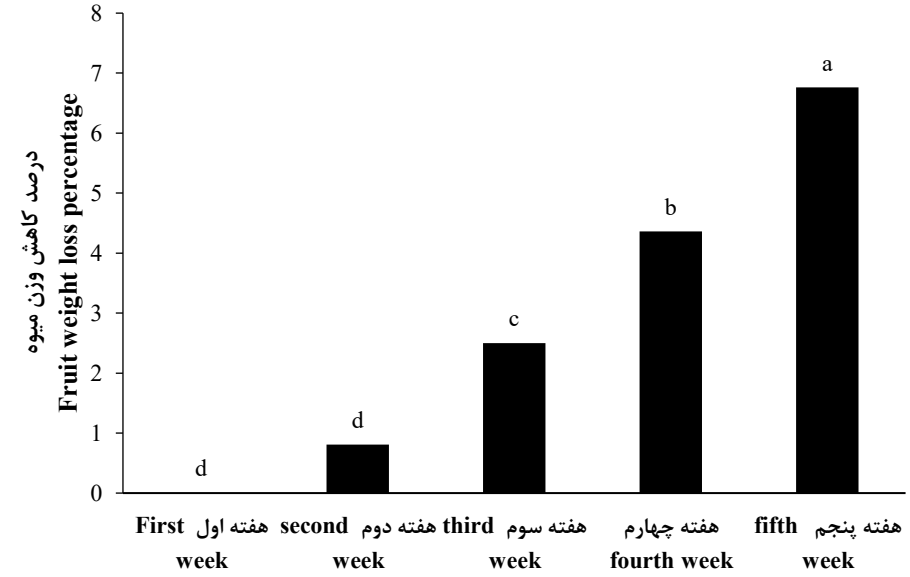
تعداد میوه پوسیده

بیشترین تعداد میوه پوسیده در دوز ۸۰۰ پرتوگاما (۱۰) در هفته پنجم اتفاق افتاد که ۱۰۰ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت و همچنین به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود همچنین در سه دوز شاهد، ۴۰۰ و ۸۰۰ از نظر زمان در هفته‌های اول و دوم اختلاف معنی‌داری دیده نشد (شکل ۳).



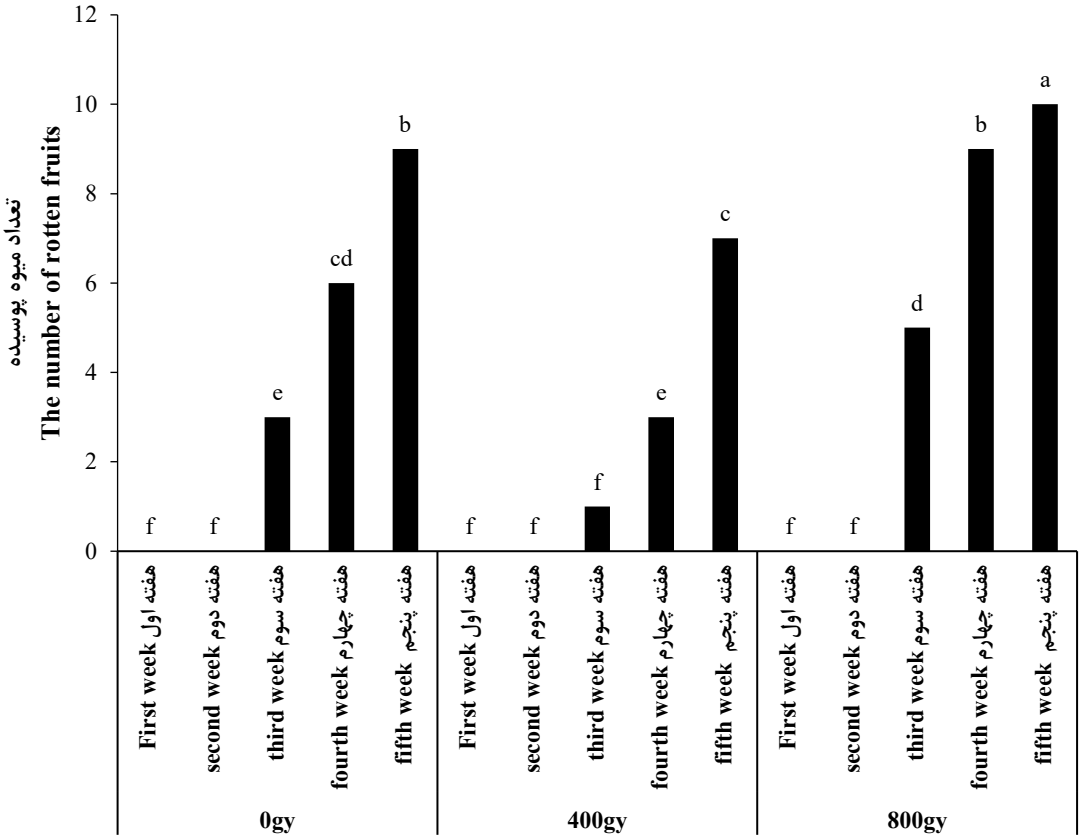
شکل ۱- میانگین اثر تیمار دوزهای پرتودهی بر درصد کاهش وزن میوه (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار هستند)

Figure 1- The average treatment effect of irradiation doses on the percentage of fruit weight loss (Averages with common letters have no significant difference at the 1% probability level of Duncan's test)



شکل ۲- میانگین اثر تیمار زمان بر درصد کاهش وزن میوه (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار هستند)

Figure 2- The average effect of time treatment on the percentage of fruit weight loss (Averages with common letters have no significant difference at the 1% probability level of Duncan's test)



شکل ۳- میانگین اثر تیمارهای زمان و دوز پرتودهی بر تعداد میوه پوسیده (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار هستند)

Figure 3- The average effect of treatments of time and radiation dose on the number of rotten fruits (Averages with common letters have no significant difference at the 1% probability level of Duncan's test)

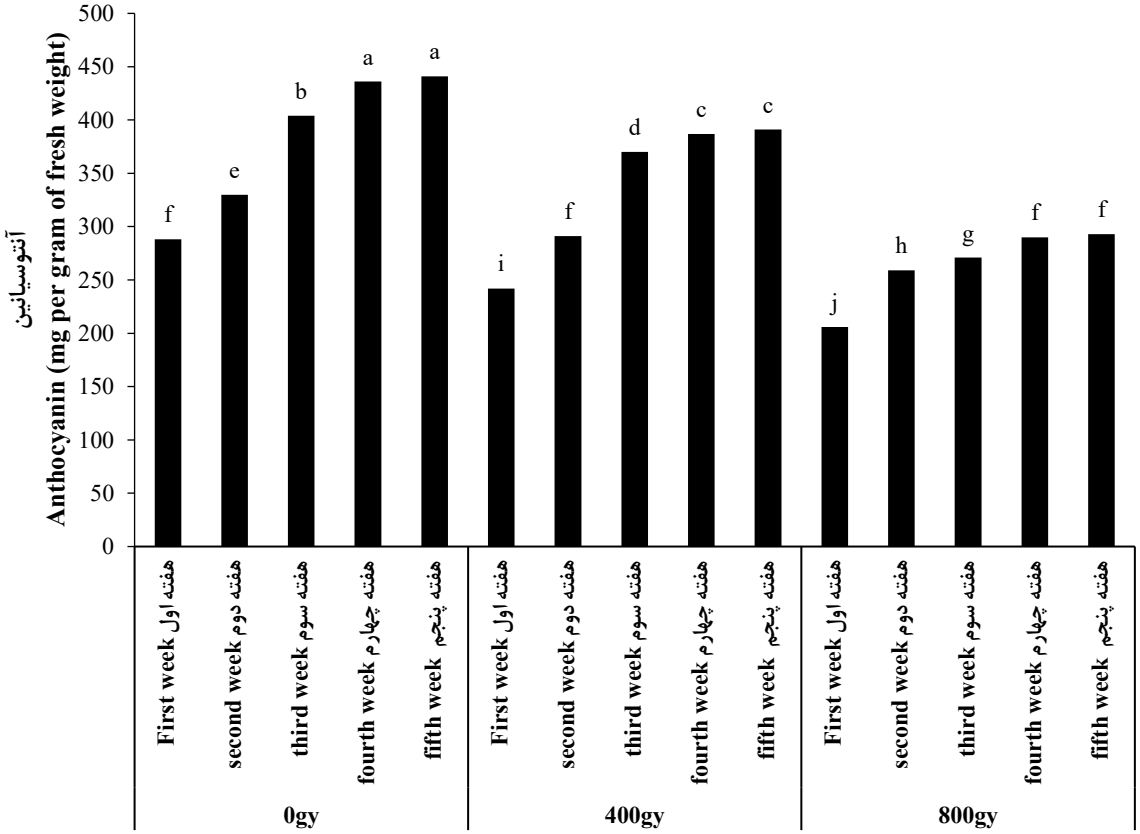
افزایش پوسیدگی در دوز بالا می‌تواند به علت تخریب دیواره سلولی و بافت میوه رخ دهد و نقاط صدمه دیده مکان مناسبی برای تجمع عوامل بیماری‌زا می‌شود و دوز پایین احتمالاً توانایی پاکسازی مناسب میکروارگانیسم‌ها را از طریق صدمه به DNA آن‌ها و غیرفعال کردن آن‌ها داشته و در نتیجه کاهش پوسیدگی اتفاق افتاده است. Pezzutti و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که تابش دوزهای بین ۷ و ۱۱ کیلوگری شمارش جمعیت باکتری‌ها در پیاز (*Allium cepa* L.) را کاهش داد. کاهش جمعی باکتری‌ها و قارچ در دانه‌های قهوه (*Coffea arabica* L.) نیز در تابش ۵-۱ کیلوگری پرتوگاما مشاهده شده (Nemtano *et al*., 2005).

Nazari و همکاران (۲۰۲۳)، Fratianni و همکاران (۲۰۲۰)، Hamed و همکاران (۲۰۱۹) در فلفل دلمه‌ای و Esua و همکاران (۲۰۱۹) در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L) نیز در مورد به نتایج مشابهی دست یافتند.

آنتوسیانین

آنتوسیانین در دوز ۸۰۰ پرتوگاما در هفته اول (۲۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) ۰/۳۹ درصد کمتر از تیمار شاهد بود در پایین‌ترین حد خود قرار داشت که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود همچنین فلفل دلمه‌ای در هفته‌های پنجم و چهارم دوز شاهد (۴۴۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)، ۰/۵۲ درصد نسبت به دوز

۸۰۰ پرتوگاما دارای بیشترین آنتوسیانین بود (شکل ۴). افزایش سنتز آنتوسیانین پس از برداشت میوه‌ها با فعالیت آنزیم‌هایی چون گلیکوزید فلاوونوئید و فنل آلانین آمونیالاز (PAL) ارتباط دارد که در طی انبار-داری افزایش می‌یابد.



شکل ۴- میانگین اثر تیمارهای زمان و دوز پرتودهی بر آنتوسیانین (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار هستند)

Figure 4- The average effect of radiation dose and time treatments on anthocyanin (Averages with common letters have no significant difference at the 1% probability level of Duncan's test)

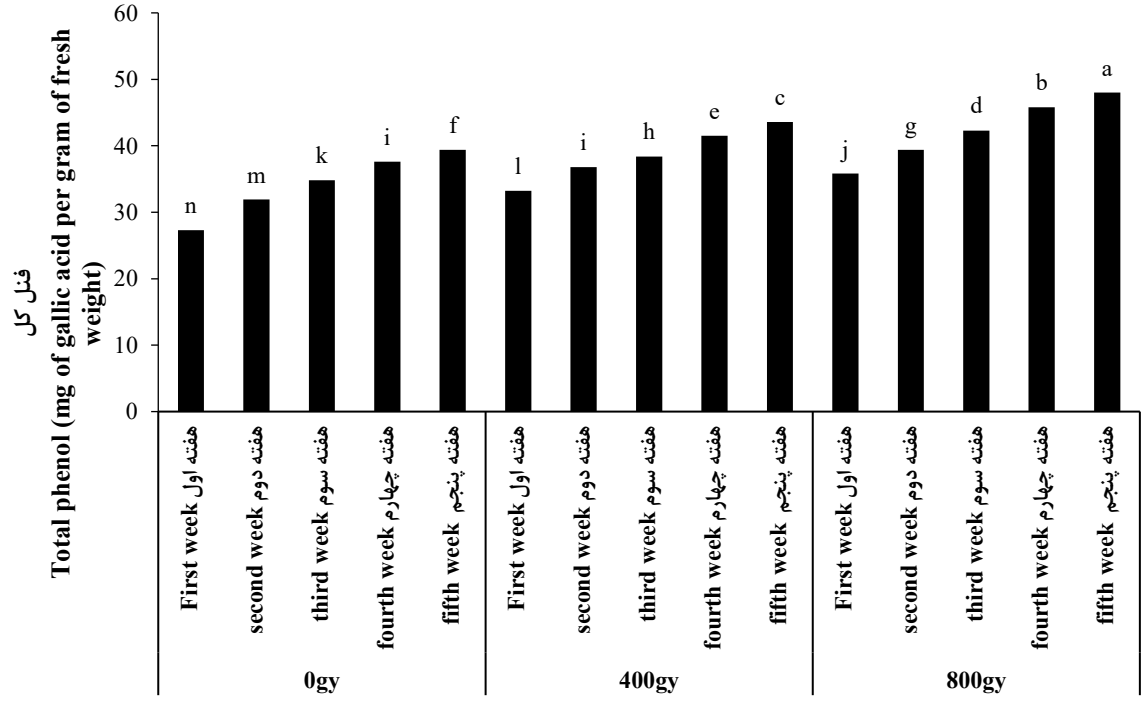
پرتودهی گاما در دوزهای ۱/۵ و ۲/۱ کیلوگری اثر معنی‌داری بر افزایش مقدار آنتوسیانین زغال اخته (*Cornus mas* L.) داشته است. دلیل این افزایش می‌تواند در اثر تأثیر پرتوگاما بر فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالاز و گلیکوزید فلاوونوئید که آنزیم‌های کلیدی در بیوسنتز آنتوسیانین‌ها هستند، باشد. در واقع پرتوگاما باعث افزایش فعالیت این آنزیم‌ها شده و مقدار آنتوسیانین را در زغال‌اخته افزایش داده است (Requ et *al*., 2014). Zhang و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که کاهش قندها در اثر پرتودهی گاما در دوزهای چهار و هفت کیلوگری می‌تواند عامل تغییر در ثبات آنتوسیانین‌ها باشد. Hernandez و همکاران (۲۰۰۸)، پرتودهی میوه سیب (*Malus domestica* L.) باعث افزایش آنتوسیانین شد که احتمالاً به دلیل رسیدگی میوه و همچنین فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز در مدت نگهداری بوده است.

محتوای فنل کل

بیشترین فنل کل در دوز ۸۰۰ پرتوگاما در هفته پنجم (۴۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن‌تر) مشاهده شد که

به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود همچنین در هفته‌ی اول دوز شاهد، فلفل دلمه‌ای دارای کمترین فنل کل (۲۷/۳ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن‌تر) بود که حدود ۰/۷۵ درصد کمتر از سایر تیمارها بود (شکل ۵). افزایش فنل کل در هنگام رسیدن مربوط به تبدیل فلاوونوئیدها به ترکیبات کوچک‌تر یا همان فنل‌های ثانویه می‌باشد (Jiang *et al*., 2020). در پژوهشی مشابه نشان داده شد که پرتودهی گاما در دوزهای یک تا ۱۰ کیلوگری به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش مقدار فنل کل در میوه انار (*Punica granatum* L.) شد. افزایش مشاهده شده در میزان این ترکیبات به دلایل متعددی امکان‌پذیر می‌باشد. احتمالاً فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) که مسئول سنتز ترکیبات فنلی است و اسیدآمینه فنیل‌آلانین را به سینامیک‌اسید تبدیل می‌کند، در برابر اشعه‌گاما افزایش یافته است (Heinze *et al*., 2018). بنابراین وجود یک همبستگی مثبت بین شدت تابش و فعالیت آنزیم (PAL) سبب افزایش میزان فنل‌ها شده است (Mali *et al*., 2011).

در پژوهشی دیگر Gonzalez-Aguilar و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که انبه‌های (*Mangifera indica* L.) برش خورده‌ای که در معرض پرتو فرابنفش قرار گرفتند نسبت به نمونه‌های شاهد، از ترکیبات فنلی بالاتری برخوردار بودند. ترکیبات فنولی از متابولیت‌های ثانویه گیاهان هستند و به‌طور معمول درگیر دفاع در برابر پرتوهای پر انرژی یا حمله پاتوژن‌ها هستند. از سوی دیگر احتمالاً تابش اشعه‌گاما و فرآیندهای پیاپی اکسیداسیون سبب تجزیه ترکیبات فنلی بزرگ‌تر (پلی‌فنل‌ها) به ترکیبات فنلی محلول با وزن مولکولی کمتر شده است و همچنین شاید اشعه‌گاما سبب تجزیه گلیکوزیدها و آزاد شدن ترکیبات فنلی از اجزای گلیکوزیدی شده باشد زیرا اشعه‌گاما دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد، که از طریق مکانیسم غیرمستقیم یعنی رادیولیز آب باعث تولید رادیکال‌های آزاد مانند پراکسید و هیدروپراکسید می‌شود. بنابراین احتمالاً این رادیکال‌ها با شکستن پیوندهای گلیکوزیدی میزان فنل‌ها را افزایش داده است (Hamauzu, 2006).



شکل ۵- میانگین اثر تیمارهای زمان و دوز پرتودهی بر فنل کل (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار هستند)

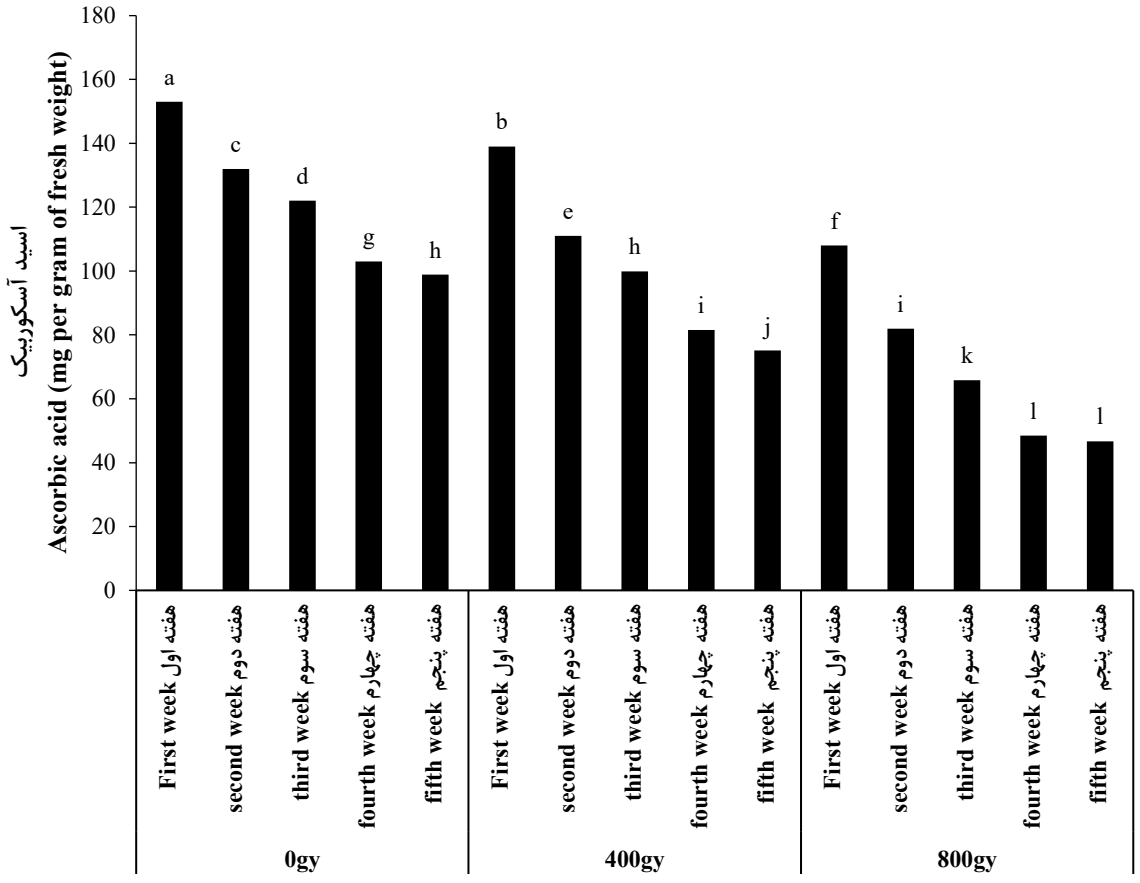
Figure 5- The average effect of radiation dose and time treatments on total phenol (Averages with common letters have no significant difference at the 1% probability level of Duncan's test)

اسیدآسکوربیک

کمترین اسیدآسکوربیک در دوز ۸۰۰ پرتو گاما در هفته پنجم و چهارم (۱۵۳ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن‌تر) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود همچنین در هفته‌ی اول دوز شاهد، فلفل دلمه‌ای دارای بیشترین اسیدآسکوربیک (۴۶/۷ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن‌تر) بود (شکل ۶). پرتودهی با اشعه‌گاما حدود ۶/۷۲ درصد باعث کاهش میزان اسیدآسکوربیک شد.

پرتودهی می‌تواند تبدیل AA (Ascorbic acid) به DHA (Docosahexaenoic acid) را تسریع کند و شکلی از اسیدآسکوربیک که دارای فعالیت بیشتری است را به فرم DHA اکسید کند. استنباط می‌شود که کم شدن اسیدآسکوربیک بیشتر به‌دلیل ذخیره‌سازی است تا پرتودهی و در طول انبارداری به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهش اتفاق میافتد. مشابه با نتایج این پژوهش اثر کاهشی تیمار پرتوگاما بر مقدار ویتامین ث در میوه کیوی (*Actinidia deliciosa* L.) نیز نشان داده شده است (Harder *et al*., 2012).

اسیدآسکوربیک یک ماده آنتی‌اکسیدان می‌باشد که در حین رشد و نمو محصولات افزایش یافته و بعد از برداشت در اثر فعالیت تجزیه‌ای آنزیم آسکوربیک‌اسید اکسیداز مقدار آن کاهش می‌یابد (Fonseca *et al*., 2006).



شکل ۶- میانگین اثر تیمارهای زمان و دوز پرتودهی بر اسیدآسکوربیک (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار هستند)

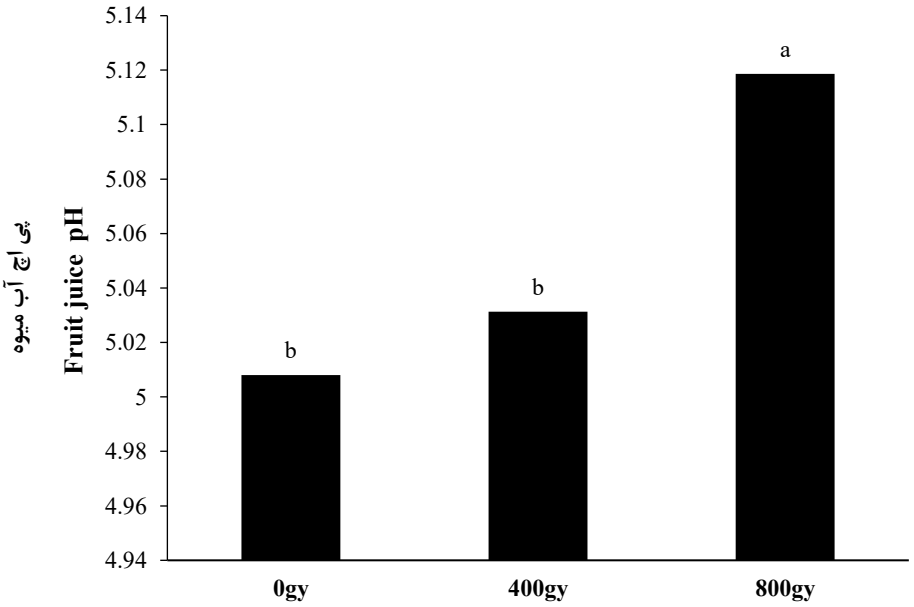
Figure 6- The average effect of radiation dose and time treatments on ascorbic acid (Averages with common letters have no significant difference at the 1% probability level of Duncan's test)

در اثر پرتودهی گاما نشان داده شده است که فعالیت آنزیم آسکوربیک‌اسید اکسیداز تحریک شده و مقدار اسیدآسکوربیک کاهش می‌یابد (Vicente *et al.*, 2005). علاوه بر آن بررسی‌ها در آزمایش‌های دیگر نشان داده است که تابش گاما موجب تولید رادیکال‌هایی از هیدروکسیل و اتم‌های هیدروژن می‌گردد که به علت شکسته شدن برخی از پیوندها به‌وسیله‌ی این رادیکال-ها، تغییرات ساختاری احتمالی در ترکیب‌های فعال از نظر ضد اکسایشی همانند اسیدآسکوربیک ایجاد می‌شود و از مقدار فعال این ترکیبات کاسته می‌شود در مقابل موجب تجزیه ترکیبات فنلی بزرگ‌تر (پلی‌فنل‌ها) به ترکیبات فنلی محلول با وزن مولکولی کمتر شده است (Lee *et al.*, 2006).

pH آب میوه

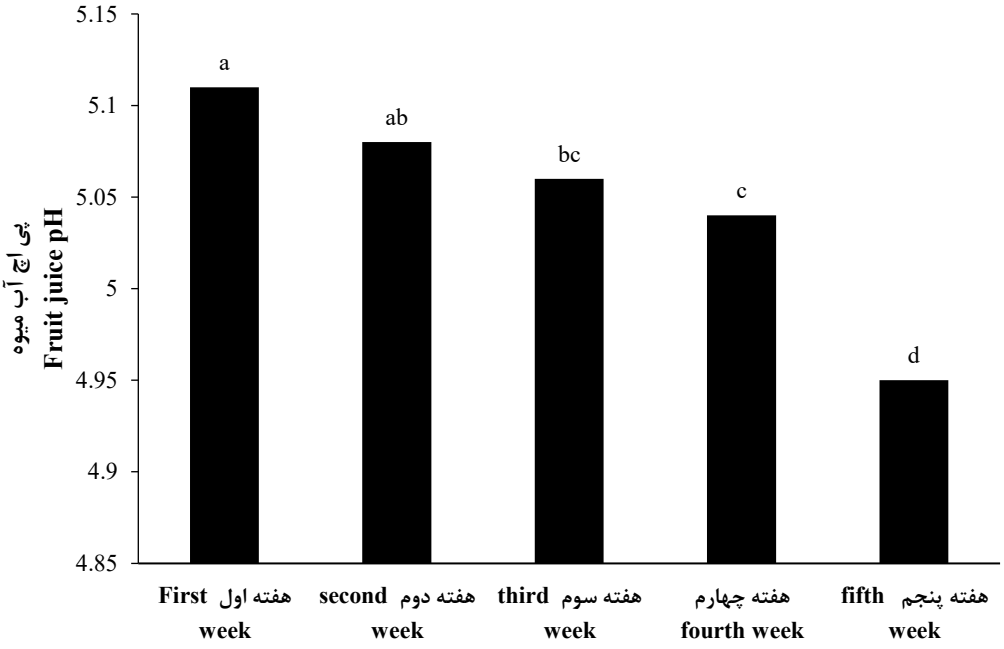
بیشترین pH آب میوه در دوز ۸۰۰ پرتوگاما (۵/۱۱) اتفاق افتاد که اختلاف معنی‌داری با تیمار دوز ۴۰۰ و شاهد داشتند (شکل ۷). بیشترین pH آب میوه در هفته اول (۵/۱۱) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری حدود درصد ۰/۱۶ بیشتر از سایر تیمارها بود (شکل ۸).

تغییرات مشاهده شده در pH آب میوه احتمالاً به دلیل شکستن کربوهیدرات‌ها و مواد پکتینی هیدرولیز پروتئین و تجزیه گلیکوساکاریدها به واحدهای سازنده در طی فرآیند تنفس می‌باشد. در تحقیقی که اثر پرتودهی با نور فرابنفش بر روی خواص کیفی فلفل دلمه‌ای رقم نیروین انجام شد مشخص گردید که با افزایش شدت پرتوگاما میزان اسیدیته افزایش پیدا کرد. (Nazari *et al.*, 2023). همچنین در پژوهشی دیگر نیز مشخص گردید با افزایش میزان شدت پرتودهی با گاما میزان اسیدیته توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* L.) رقم سلوا افزایش پیدا کرد (Mustofi *et al.*, 2010).



شکل ۷- میانگین اثر تیمار دوزهای پرتودهی بر pH آب میوه (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار هستند)

Figure 7- The average treatment effect of irradiation doses on fruit juice pH (Averages with common letters have no significant difference at the 1% probability level of Duncan's test)

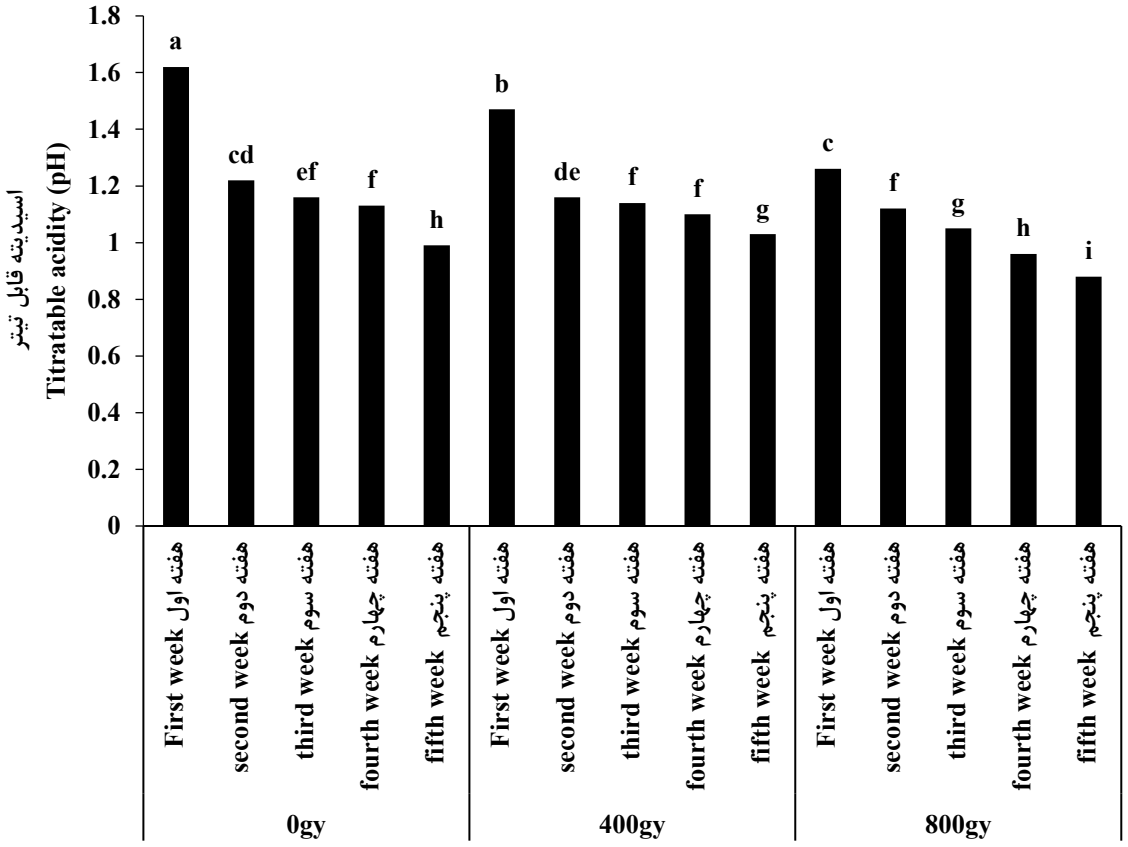


شکل ۸- میانگین اثر تیمار زمان بر pH آب میوه (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار هستند)

Figure 8- Average effect of time treatment on fruit juice pH (Averages with common letters have no significant difference at the 1% probability level of Duncan's test)

اسیدیته قابل تیتر (TA)

کمترین اسیدیته قابل تیتر در دوز ۸۰۰ پرتو گاما در هفته پنجم و چهارم (۰/۸۸) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود همچنین در هفته-ی اول دوز شاهد، فلفل دلمه‌ای دارای بیشترین اسیدیته قابل تیتر (۱/۶۲) بود (شکل ۹). تغییرات مشاهده شده در اسیدیته قابل تیتراسیون احتمالاً به دلیل شکستن کربوهیدرات‌ها و مواد پکتینی، هیدرولیز پروتئین و تجزیه گلیکوساکاریدها به واحدهای سازنده در طی فرآیند تنفس می‌باشد و از آنجایی که اسیدهای آلی به‌عنوان پیش ماده برای واکنش‌های آنزیمی تنفس استفاده می‌شوند طی دوره پس از برداشت کاهش پیدا می‌کنند. مشابه با این نتایج Naresh و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که پرتودهی در دوزهای یک و سه کیلوگری به آب‌میوه انبه (*Mangifera indica* L.) موجب کاهش اسیدهای آلی در دوزهای بالای پرتوگاما به دلیل افزایش اکسیداسیون سلولی و مصرف آن‌ها در طی فرایندهای اکسیداسیونی می‌باشد. اسیدهای آلی به هنگام رسیدن میوه به دلیل مصرف شدن در تنفس و تبدیل شدن به قندها کاهش می‌یابند و کاهش آن‌ها رابطهٔ مستقیم با فعالیت‌های متابولیکی دارد. در واقع اسیدهای آلی به‌عنوان یک منبع اندوختهٔ انرژی میوه می‌باشند که در هنگام رسیدن با افزایش سوخت‌وساز مصرف می‌شوند (Abdullahi, 2010).



شکل ۹- میانگین اثر تیمارهای زمان و دوز پرتودهی بر اسیدیته قابل تیتر (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار هستند)

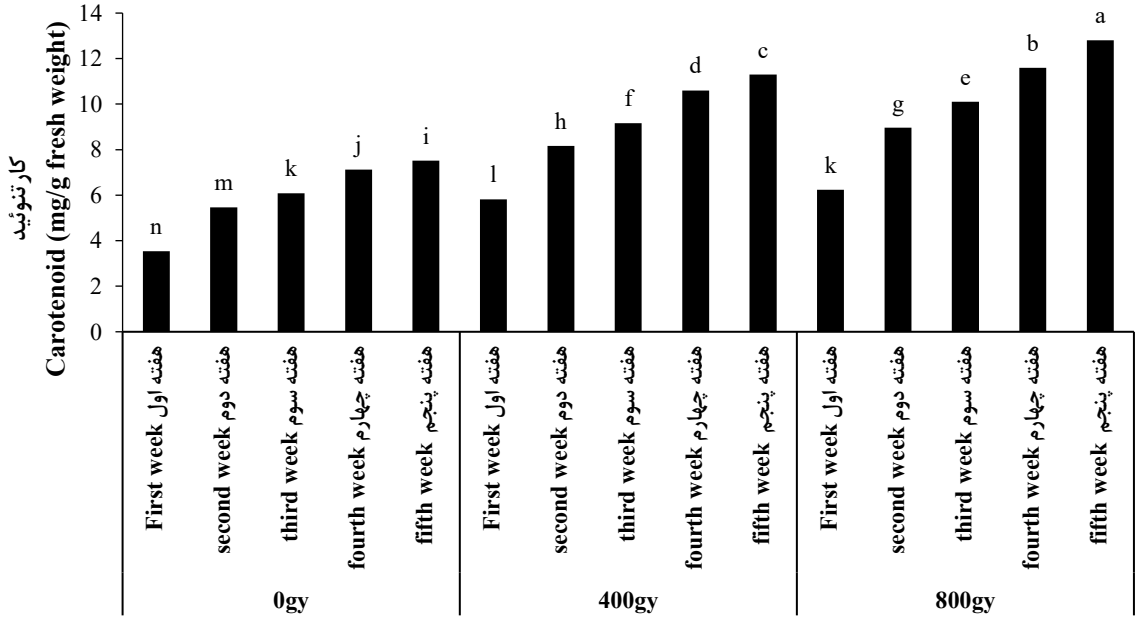
Figure 9- The average effect of radiation dose and time treatments on titratable acidity
(Averages with common letters have no significant difference at the 1% probability level of Duncan's test)

کاروتنوئید

بیشترین کاروتنوئید در دوز ۸۰۰ پرتوگاما در هفته پنجم (۱۲/۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن‌تر) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود و حدود ۲/۶۱ برابر بیشتر از سایر تیمارها بود همچنین کمترین کاروتنوئید (۳/۵۴ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن-تر) در هفته‌ی اول دوز شاهد به دست آمد (شکل ۱۰). کاروتنوئیدها ترکیبات مهم بیولوژیکی هستند که به‌طور گسترده‌ای در میوه‌ها و سبزی‌ها وجود دارند. کاروتنوئیدها، آنتی‌اکسیدانت‌های اصلی محلول در چربی در سلول‌های گیاهی هستند که به‌طور معنی‌داری غلظت آن‌ها در شرایط تنش افزایش می‌یابد (Hornero & Mendez., 2002). در بسیاری از میوه‌ها از جمله فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.)، کاهش سریع در میزان کلروفیل همراه با افزایش میزان کاروتنوئید است. این رویداد نتیجه تبدیل کلروپلاست به کروموپلاست است که در جریان رسیدن و بلوغ میوه اتفاق می‌افتد. تمام واریته‌های فلفل دلمه‌ای در زمان توسعه کامل میوه بیشترین میزان کلروفیل را دارند. محتوای کلروفیل در طول انبارمانی کاهش می‌یابد. در زمان رسیدن میوه، کلروفیلی که در میوه‌های نارس وجود دارد به دلیل تجزیه کلروپلاست شکسته می‌شود. این دو مرحله (سبز تیره و سبز روشن) نشان‌دهنده کاهش رنگ سبز میوه است. سپس وارد مرحله شکست رنگ می‌شود و این زمانی است که بیوسنتز کاروتنوئید آغاز می‌شود. نسبت کلروفیل به کاروتنوئید در میوه‌های

توسعه یافته فلفل دلمه‌ای ۳ به ۴ است که این نسبت در طول دوره رسیدن کاهش می‌یابد. به دلیل نزدیک شدن به دوره پیری کاتابولیسم کلروفیل قبل از اینکه سایر رنگ‌ریزه‌ها سنتز شوند آغاز می‌شود. توسعه کاروتنوئید زمانی اتفاق می‌افتد که در حین رسیدن کلروپلاست به کروموپلاست تبدیل می‌شود (Dias *et al.*, 2021). مطابق نتایج حاصل از این پژوهش میزان کاروتنوئیدها با افزایش عمر انباری افزایش یافت که دلیل آن تجزیه کلروفیل و افزایش سنتز کاروتنوئیدها می‌باشد که به‌دلیل پیری محصول می‌باشد معمولا شرایط اسیدی منجر به افزایش کاروتنوئید کل در محتویات سلولی می‌شوند (Mirzai *et al.*, 2018).

افت رنگ در میوه فلفل دلمه‌ای فاکتور مهمی است که کیفیت محصول را در طول دوره پس از برداشت تعیین می‌نماید. کاروتنوئیدها و فلاونوئیدها مواد رنگی مهم سبزی‌ها هستندکه معمولاً باعث ایجاد رنگ‌های نارنجی و قرمز می‌شوند (Hamed *et al.*, 2019). هدف اصلی بیشتر تیمارهای پس از برداشتی به تأخیر انداختن فرایند ایزومریزاسیون است. پرتودهی گاما می‌تواند کاتابولیسم نرمال کاروتنوئیدها را تحت تأثیرقرار داده و منجر به حفظ رنگ درمیوه‌ها گردد (Gerszberg & Hnatuszko-Konka, 2017).



شکل ۱۰- میانگین اثر تیمارهای زمان و دوز پرتودهی بر کارتنوئید کل (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار هستند)

Figure 11- The average effect of irradiation time and dose treatments on carotenoids (Averages with common letters have no significant difference at the 1% probability level of Duncan's test)

نتیجه‌گیری کلی

در طی فرآیند انبارداری و با گذشت زمان و افزایش این مدت خصوصیات کیفی محصولات کاهش پیدا می‌کند و با افزایش این مدت میزان اسیدآسکوربیک، آنتوسیانین، سفتی میوه بخصوص در دوز ۸۰۰ گری کاهش پیدا کرد. استفاده از پرتوگاما روی صفات کیفی فلفل دلمه‌ای مؤثر واقع شد. به‌خصوص در دوز ۴۰۰ گری که با ممانعت از شیوع و گسترش پاتوژن‌ها مثل قارچ‌ها و باکتری‌ها و میکروب‌ها باعث شد که پوسیدگی به‌طور مؤثری کاهش پیدا کند و کیفیت محصول حفظ گردد که در نتیجه آن بازارپسندی و رضایت مشتری فراهم شود. در حالت کلی دوز ۴۰۰ گری برخلاف ۸۰۰ گری در هفته‌ی اول تأثیر بسیار مؤثری در کاهش بار میکروبی و درنتیجه کاهش پوسیدگی و درصد کاهش

وزن و حفظ سفتی بافت و طراوت و شادابی میوه‌ها داشت.

سپاسگزاری

بدینوسیله بر خود لازم می‌دانم مراتب تشکر صمیمانه خود را از دانشگاه شهرکرد دانشکده کشاورزی که با حمایت مالی، ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنم.

References

Abdullahi, R. (2010). Effect of post-harvest application of nitric oxide and putricin on storage life and quality properties of Selva strawberry fruit. Master's thesis of the Faculty of Agriculture.

Aseneion, A.B. (2020). Mutation breeding manual, Proc. FAO.IAEA symposium, Vienna 1985.

Benoit, M. A., D'Aprano, G. & Lacroix, M., (2000). Effect of γ-irradiation on phenylalanine ammonia-lyase activity, total phenolic content, and respiration of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(12): 6312-6316. doi: 10.1021/jf000543s

Britt A, B. (2019). DNA damage and repair in plants. *Annual Review* of *Plant Biology*. 47: 75100. doi:10.3389/fpls.2015.00885

Carvalho, L. M. J., Gomes, P. B., de Oliveira Godoy, R. L., Pacheco, S., do Monte, P. H. F., de Carvalho, J. L. V., Nutti, M. R., Neves, A. C. L., Vieira, A. C. R. A., & Ramos, S. R. R. (2012). Total carotenoid content, α-carotene and β-carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata Duch*): A preliminary study. *Food Research International*, 47: 337–340. doi :10.1016/j.foodres.2011.07.040

Cassells, A.C., Joycc, S.M., Curry, R.F., & McCarthy, T.F. (2018). Detection of Economically Important Variability in Micropropagation, Plant Biotechnology and In Vitro Biology in the 21st Century pp 241-244. doi:10.1007/978-94-011-4661-6_56

Chograni, H., Riahi, L., Zaouali, Y. & Boussaid, M. (2013) Polyphenols, flavonoids, antioxidant activity in leaves and flowers of Tunisian *Globularia alypum* L. (Globulariaceae). African Journal of Ecology. 51: 343-347. doi:10.1111/aje.12041

Conway W.S., Sams C.E., & Hickey K.D. (2002). Pre-and postharvest calcium treatment to apple fruit and its effect on quality. *Acta Horticulture*, 182: 594-602. doi: 10.17660/ActaHortic.2002.594.53

Dias MG, Borge GIA, Kljak K, Mandić AI, Mapelli-Brahm P, Olmedilla-Alonso B, Pintea AM, Ravasco F, Tumbas Šaponjac V, Sereikaitė J, Vargas-Murga L, Vulić JJ, & Meléndez-Martínez AJ. (2021). European Database of Carotenoid Levels in Foods. Factors Affecting Carotenoid Content. *Foods*. 10(5):912. doi: 10.3390/foods10050912

Ebrahimzadeh, M.A., Hosseinimehr, S.J., Hamidinia,A. & Jafari, M. (2008). Antioxidant and free radical scavenging activity of Feijoa sallowiana fruits peel and leaves. *Pharmacology online*, 1: 7-14.

Esua, O. J., Chin, N. L., Yusof, Y. F. & Sukor, R. (2019). Effects of simultaneous UV-C radiation and ultrasonic energy postharvest treatment on bioactive compounds and antioxidant activity of tomatoes during storage. Food Chemistry. 270: 113-122. doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.031

Fartash Naeimi, E., Khoshtaghaza, M. H., & Abbasi, S. (2021). Effect of Gamma Irradiation and Different Packagings on the Shelf Life of Edible Mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Innovative Food Technologies*, *9*(1), 47-61. doi.org/10.1080/14620316.1989.11515925

Fiero, J. C. (2022). The Effect of air humidity on growth and fruit production

of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal of Horticultural Science*. 64: 41-46.doi:10.1016/j.postharvbio.2006.02.003

Fonseca, J.M. & Rushing, J.W. (2006). Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 40(3):.256-261. doi: 10.1016/j.postharvbio.2006.02.003

Fratianni, F., D'Acierno, A., Cozzolino, A., Spigno, P., Riccardi, R., Raimo, F., Pane, C., Zaccardelli, M., Lombardo, V. T. & Tucci, M. (2020) Biochemical characterization of traditional varieties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) of the Campania Region, Southern Italy. Antioxidants. 9: 556. doi: 10.3390/antiox9060556

Gerszberg, A. & Hnatuszko-Konka, K. (2017) Tomato tolerance to abiotic stress: A review of most often engineered target sequences. Plant Growth Regulation. 83: 175-198. doi.org/10.1007/s10725-017-0251-x

Gonzalez-Aguilar, G.A., Villegas-Ochoa, M.A., Martínez-Tellez, M.A., Gardea, A.A. & Ayala-Zavala, J.F. (2007). Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. Journal of Food Science, 72(3): S197-S202. doi.org/10.1111/j.1750-841.2007.00295.x

Hamauzu, Y., (2006). Role and evolution of fruit phenolic compounds during ripening and storage. *Stewart Postharvest Review*, 2(2): 1-7. doi: 10.2212/spr.2006.2.5

Hamed, M., Kalita, D., Bartolo, M. E. & Jayanty, S. S. (2019) Capsaicinoids, polyphenols and antioxidant activities of Capsicum annuum: Comparative study of the effect of ripening stage and cooking methods. Antioxidants. 8: E364. doi: 10.3390/antiox8090364

Harder, M.N.C., De Toledo, T.C.F., Ferreira, A.C.P. & Arthur, V. (2012). Determination of changes induced by gamma radiation in nectar of kiwi fruit (*Actinidia deliciosa*). *Radiation Physics and Chemistry,* 78(7): 579-582. doi.org/10.1016/j.radphyschem.2009.04.012

Heinze, M., Hanschen, F. S., Wiesner-Reinhold, M., Baldermann, S., Grafe, J. & Schreiner, M. (2018) Effects of developmental stages and reduced UVB and Low UV conditions on plant secondary metabolite profiles in Pak Choi (*Brassica rapa* subsp. chinensis). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 66: 1678-1692. doi: 10.1021/acs.jafc.7b03996

Hernandez-Munoz, P. , Almenar, E. , Valle, V. D. , Velez, D. & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110 :428-435 doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.02

Hornero-Mendez, W., & Minguez-Mosquera, M.I. (2002). Chlorophyll disappearance and chlorophyllase activity during ripening of *Capsicum annuum* L. fruits. *Science Food Agriculture*, 82: 1564–1570. doi.org/10.1002/jsfa.1231

Jiang, Y., Yu, L., Hu, Y., Zhu, Z., Zhuang, C., Zhao, Y. & Zhong, Y. (2020) The preservation performance of chitosan coating with different molecular weight on strawberry using electrostatic spraying technique. International Journal of Biological Macromolecules. 151: 278-285. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.169

Lee, N.Y., Jo, C., Sohn, S.H., Kim, J.K. & Byun, M.W. (2006). Effects of gamma irradiation on the biological activity of green tea byproduct extracts and a comparison with green tea leaf extracts. *Journal of Food Science*, 71(4): 269- 274. doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00017.x

Majeed, A., Muhammad, Z., Majid, A., Shah, A.H., & Hussain, M. (2014). Impact of low doses of gamma irradiation of shelf life and chemical quality of strawberry (*Fragaria x ananassa*) cv.'Corona'. Journal of Animal and Plant

Sciences. 24(12):. 1531-1536. doi:org by 83.120.79.111, on 06/18/24

Makkar, H.P.S., Siddhuraju, P. & Becker, K., (2007). Plant Scecondary Metabolites (Methods in Molecular Biology).Series volume number 393, Humana Press, New Jersey. 130 page doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.02.015

Mali, A.B., Khedkar, K. & Lele, S.S. (2011). Effect of gamma irradiation on total phenolic content and in vitro antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) peels. *Food and Nutrition Sciences*, 2(5): 428-442. doi:10.4236/fns.2011.25060

Mirzai, M., Tabatabayi Kalor, R., Metoli, A. & Ismailzadeh Kanari, R. (2018). The effect of ozone and citric acid pretreatments on the quality characteristics of cucumbers in modified atmosphere packaging. *New Food Technologies Quarterly*, 5(3):361-372. doi:10.22104/jift.2017.2344.1545

Moosavi, S. F., Haghighi, M., & Parnianifard, F. (2023). Effect of Fruit Pruning on Qualitative and Performance Indices of Two Bell Pepper Cultivars (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Vegetables Sciences*, *7*(1), 61-79. doi: 10.22034/IUVS.2022.562380.1234

Mostafavi, H.A., Mirmajlessi, S.M.,Mirjalili, S.M., Fathollahi, H. & Askari, H. (2012). Gamma radiation effects on physicochemical parameters of apple fruit during commercial post-harvestpreservation. *Radiation Physics and Chemistry*. 81: 666-671. doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.02.015

Mustofi, Y. & Asghari Marjanlou, A. (2010). Effect of C-UV irradiation on control of gray rot and post-harvest quality of strawberry (*Selva*). *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 41(1):41-80. doi: 20.1001.1.2008482.1389.41.1.4.8

Naresh, K., Varakumar, S., Variyar, P.S., Sharma, A. & Reddy, O.V.S. (2015). Effect of γ-irradiation on physico-chemical and microbiological properties of mango (*Mangifera indica* L.) juice from eight Indian cultivars. *Food Bioscience*, 12:.1- 9. doi.org/10.1016/j.fbio.2015.06.003

Nazari M, Khalili F, Ebrahimi R, Mostofi Y, & Jafarpour M. (2023). Effect of postharvest UV-C irradiation and DPI treatment on some biochemical characteristics of sweet pepper fruits (Capsicum annuum var. Nirvin) during storage. Journal of Plant Process and Function. 11 (47) :301-321. doi:20.1001.1.23222727.1401.11.47.14.3

Nemtano, W. J., Shannon J., Glenn, R. S. & Bruce, B. (2005). Psycholo *GY* in Extremis: Preventing Problems of Professional Competence in Dangerous Practice Settings. *American Psychological Association*. 42: 94-104. doi.org/10.1037/a0022365

Oliveira, A. C., Silva, L. C., Oliveira, M., Modolo, S. & Arthur, D. (2011). Evaluation of gamma radiation of minimally processed kiwifruit. Internathional Meeting on Radiation Processing. *Montreal*. 189 p. dio: 0.1111/jfpp.15309

Pezzutti, A., Matzkin, M.R. & Croci, C.A. (2005). Gamma irradiation improved the quality of onion flakes used by Argentine consumers. *Journal of Food Processing and Preservation*, 29(2):120-131. doi: 10.1111/j.1745-4549.2005.00018.x

Reque, P.M., Steffens, R.S., Jablonski, A., Flôres, S.H., Rios, A.D.O. & de Jong, E.V., (2014). Cold storage of blueberry (*Vaccinium* spp.) fruits and juice: Anthocyanin stability and antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33(1):.111-116. doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.007

Shalmani, A., Naserian Khabani, H., Ahri Mostafavi, H., Heydarieh, M. & Majdabadi, A. (2019). Nuclear Agriculture, Nuclear Science and

Technology Research Institute, Nuclear Energy Organization.

Sharma, B. & Mishra, K. (2017). Micro-mutations for fruit number, fruit length and fruit yield characters in gamma-irradiated generation of ANKUR-40 variety of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Monech). *International Journal of Plant Sciences*. Muzaffarnagar, 2(2): 208-211.

Sheibani-Rad, A., & Haghighi, M. (2015). The Effect of Different Concentrations of Nutrient Solution Nitrogen and Root Temperature on Stress Indices in Lettuce and Bell Pepper. *Journal of Vegetables Sciences*, *1*(1), 11-20. doi: 10.22034/iuvs.2015.15349

Stalter, R. & Howath, D. (2018). Gamma Radiation. St. Johns university USA, www.intechopen.com.

Thanh, L.T., H.T. Trung, P.V. Nhi and Vu Thi Trac. 2018. Induction of materials for mutation breeding of strawberry (*Fragaria*×*Ananassa*) by gamma irradiation (Phase 2). Vietnam Atomic Energy Institute, *Hano*i, Vietnam, pp. 219-228.

Tsegay, D., Tesfaye, B., Mohammed, A., Yirga, H., & Bayleyegn, A. (2013). Effects of harvesting stage and storage duration on postharvest quality and shelf life of sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties under passive refrigeration system. Int. J. Biotechnol. Mol. Biol. Res. 4(7): 98–104. doi.org/10.5897/IJBMBR2013.0154

Vicente, A.R., Pineda, C., Lemoine, L., Civello, P.M., Martinez, G.A. & Chaves, A.R., (2005). UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest Biology and Technology*, 35(1):.69-78. doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.06.001

Zhang, H., Jiang, L., Ye, S., Ye, Y. & Ren, F. (2010). Systematic evaluation of antioxidant capacities of the ethanolic extract of different tissues of jujube (*Ziziphus jujuba Mill.*) from China. *Food and chemical toxicology*. 48(6):1461-1465. doi: 10.1016/j.fct.2010.03.011