

Development of the Continuous Ultraviolet Irradiation System and the Evaluation of Its Impact on Some Quality Properties of Ready-to-Use Pomegranate Arils

REZA KARIMZADEH¹, HOSSEIN MAGHSOUDI^{1*}, HAMIDREZA AKHAVAN², KAZEM JAFARI-NAEIMI¹

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

2. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

(Received: Aug. 23, 2019- Nov. 22, 2019- Accepted: Dec. 22, 2019)

ABSTRACT

In this present study, the effect of ultraviolet radiation in the UV-C range with the wavelength of 254 nm on the increasing shelf-life of pomegranate arils was evaluated. For this purpose, at the first, a continuous ultraviolet irradiation system was constructed and pomegranate arils were irradiated with two doses of 6.3 and 8.4 kJ/m^2 . The results showed that the simple and interactive effects of UV irradiation, container type and storage time on the weight loss and color indices were significant and on average caused 27% decrease in weight loss, 7% increase in the L^* index, 6.7% decrease in the a^* value and 10% increase in the b^* value of the control samples. With increasing irradiation dose, the total bacterial and fungal count were significantly reduced by 1.65 Log cfu g^{-1} . Furthermore, the irradiation had a significant effect on the studied sensory properties (aroma, color, texture, and overall acceptance). Generally, based on the results of sensory evaluation, color indices and microbial growth, irradiation dose of 6.3 kJ/m^2 is recommended to increase pomegranate arils shelf-life in non-porous packaging.

Keywords: Ultraviolet irradiation, Pomogrenate arils, Shelf-life, Quality Properties.

* Corresponding Author's Email: h.maghsoudi@uk.ac.ir

توسعه سامانه پیوسته پرتودهی فرابنفش و ارزیابی تاثیر آن بر برخی ویژگی‌های کیفی دانه‌های انار آماده مصرف

رضا کریم‌زاده^۱، حسین مقصودی^{۱*}، حمیدرضا اخوان^۲، کاظم جعفری‌نعیمی^۱

۱. بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲. بخش علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۱۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۹/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۲)

چکیده

در پژوهش حاضر تاثیر تابش فرابنفش در محدوده UV-C با طول موج ۲۵۴ نانومتر در بهبود ماندگاری دانه‌های انار ارزیابی گردید. برای این منظور ابتدا سامانه پیوسته پرتودهی فرابنفش ساخته شد و دانه‌های انار با دوز ۶/۳ و ۸/۴ کیلوژول بر مترمربع پرتودهی شدند. نتایج نشان داد که اثرات ساده و متقابل تابش فرابنفش، نوع ظرف و مدت زمان نگهداری بر افت وزن و شاخص‌های رنگ معنی‌دار شد و به طور متوسط باعث ۲۷٪ کاهش در افت وزن، ۷٪ افزایش در شاخص L^* ، ۶/۷٪ کاهش در مقدار a^* و ۱۰٪ افزایش در مقدار b^* نمونه‌های کنترل نسبت به شاهد گردید. با افزایش دوز پرتودهی شمارش کل باکتری‌ها و قارچ‌ها به صورت معنی‌دار و به میزان ۱/۶۵ چرخه لگاریتمی در هر گرم کاهش یافت. به علاوه، پرتودهی تاثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های حسی مورد مطالعه (رنگ، طعم و مزه، عطر و بو، بافت و پذیرش کلی) داشت. به‌طور کلی، بر مبنای نتایج ارزیابی حسی، شاخص‌های رنگ و رشد میکروبی، دوز تابش ۶/۳ کیلوژول بر مترمربع برای افزایش ماندگاری دانه‌های انار قرار گرفته در بسته‌بندی بدون منفذ پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تابش فرابنفش، دانه انار، ماندگاری، ویژگی‌های کیفی.

مقدمه

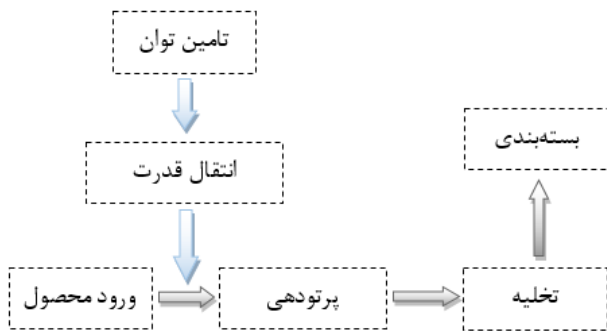
روش‌های غیرفعال‌سازی حرارتی و شیمیایی به‌طور سنتی برای ضدعفونی کردن میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده می‌شود. روش‌های حرارتی برای محصولات حساس به حرارت مناسب نیست و می‌تواند ویژگی‌های کیفی مواد غذایی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. همچنین روش‌های شیمیایی معمول که در افزایش ماندگاری مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند به دلیل داشتن اثرات نامطلوب باعث افزایش نگرانی مصرف‌کنندگان شده است. بر این اساس، تاکنون روش‌های جایگزین متعددی برای ایمن کردن مواد غذایی فرآوری شده توسعه داده شده است، که هدف بیشتر آنها پرهیز از به‌کارگیری حرارت و افزودن مواد شیمیایی است. در میان این روش‌ها، تابش فرابنفش در سال‌های اخیر با توجه به هزینه کم و سهولت استفاده، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است.

تابش فرابنفش به وسیله لامپ جیوه تولید می‌شود و شامل تابش الکترومغناطیسی در محدوده طول موج ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر است. طیف نور فرابنفش به چهار بخش UV-A (۳۱۵-۴۰۰ نانومتر)، UV-B (۲۸۰-۳۱۵ نانومتر)، UV-C (۲۸۰-۲۰۰ نانومتر) و فرابنفش خلاء (۱۰۰-۲۰۰ نانومتر) تقسیم می‌شوند. برای فرآوری ایمن مواد غذایی با استفاده از تابش فرابنفش،

استفاده از لامپ‌های جیوه‌ای کم فشار، که حدود ۹۰ درصد پرتوها را در طول موج ۲۵۳/۷ نانومتر پخش می‌کنند، توصیه شده است (Demirci & Ngadi, 2012). این پرتوها باعث تغییرات فتوشیمیایی در DNA میکروارگانیسم‌ها می‌شود که در نهایت باعث مهار رشد میکروارگانیسم‌ها می‌گردد (Begum et al., 2009).

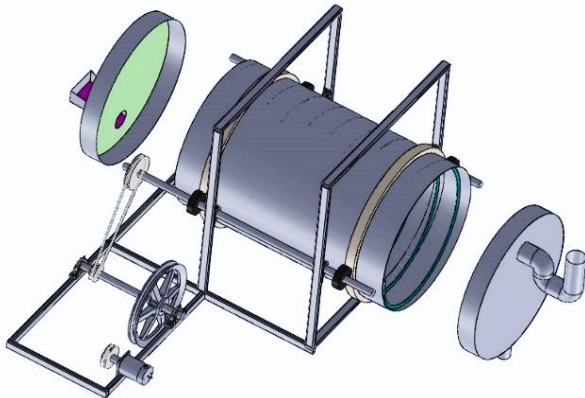
نور فرابنفش در صنعت مواد غذایی برای ضدعفونی کردن میوه‌ها و سبزیجات استفاده می‌گردد تا با غیرفعال‌سازی میکروبی، زمان ماندگاری این محصولات افزایش یابد (Begum et al., 2009). تابش پیوسته پرتوهای فرابنفش در مواد غذایی می‌تواند به عنوان روش جایگزین مواد شیمیایی استفاده گردد (Demirci & Ngadi, 2012).

نور فرابنفش می‌تواند منجر به تغییرات مطلوب در غذاها شود. تیمار فرابنفش میوه گوجه فرنگی با دوز ۳/۷ کیلوژول بر متر مربع و نگهداری در دمای ۱۶ درجه سلسیوس در رطوبت ۹۵ درصد به‌طور قابل توجهی فرآیند فساد را حداقل به مدت یک هفته به تعویق انداخت. در نتیجه، فرآیند تولید رنگ و لیکوپین و کاهش کلروفیل در طی دوره ذخیره‌سازی ۳۵ روزه کاهش یافت (Maharaj et al., 2010). پرتوهای فرابنفش با فعال کردن آنزیم فنیل آلانین آمونیا-لیاز؛ باعث تولید ترکیبات فنلی مانند فیتوالکسین‌ها در میوه‌ها و سبزی‌ها می‌گردند. این ترکیبات با



شکل ۱: نمودار روندنمای سامانه پیوسته تابش فرابنفش با هدف افزایش ماندگاری دانه‌های انار

با توجه به نمودار روندنمای سامانه تغذیه پیوسته سترون-سازی محصولات دانه‌ای، این دستگاه متشکل از چند بخش اصلی قاب، موتور، سیستم انتقال قدرت، محفظه پرتودهی، لامپ‌های فرابنفش و درب‌های ورودی و خروجی می‌باشد که قبل از اقدام به ساخت این دستگاه ابتدا بخش‌های مختلف در محیط Part در نرم‌افزار SolidWorks نسخه ۲۰۱۵ طراحی و سپس در محیط Assembly، مونتاژ شدند (شکل ۲). به منظور اطمینان از نحوه عملکرد سامانه سترون‌سازی پیش از ساخت، شبیه‌سازی و تحلیل حرکتی در بخش Motion Study این نرم‌افزار انجام شد.



شکل ۲: تصویری از سامانه طراحی شده در نرم‌افزار SolidWorks 2015

برای پرتودهی دانه‌های انار در سامانه سترون‌سازی محصولات دانه‌ای نیاز به فضایی با ویژگی‌های زیر می‌باشد: عدم خروج پرتوها، بیشترین استفاده از پرتوهای تولید شده، ایجاد کمترین مقدار سایه، فراهم نمودن دُر کافی برای سترون‌سازی محصول (Elmnasser *et al.*, 2007). از بین گزینه‌های موجود برای طراحی، محفظه استوانه‌ای شکل به دلیل طول کمتر، فراهم کردن زمان پرتودهی کافی، زیر و رو کردن محصول و همچنین تامین فضایی کاملاً بسته به منظور عدم انتشار پرتوهای فرابنفش به سمت کاربر، مدنظر قرار گرفت. استوانه طراحی شده از جنس استیل (فولاد ضد زنگ) ساخته شد. استیل ضد زنگ به عنوان

کاهش فساد ناشی از فعالیت میکروبی از طریق افزایش مقاومت میوه‌ها و سبزی‌ها در برابر میکروارگانیسم‌ها نقش مهمی دارند (Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2004). در این راستا، تیمار UV-C سبب تحریک فعالیت فنیل آلانین آمونیا-لیاز و دو آنزیم دفاعی دیگر گیاه یعنی کیتیناز^۱ و بتا-۱، ۳-گلوکاناز^۲ در میوه هلو گردید (El Ghaouth *et al.*, 2003). پرتوهای فرابنفش با افزایش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی میوه توت‌فرنگی، میزان فساد آن را در مقایسه با نمونه کنترل به طور قابل توجهی کاهش داد (Erkan *et al.*, 2008). همچنین گزارش شده است که پرتوهای فرابنفش باعث افزایش تجمع آنتوسیانین‌ها و در نتیجه حفظ بهتر رنگ در میوه گیلاس گردید (Arakawa, 1993). تابش UV-C با کاهش فعالیت آنزیمی و میکروبی موجب کاهش روند پیری، فساد و بهبود ویژگی‌های بافتی و ظاهری میوه‌ها در طی نگهداری می‌گردد (Lamikanra *et al.*, 2005).

گرچه استفاده از تابش فرابنفش به منظور کاهش بار میکروبی و ضدعفونی کردن سطحی در پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شده است، اما شیوه تابش در اغلب این مطالعات به صورت غیرمداوم بوده و به منظور پوشش‌دهی تمام سطوح نمونه‌ها، محصول پرتودهی شده به صورت دستی چرخانده شده است (Andrade-Cuvi *et al.*, 2017; Gabriel *et al.*, 2017). لذا در این پژوهش، دستگاهی به منظور پرتودهی پیوسته و مداوم برای کارگیری در خطوط فرآوری محصولات کشاورزی طراحی و ساخته شد و سپس تاثیر پرتودهی با تابش فرابنفش، نوع بسته‌بندی (منفذ دار و بدون منفذ) و همچنین مدت زمان نگهداری بر افت وزن، بار میکروبی و همچنین ویژگی‌های حسی دانه‌های انار در طی دوره انبارمانی در دمای یخچالی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

طراحی دستگاه

از آنجا که در سایر پژوهش‌های انجام شده، دستگاهی مناسب برای بهبود ماندگاری محصولات دانه‌ای و میوه‌های تازه مشاهده نشد، طراحی سامانه پرتودهی پیوسته محصولات دانه‌ای از جمله دانه‌های انار با امکان پرتودهی سطوح مختلف آنها به منظور افزایش ماندگاری مدنظر قرار گرفت تا بتوان با حداقل دخالت دست، نمونه‌های سترون‌شده توسط تابش فرابنفش را در بسته-های سترون شده وارد نمود. شکل ۱ نمودار روندنمای این سامانه را نشان می‌دهد.

یک ماده اولیه مناسب در تولید وسایل پزشکی و صنایع غذایی در اغلب زمینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Shih et al., 2004). به منظور فراهم کردن زمان مورد نیاز برای چرخش محصول درون استوانه با هدف پرتودهی و همچنین با توجه به امکانات موجود، برای استوانه قطر ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر انتخاب گردید. دانه‌های انار بایستی از یک سمت وارد این استوانه افقی و دوار شده و پس از حرکت در یک مسیر مارپیچی درون استوانه از سمت دیگر خارج شوند. چرخش استوانه تغذیه علاوه بر حرکت رو به جلوی دانه‌ها، پشت و رو کردن آنها را نیز به عهده دارد.

برای ایجاد و کنترل حرکت رو به جلوی محصول در داخل محفظه پرتودهی هنگام چرخش، از یک مارپیچ یا هلیس با گام ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳ سانتی‌متر استفاده شد. به منظور ایجاد هلیس داخل محفظه پرتودهی از شیلنگ‌های لاستیکی (لوله‌های خرطومی) که دور این نوارها توسط فویل پوشش داده شد، استفاده گردید. برای جلوگیری از بیرون ریختن و اتلاف محصول، لبه جلویی استوانه توسط یک نوار لاستیکی مسدود شد.

لامپ‌های جیوه کم فشار نیز که به منظور تولید پرتوهای UV-C استفاده شدند، به حالت افقی در داخل استوانه قرار گرفتند تا در اثر تابش پرتوهای فرابنفش به طرف محصول عملیات میکروبوکشی انجام شود. نحوه به کارگیری، نصب صحیح و استفاده از لامپ مناسب در طراحی دستگاه‌های ضدعفونی با تابش فرابنفش بسیار حائز اهمیت می‌باشد، لیکن در ساخت این دستگاه از ۷ عدد لامپ فرابنفش به صورت متمرکز در درون استوانه استیل به منظور ایجاد بازتابش بیشتر پرتوهای فرابنفش استفاده شد تا به بهترین شکل ممکن ضدعفونی فضای داخلی استوانه و محصول دانه‌ای داخل آن، انجام شود. در این پژوهش از ۷ عدد لامپ مهتابی ۳۰ وات ساخت شرکت فیلیپس چین با طول تقریبی ۹۰ سانتی‌متر در ساخت دستگاه استفاده شد. برای تامین برق مورد نیاز لامپ‌ها از چهار عدد ترانسفورماتور (۴۰w ~ ۱۸w) مارک میکرو، برای تبدیل برق ۲۲۰ ولت شهری استفاده شد.

به منظور حفاظت بیشتر از کاربر در برابر خروج پرتوهای فرابنفش و همچنین هدایت و کنترل بهتر محصول هنگام ورود به محفظه پرتودهی و تخلیه از آن، دو درب در ابتدا و انتهای دستگاه ساخته شد. روی درب ورود یک لوله با شیب ۴۵ درجه و قطر ۱۰ سانتی‌متر تعبیه شده تا محصول به راحتی وارد استوانه شود. همچنین در پایین‌ترین بخش درب خروجی نیز از یک لوله برای خروج محصول استفاده شد. در قسمت بالای هر یک از درب‌ها مجرای برای ورود سیم‌های برق و شاسی نگه‌دارنده لامپ‌های فرابنفش تعبیه گردید.

در این پژوهش به منظور تامین توان مورد نیاز برای دوران

محفظه پرتودهی در سامانه سترون‌سازی محصولات دانه‌ای از یک موتور برف پاک‌کن خودرو (موتور الکتریکی ۱۲ ولت مستقیم) استفاده شد. برق مورد نیاز موتور از یک باتری ۱۲ ولت ۶۰ آمپر ساعت تامین شد. در تمام مدت انجام آزمایش‌ها با هدف ثابت ماندن سرعت موتور، یک آداپتور به باتری متصل شد تا مقدار آمپر و ولتاژ خروجی بدون نوسان باقی بماند. موتور استفاده شده دارای سرعت دورانی ۴۲ دور بر دقیقه بود که با توجه به پایین بودن سرعت موتور، به کمک یک تایمر تعداد دور در واحد زمان محاسبه گردید.

انتقال قدرت از مبداء موتور الکتریکی به مقصد استوانه پرتودهی و تغییر سرعت چرخش استوانه در سامانه سترون‌سازی محصولات دانه‌ای به وسیله تعدادی تسمه و پولی صورت گرفت. پولی‌های استفاده شده در این دستگاه از جنس آلومینیوم خشک تهیه شدند. پولی‌های ثابت با قطرهای ۸۰، ۶۰ و ۱۵۰ میلی‌متر و پولی متغیر در دو سایز ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌متر استفاده شد. هر یک از پولی‌ها توسط یک پیچ مغزی روی سطح صاف محورها تنظیم و محکم شدند. با توجه به نفوذ سطحی تابش فرابنفش، بایستی مدت زمان کافی برای پرتودهی محصول فراهم شود. لذا ابعاد پولی‌ها به نحوی محاسبه شد تا سرعت مناسب برای چرخش استوانه و در نتیجه دُز کافی برای سترون‌سازی محصول تامین گردد.

برای تنظیم مدت زمان نگهداری محصول در استوانه از دو پولی با قطرهای متفاوت استفاده شده است. با استفاده از پولی به قطر ۳۰۰ میلی‌متر سرعت استوانه حدود ۰/۸۹ دور بر دقیقه به دست آمد که با توجه به قطر استوانه (۵۰۰ میلی‌متر) و گام مارپیچ (۱۰۰ میلی‌متر)، محصول وارد شده به استوانه پس از مدت زمانی حدود ۱۱/۲۳ دقیقه از انتهای دستگاه خارج می‌گردد. همین محاسبات برای پولی ۴۰۰ میلی‌متری نیز انجام شد. سرعت به دست آمده برای استوانه پرتودهی برابر با ۰/۶۷ دور بر دقیقه و در نتیجه مدت زمان ممکن برای پرتودهی محصول حدود ۱۵ دقیقه به دست آمد.

به منظور اندازه‌گیری میزان شدت تابش پرتوهای فرابنفش در سامانه سترون‌سازی محصولات کشاورزی توسط لامپ‌های UV-C، و در نهایت محاسبه میزان دُز مصرفی برای از بین بردن میکروارگانیزم‌ها، از دستگاه لوکس‌متر مدل GMBH-666230 ساخت کشور آلمان، استفاده شد. این ابزار در فاصله‌های ۳۰ سانتی‌متری از ۷ عدد لامپ فرابنفش موجود درون دستگاه شدت پرتودهی را ۹/۳ وات بر مترمربع اندازه‌گیری کرد. به منظور تبدیل شدت تابش به دُز از رابطه ۱ استفاده گردید:

$$D = E \times t \quad (\text{رابطه ۱})$$

از مخلوط کردن و همگن کردن، عمل پرتودهی دانه‌های انار در سامانه پیوسته فرابنفش انجام گرفت.

قبل از ضدعفونی کردن دانه‌های انار، ظروف مورد استفاده برای بسته‌بندی آنها با الکل ۷۰ درصد ضد عفونی شده و به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه قرار گرفتند. قبل از انجام آزمایش سطح داخلی محفظه استوانه‌ای با الکل ۷۰ درصد ضد عفونی گردید. همچنین به منظور رسیدن به حالت تعادلی و استریل شدن سطح استوانه داخلی، لامپ‌های فرابنفش به مدت ۱۵ دقیقه قبل از انجام آزمایش‌ها روشن شدند. دانه‌های انار از لوله‌ی ورودی وارد محفظه استوانه‌ای تابش فرابنفش شدند و پس از ۱۱ دقیقه پرتودهی (در نوبت دوم ۱۵ دقیقه)، از خروجی محفظه استوانه‌ای تخلیه و در داخل ظروف مکعبی شکل از جنس پلی اتیلن ترفتالات ریخته شدند. دانه‌ها در دو نوع ظرف منفذدار (۵ منفذ با قطر ۱ میلی‌متر) و بدون منفذ بسته‌بندی شدند. سپس دانه‌های انار بسته‌بندی شده در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند تا برخی ویژگی‌های کیفی زیر در طی ۱۵ روز نگهداری ارزیابی گردند.

شاخص‌های کیفی مورد ارزیابی

افت وزن

از آنجا که وزن از جمله ویژگی‌های کیفی مؤثر در میوه‌ها و سبزی‌های تازه می‌باشد، در طی دوره نگهداری، مقدار کاهش وزن ناشی از تعرق و تنفس در نمونه‌های بسته‌بندی شده انار نسبت به روز اول آزمایش با استفاده از رابطه ۲ تعیین گردید.

$$W_L = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در این رابطه W_L کاهش وزن (%)، W_1 وزن اولیه (g) و W_2 وزن نهایی (g) نمونه‌ها را نشان می‌دهند (Gabriel et al., 2017).

رنگ سطحی دانه‌های انار

رنگ دانه‌های انار با قرار دادن تقریباً ۵-۷ دانه در کنار هم، با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج مدل TES-135 ساخت کمپانی TES تایوان، بررسی و شاخص‌های L^* جهت سنجش تقریبی روشنی $(+100)$ /تیرگی (0) ، برای قرمزی $(+100)$ /سبزی (-100) و b^* برای زردی $(+100)$ /آبی (-100) اندازه‌گیری شد.

ارزیابی میکروبی

محیط کشت پلیت کانت آگار و عصاره مخمر گلوکز کلرامفنیکل آگار^۳ به ترتیب برای شمارش باکتری‌ها و قارچ‌ها مورد استفاده

که در این رابطه D دُز تابش بر حسب ژول بر مترمربع (J/m^2) ، E شدت تابش بر حسب وات بر مترمربع (W/m^2) و t مدت زمان تابش بر حسب ثانیه (s) می‌باشد. لذا برای مدت‌زمان پرتودهی ۱۱/۲۳ دقیقه دُز ۶/۳ کیلوژول بر مترمربع و برای مدت-زمان ۱۵ دقیقه، دُز ۸/۴ کیلوژول بر مترمربع حاصل شد. به منظور تنظیم و تثبیت موقعیت لامپ‌های فرابنفش از یک بخش نگه‌دارنده درون محفظه پرتودهی استفاده شد. این بخش شامل شاسی ثابت، یک شاسی جدا شونده یا متحرک، چهار پایه نگه‌دارنده، ترمینال‌های لامپ‌ها و شاسی چوبی می‌شود. ترمینال مربوط به لامپ‌های فرابنفش با هدف عایق شدن بری روی شاسی چوبی نصب و سپس شاسی‌های چوبی در دو طرف شاسی جدا شونده پیچ شدند. روی شاسی ثابت دو پایه نگه‌دارنده نصب شده که شاسی جدا شونده یا متحرک بین این دو پایه پیچ شده و می‌توان ارتفاع لامپ‌ها را تا سطح محصول تنظیم کرد. لامپ‌های فرابنفش در داخل ترمینال‌ها توسط پیچ بسته می‌شوند. تمامی اجزای سامانه روی یک قاب (شاسی) با طول ۱۵۰ cm، عرض ۷۰ cm و ارتفاع ۴۰ cm، که از پروفیل آهنی با سطح مقطع $40 \times 40 \text{ mm}^2$ تشکیل شده بود، قرار گرفتند. به منظور ایجاد محلی برای قرارگیری سیستم انتقال توان از جمله موتور، پولی‌ها و یا تاقان-ها، بخش دیگری با ابعاد $50 \times 30 \text{ cm}^2$ کنار این شاسی اضافه شد. شکل ۳ ساختار کلی سامانه سترون‌سازی محصولات دانه‌ای شامل تمام بخش‌های ذکر شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳: ساختمان کلی سامانه سترون‌سازی محصولات دانه‌ای مورد استفاده در این پژوهش

آماده‌سازی، پرتودهی و بسته‌بندی دانه‌های انار

برای ارزیابی عملکرد دستگاه، حدود ۱۰ کیلوگرم انار ملس یزدی از مرکز تحقیقات کشاورزی یزد تهیه شده و درون یخچال در دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس نگهداری شد. نمونه‌های انار خریداری شده برای آزمایش، فاقد آفتاب سوختگی و ترک خوردگی و کاملاً سالم بودند. پس از پوست‌گیری و جداسازی، دانه‌های انار در داخل ظرف ضدعفونی شده با اتانول ۷۰ درصد حجمی ریخته شد و پس

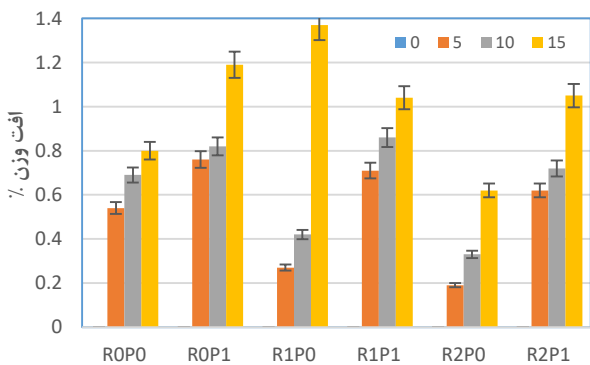
3. Yeast Extract Glucose Chloramphenico (YGC)

1. Polyethylene terephthalate
2. Bate Count Agar (PCA)

نمونه‌های تیمار شده با تابش فرابنفش نسبت به نمونه کنترل به مقدار 27 درصد کمتر حاصل شد. در پژوهش انجام شده در مورد میوه هلو گزارش شد که با بکارگیری تابش فرابنفش، نمونه‌های کنترل درصد کاهش وزن بیشتری داشتند، ولی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت (Gonzalez-Aguilar et al., 2004). همچنین Stevens et al., (1996) گزارش دادند که با افزایش دُز پرتودهی میزان افت وزن میوه‌های درختی از جمله انار، هسته-دارها و مرکبات کاهش می‌یابد. با توجه به این که نرخ تنفس به طور مستقیم بر کاهش وزن موثر است، Baka et al. (1999) گزارش کردند که پرتودهی با تابش فرابنفش، نرخ تنفس در توت‌فرنگی را کاهش داد، این می‌تواند گواهی بر کمتر بودن افت وزن در نمونه‌های تیمار شده باشد.

جدول 1: نتایج تجزیه واریانس افت وزن دانه‌های انار در طی مدت نگهداری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
دز تابش فرابنفش	2	0/045**
نوع ظرف	1	0/704**
مدت نگهداری	2	2/467**
دز تابش × نوع ظرف	2	0/056**
دز تابش × مدت نگهداری	4	0/102**
نوع ظرف × مدت نگهداری	2	0/022**
دز تابش × ظرف × مدت نگهداری	4	0/050**



شکل 4: درصد افت وزن دانه‌های انار تحت تاثیر دُزهای تابش، نوع بسته‌بندی و مدت زمان نگهداری

ROP0 نمونه کنترل در بسته‌بندی بدون منفذ، **ROP1** نمونه کنترل در بسته‌بندی بندی منفذدار، **R1P0** نمونه پرتودهی شده با دُز $6/3 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی بدون منفذ، **R1P1** نمونه پرتودهی شده با دُز $6/3 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی منفذدار، **R2P0** نمونه پرتودهی شده با دُز $8/4 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی بدون منفذ، **R2P1** نمونه پرتودهی شده با دُز $8/4 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی منفذدار

تغییرات رنگ نمونه‌های دانه انار

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده دُز تابش فرابنفش بر L^* و a^* در سطح احتمال یک درصد و b^* در سطح پنج درصد

قرار گرفتند. برای ارزیابی میکروبی، 10 گرم دانه انار در شرایط استریل از بسته‌بندی خارج گردید و به 90 میلی‌لیتر سرم فیزیولوژیک استریل اضافه شد و چندین رقت متوالی (1 میلی‌لیتر نمونه با 9 میلی‌لیتر سرم فیزیولوژیک) تهیه گردید. شمارش کلی کپک و مخمر و باکتری‌ها به ترتیب با روش‌های کشت سطحی و کشت آمیخته¹ انجام گرفت. برای شمارش باکتری‌های معتدل‌دوست هوایی، پلیت‌ها در دمای 30 درجه سلسیوس به مدت 48 ساعت و برای شمارش کپک و مخمر، پلیت‌ها در دمای 25 درجه سلسیوس به مدت 3 تا 5 روز گرمخانه‌گذاری شدند (Radi et al., 2017). نتایج به صورت لگاریتم تعداد کلنی بر گرم دانه انار تازه ($\log \text{cfu g}^{-1}$) بیان گردید. حد تشخیص کمتر از 1 سیکل لگاریتمی در نظر گرفته شد.

ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی انار (رنگ، طعم و مزه، عطر و بو، بافت و پذیرش کلی) توسط 12 ارزیاب آموزش دیده که شناخت کافی از میوه انار و ویژگی‌های کیفی آن داشتند به روش هدونیک 9 نقطه‌ای انجام گرفت. بر این مبنای، رنگ، طعم و مزه، عطر و بو و پذیرش کلی از بسیار بد (1) تا بسیار عالی (9) و بافت از بسیار نرم (1) تا بسیار سفت (9) توسط ارزیاب‌ها امتیاز دهی شدند. امتیاز بالاتر از 5 به عنوان پذیرش نسبی ارزیاب‌ها در نظر گرفته شد.

تجزیه آماری

آزمون‌ها در قالب طرح فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی انجام گرفت و نتایج آزمایش‌ها به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد بیان گردید. آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین نمونه‌ها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان 95 درصد ($\alpha = 0/05$) با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. در این پژوهش دو نمونه برای هر دُز، پرتودهی شد و هر نمونه در سه تکرار تحلیل گردید.

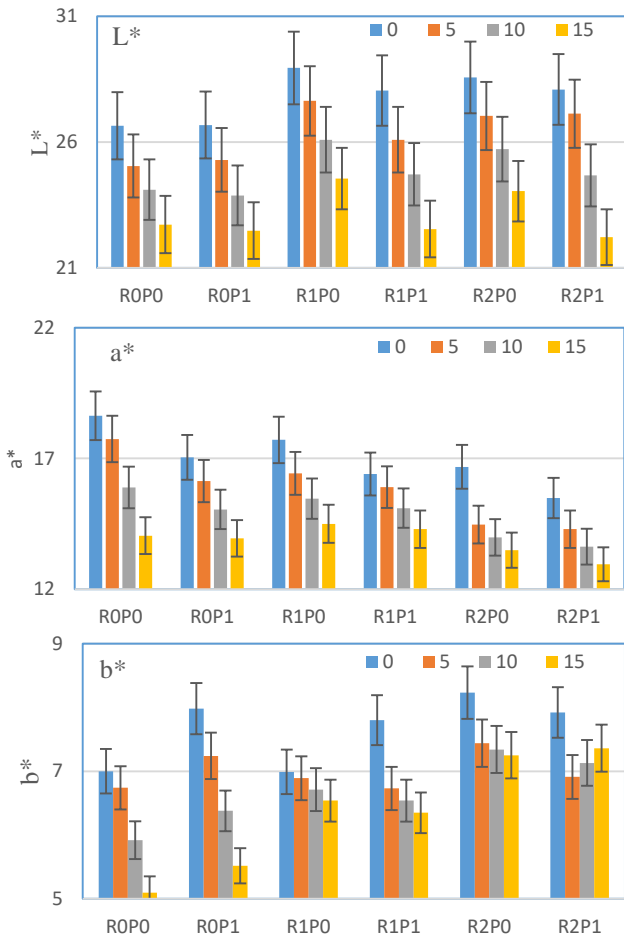
نتایج و بحث

افت وزن

نتایج تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر ساده عوامل دُز تابش فرابنفش، نوع ظرف و مدت زمان نگهداری بر پارامتر افت وزن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین تاثیر متقابل عوامل مورد مطالعه نیز بر افت وزن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول 1).

چنانچه در شکل 4 مشخص است، مقدار افت وزن در طول مدت زمان نگهداری افزایش یافت ولی این کاهش وزن در

موجود زنده خواهد شد (Sommers *et al.*, 2009). باید در نظر گرفته شود که اثر تابش فرابنفش در غیر فعال کردن میکروارگانیسم‌ها بستگی به دُز پرتودهی دارد، زیرا میزان جهش DNA متناسب با مقدار دُز تابش فرابنفش است (Sommers *et al.*, 2009). بنابراین، انتظار می‌رود کاهش بیشتر رشد میکروبی در هنگام استفاده از دُزهای بالاتر پرتوهای فرابنفش باشد (Allende & Artés, 2003)، که چنین موضوعی در پژوهش‌های قبلی در مورد هندوانه (Artés-Hernández *et al.*, 2010) و توت فرنگی (Darvishi *et al.*, 2012) مشاهده شده است. آرتس هراندز و همکاران نیز گزارش دادند که تابش فرابنفش می‌تواند پاتوژن‌ها را در سطح میوه غیرفعال کند (Artés-Hernández *et al.*, 2009). همچنین نوع بسته‌بندی تاثیر معنی‌داری بر رشد میکروبی داشت، به طوری که در بسته‌های منفذدار رشد میکروبی بیشتر از بسته‌بندی بدون منفذ بود.



شکل ۵: تغییر شاخص‌های رنگ L^* ، a^* و b^* دانه‌های انار تحت تاثیر دُزهای تابش، نوع بسته‌بندی و مدت زمان نگهداری

ROPO نمونه کنترل در بسته‌بندی بدون منفذ، **ROP1** نمونه کنترل در بسته‌بندی منفذدار، **R1P0** نمونه پرتودهی شده با دُز $6/3 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی بدون منفذ، **R1P1** نمونه پرتودهی شده با دُز $6/3 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی منفذدار، **R2P0** نمونه پرتودهی شده با دُز $8/4 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی بدون منفذ، **R2P1** نمونه پرتودهی شده با دُز $8/4 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی منفذدار

معنی‌دار شد. دُز بالاتر تابش فرابنفش مقدار L^* را ۱۵ تا ۱۸ درصد در بسته‌بندی‌های منفذ دار بین ۱۵ تا ۲۲ درصد کاهش داد. این اثر می‌تواند ناشی از آسیب سلولی دانه‌های انار ناشی از تابش پرتوهای فرابنفش بوده باشد (Artés-Hernández *et al.*, 2009). شاخص L^* دانه‌های انار پرتودهی شده با تابش فرابنفش بلافاصله بعد از پرتودهی در مقایسه با نمونه‌های کنترل افزایش داشت. در انتهای دوره نگهداری نمونه‌های پرتودهی شده و قرار گرفته در بسته‌بندی بدون منفذ بیشترین میزان L^* را داشتند (شکل ۵). فاکتور قرمزی یعنی a^* در طی دوره نگهداری در تمامی تیمارها کاهش یافت. بیشترین مقدار پارامتر قرمزی در انتهای دوره نگهداری در نمونه تیمار شده با دُز $6/3$ کیلوژول بر مترمربع و قرار گرفته در بسته‌بندی بدون منفذ مشاهده شد. پارامتر b^* نیز به طور کلی در طی دوره نگهداری کاهش یافت و در انتهای دوره نگهداری، شاخص b^* در نمونه‌های تیمار شده با تابش فرابنفش بالاتر بود. در گوجه‌فرنگی تیمار شده، قرمزی کمتری نسبت به نمونه‌های کنترل مشاهده شد که نشانه تاخیر در رسیدگی میوه تحت تابش فرابنفش بوده است (Nirupama *et al.*, 2010). گومز و همکاران گزارش کردند که در پایان دوره ماندگاری نمونه‌های تیمار شده تیره‌تر (مقادیر L^* پایین‌تر) و سبزی کمتری (مقادیر بالاتر a^*) در مقایسه با نمونه کنترل در روز صفر داشتند و این اثر با افزایش دُز تابش افزایش پیدا کرد (Gómez *et al.*, 2010). اثر ساده نوع ظرف بر L^* در سطح احتمال پنج درصد و شاخص a^* در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید، اما شاخص b^* تاثیر معنی‌داری از ظرف نشان نداد. همچنین اثر ساده مدت زمان نگهداری بر شاخص‌های L^* ، a^* و b^* در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید، اما اثرات متقابل دُز تابش، نوع ظرف و مدت نگهداری بر هیچ کدام از شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* تاثیر معنی‌داری نداشتند (به جز اثر متقابل دُز تابش و زمان نگهداری بر شاخص L^*).

ارزیابی میکروبی

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر ساده تابش فرابنفش و مدت زمان نگهداری بر شمارش میکروبی کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و جمعیت میکروبی در طی دوره نگهداری به صورت معنی‌داری افزایش یافت. رشد جمعیت میکروبی در نمونه‌های قرار گرفته در معرض تابش فرابنفش به صورت معنی‌داری کمتر از نمونه کنترل بودند (جدول ۲). دلایل متعددی برای توجیه مؤثر بودن تابش پرتوهای فرابنفش بر جلوگیری از رشد میکروبی وجود دارد. ماهیت این پرتوها به گونه‌ای است که اگر به DNA موجود زنده از جمله میکروب‌ها برخورد کند، باعث ایجاد جهش در ژن‌ها و در نتیجه بروز بی‌نظمی پایدار در سلول‌های موجود زنده می‌شود که در نهایت منجر به مرگ سلول و

جدول ۲: تاثیر تابش پرتوهای فرابنفش بر شمارش کلی باکتری‌ها (Log cfu g^{-1}) دانه‌های انار در طی دوره نگهداری

کد نمونه	زمان نگهداری (روز)			
	۰	۵	۱۰	۱۵
R0P0	$1/65 \pm 0/2^{Da}$	$2/13 \pm 0/2^{Cb}$	$3/24 \pm 0/1^{Bb}$	$3/51 \pm 0/3^{Ab}$
R0P1	N.D	$1/95 \pm 0/2^{Cb}$	$3/57 \pm 0/3^{Ba}$	$3/79 \pm 0/7^{Aa}$
R1P0	$1/65 \pm 0/3^{Da}$	$2/88 \pm 0/1^{Ba}$	$3/49 \pm 0/1^{Aa}$	$2/25 \pm 0/1^{Cd}$
R1P1	N.D	$2/13 \pm 0/2^{Bb}$	$3/11 \pm 0/3^{Ac}$	$3/05 \pm 0/7^{Ac}$
R2P0	N.D	N.D	N.D	$2/35 \pm 0/1^{Ad}$
R2P1	N.D	$2/13 \pm 0/2^{Bb}$	$3/11 \pm 0/3^{Ac}$	$1/95 \pm 0/1^{Be}$

* حروف کوچک در ستون و حروف بزرگ در ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند ($p < 0/05$). منظور از N.D. کمتر از حد تشخیص (کمتر از یک سیکل لگاریتمی) می‌باشد.

R0P0 نمونه کنترل در بسته‌بندی بدون منفذ، R0P1 نمونه کنترل در بسته‌بندی منفذدار، R1P0 نمونه پرتودهی شده با دُز $6/3 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی بدون منفذ، R1P1 نمونه پرتودهی شده با دُز $6/3 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی منفذدار، R2P0 نمونه پرتودهی شده با دُز $8/4 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی بدون منفذ، R2P1 نمونه پرتودهی شده با دُز $8/4 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی منفذدار

فلاونوئید، فیتوآلکسین و ترکیبات فنولیک باشد (Charles *et al.*, 2009). لی و همکاران گزارش کردند که پرتوهای فرابنفش می‌توانند موجب کاهش فساد قارچی در میوه‌ها به وسیله اثر ضد میکروبی علیه میکروارگانیسم‌های مربوطه گردد (Li *et al.*, 2010). همچنین اثرات متقابل دُز تابش، نوع ظرف و مدت نگهداری بر تعداد باکتری و کپک تاثیر معنی‌داری داشتند.

دُز تابش فرابنفش، نوع بسته‌بندی و مدت زمان نگهداری تاثیر معنی‌داری بر رشد کپک و مخمر داشتند. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد در نمونه‌ها پرتودهی شده رشد قارچی کمتر بود. کمترین شمارش قارچی در نمونه‌های تیمار شده با دُزهای بالاتر تابش مشاهده شد. کاهش فساد در محصولات پرتودهی شده ممکن است مرتبط با افزایش مقاومت در برابر فساد در بافت به دلیل تجمع ترکیبات ضد قارچی مانند افزایش تجمع

جدول ۳: تاثیر تابش فرابنفش بر شمارش کلی کپک و مخمر (Log cfu g^{-1}) دانه‌های انار در طی دوره نگهداری

کد نمونه	زمان نگهداری (روز)			
	۰	۵	۱۰	۱۵
R0P0	$1/65 \pm 0/2^{Ca}$	$2/25 \pm 0/3^{Ba}$	$2/56 \pm 0/1^{Ba}$	$2/86 \pm 0/7^{Ab}$
R0P1	$1/65 \pm 0/1^{Ca}$	$2/35 \pm 0/1^{Ba}$	$2/61 \pm 0/2^{Ba}$	$3/05 \pm 0/1^{Aa}$
R1P0	$1/65 \pm 0/3^{Ba}$	N.D	$1/65 \pm 0/1^{Bb}$	$2/13 \pm 0/2^{Ac}$
R1P1	$1/65 \pm 0/2^{Ba}$	$1/65 \pm 0/1^{Bb}$	$2/25 \pm 0/3^{Aa}$	$1/65 \pm 0/3^{ABd}$
R2P0	N.D	N.D	N.D	$1/65 \pm 0/2^{Ad}$
R2P1	$1/65 \pm 0/1^{Aa}$	N.D	N.D	$1/95 \pm 0/3^{Acd}$

* حروف کوچک در ستون و حروف بزرگ در ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند ($p < 0/05$). منظور از N.D. کمتر از حد تشخیص (کمتر از یک سیکل لگاریتمی) می‌باشد.

R0P0 نمونه کنترل در بسته‌بندی بدون منفذ، R0P1 نمونه کنترل در بسته‌بندی منفذدار، R1P0 نمونه پرتودهی شده با دُز $6/3 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی بدون منفذ، R1P1 نمونه پرتودهی شده با دُز $6/3 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی منفذدار، R2P0 نمونه پرتودهی شده با دُز $8/4 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی بدون منفذ، R2P1 نمونه پرتودهی شده با دُز $8/4 \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی منفذدار

اثر ساده دُز تابش فرابنفش، نوع ظرف و مدت زمان نگهداری بر صفات عطر و بو، طعم و مزه، رنگ، بافت و پذیرش کلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. طبق گزارشی در مورد صفات حسی میوه‌های انبه و آناناس (خصوصیات ظاهری، بافت، عطر و

ارزیابی حسی

تاثیر پرتودهی، نوع ظرف و مدت نگهداری بر ویژگی‌های حسی دانه انار با استفاده از ارزیاب‌ها انجام گرفت و نتایج این ارزیابی در نمودارهای شکل ۶ ارائه شده است. براساس نتایج تجزیه واریانس،

می‌گردد. در پژوهش انجام شده روی توت‌فرنگی، تابش فرابنفش سبب افزایش روشنایی و کاهش میزان تغییر رنگ میوه پرتودهی شده در مقایسه با نمونه‌های کنترل شد (mostofi & Asghari, 2010).

داده‌های نمودار بافت نشان داد که در روز اول بیشترین نمره پذیرش از نظر ارزیاب‌ها، به نمونه R1P0 با میانگین ۸/۷، و در روز هفتم و پانزدهم به نمونه R1P0 با مقادیر ۵/۱ و ۶/۲ متعلق بوده است. طبق نتایج تحقیقات مشابه، دُز بالاتر باعث تاخیر در نرم‌شدن بافت محصول می‌شود و در دُزهای پایین‌تر استحکام میوه در طول دوره تیمار مشاهده شده است (Marquenie *et al.*, 2002). همچنین برای پذیرش کلی از دیدگاه ارزیاب‌ها، بیشترین میانگین نمره پذیرش مقدار ۸/۷ برای نمونه ROP1، در روز هفتم مقدار ۷/۳ برای نمونه ROP0 و در روز پانزدهم مقدار ۵/۹ برای نمونه R1P0 به دست آمد. به نظر می‌رسد که تیمار فرابنفش با دز ۶/۳ کیلوژول بر مترمربع و بسته‌بندی بدون منفذ تأثیر محسوسی بر خصوصیات حسی از جمله رنگ، بافت، عطر و طعم و پذیرش کلی دانه‌های انار در طی ۱۵ روز انبارمانی در دمای ۴ درجه سلسیوس داشته است؛ زیرا پرتودهی با کاهش فساد میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی سبب کاهش آسیب‌های وارده به بافت و ظاهر میوه می‌شود.

نتیجه‌گیری

در زمینه بهبود ماندگاری دانه‌های انار توسط پرتوهای فرابنفش، در بیشتر پژوهش‌های انجام شده از سیستم‌های غیرمداوم استفاده شده است که امکان تابش یکنواخت به همه سطوح دانه انار وجود نداشته است. بنابراین در پژوهش حاضر از سامانه پیوسته UV-C برای پرتودهی دانه انار استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که پرتودهی با تابش فرابنفش به طور متوسط موجب ۲۷٪ کاهش در درصد افت وزن، ۷٪ افزایش در شاخص L^* ، ۶/۷٪ کاهش در مقدار a^* و ۱۰٪ افزایش در مقدار b^* نمونه‌های کنترل نسبت به شاهد گردید. همچنین نتایج نشان داد که پرتودهی فرابنفش جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌ها را به صورت معنی‌دار و به مقدار ۱/۶۵ چرخه لگاریتمی در هر گرم کاهش داد. اما افزایش دُز پرتودهی تأثیر مطلوبی بر ویژگی‌های حسی دانه‌های انار نداشت. لذا به منظور افزایش ماندگاری دانه‌های انار، بر مبنای نتایج ارزیابی حسی، شاخص‌های رنگ و رشد میکروبی، دُز تابش ۶/۳ کیلوژول بر مترمربع در بسته‌بندی بدون منفذ توصیه می‌گردد.

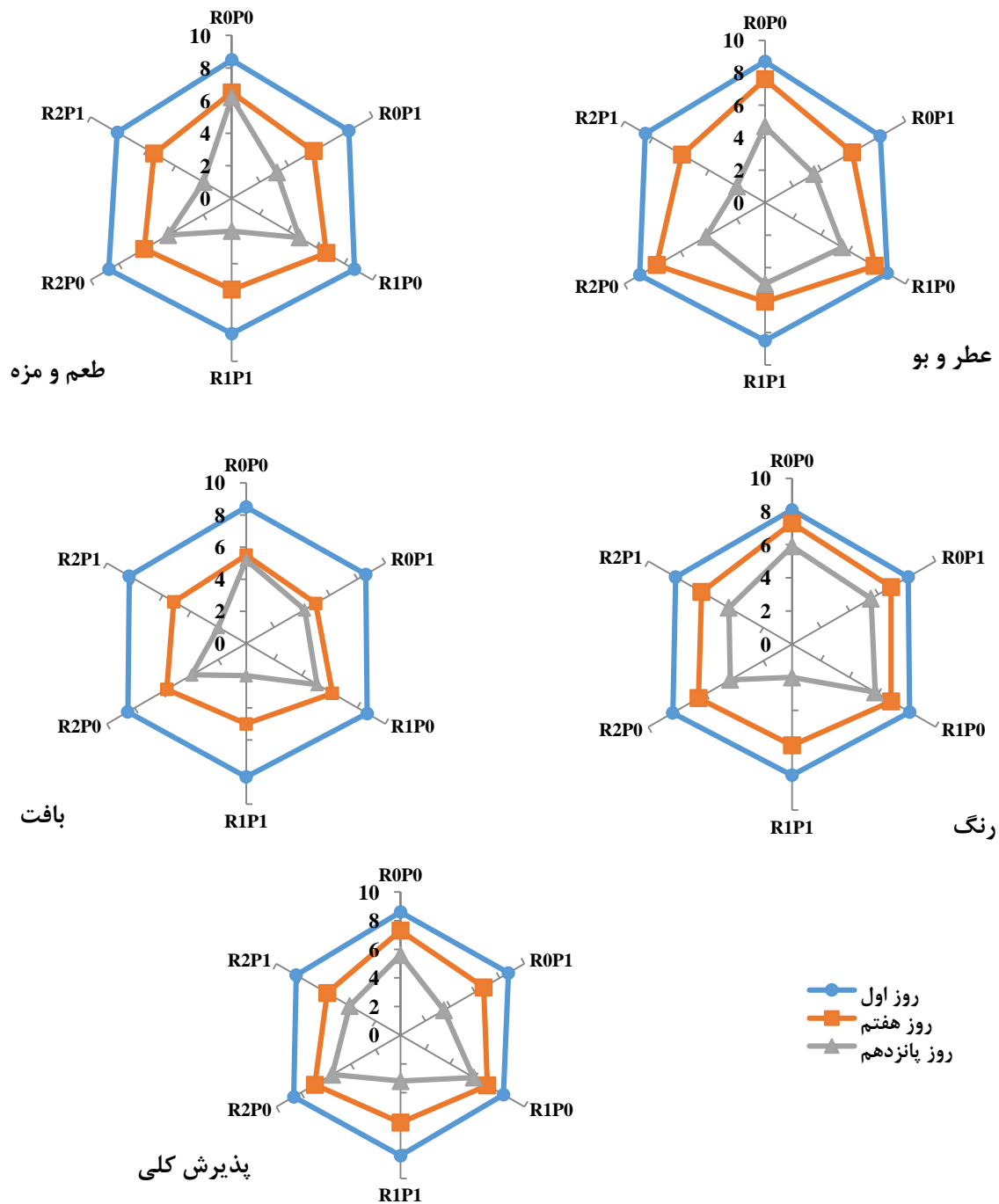
نمونه‌های کنترل امتیاز بیشتری نسبت به نمونه‌های تیمار شده با تابش فرابنفش داشتند (George *et al.*, 2015). کاهش در پذیرش ممکن است به دلیل تغییر رنگ ناشی از واکنش‌های آنزیمی باشد (Nowak & Lewicki, 2005).

صفاتی چون طعم و مزه، رنگ، بافت و پذیرش کلی تحت تاثیر اثرات متقابل دُز تابش فرابنفش و نوع بسته‌بندی قرار نگرفت و صفت عطر و بو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل دُز تابش فرابنفش و مدت زمان نگهداری بر فاکتورهای عطر و بو، طعم و مزه، رنگ و بافت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما پذیرش کلی تحت اثر متقابل تابش فرابنفش و مدت نگهداری قرار نگرفت. اثر متقابل نوع ظرف و مدت نگهداری بر صفات حسی مورد مطالعه به جز رنگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. هیچ‌کدام از صفات طعم و مزه، رنگ، بافت و پذیرش کلی تحت اثر متقابل دُز تابش فرابنفش، نوع ظرف و مدت نگهداری قرار نگرفتند و تنها عطر و بو در سطح احتمال پنج درصد تحت تاثیر قرار گرفت.

براساس داده‌های نمودار عطر و بو، بیشترین میانگین نمره پذیرش از دیدگاه مصرف‌کننده در روز اول، مربوط به نمونه R2P0 با مقدار ۸/۹ بود. در روز هفتم، بیشترین نمره ارزیاب‌ها مربوط به R1P0 با نمره ۷/۸ بود. همچنین در ارزیابی روز پانزدهم، بیشترین امتیاز ارزیاب‌ها متعلق به R1P0 با نمره ۵/۵ بود. تابش فرابنفش به طور معمول فعالیت تنفسی میوه‌ها و سبزیجات را تحریک می‌کند (Erkan *et al.*, 2001). لذا در اینجا، دُز بالاتر باعث افزایش تنفس شده که منجر به کاهش نمره از دیدگاه مصرف‌کننده در انتهای آزمایش شده است.

براساس داده‌های نمودار طعم و مزه، در روز اول بیشترین میانگین نمره پذیرش از دیدگاه مصرف‌کننده از حداکثر نمره، نمونه R1P0 و R2P0 با ۸/۷ را گرفته است (شکل ۶). در روز هفتم، بیشترین نمره ارزیاب‌ها به R1P0 با نمره ۶/۷ بوده است و در ارزیابی روز پانزدهم گرچه نمره R1P0 بیشتر از نمره R2P0 بود، اما بیشترین امتیاز ارزیاب‌ها به ROP0 تعلق گرفت.

با توجه به نتایج ارزیابی حسی رنگ، از نظر مصرف‌کننده، در روز اول بیشترین میانگین نمره پذیرش مقدار ۸/۳ مربوط به نمونه R2P0، در روز هفتم بیشترین میانگین نمره مقدار ۷/۳ مربوط به ROP0 و در روز پانزدهم بیشترین میانگین نمره ۵/۸ متعلق به R1P0 بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که دز بالاتر گرچه می‌تواند تاثیر بیشتری از لحاظ میکروبی‌زدایی دارد، اما باعث مشاهده برخی تاثیرات منفی در ویژگی‌های ظاهری نمونه‌ها



شکل ۶: ارزیابی حسی دانه‌های انار تحت تاثیر دُزهای تابش، نوع بسته‌بندی و مدت زمان نگهداری

R0P0 نمونه کنترل در بسته‌بندی بدون منفذ، R0P1 نمونه کنترل در بسته‌بندی منفذدار، R1P0 نمونه پرتودهی شده با دُز $۶/۳ \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی بدون منفذ، R1P1 نمونه پرتودهی شده با دُز $۶/۳ \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی منفذدار، R2P0 نمونه پرتودهی شده با دُز $۸/۴ \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی بدون منفذ، R2P1 نمونه پرتودهی شده با دُز $۸/۴ \text{ kJ/m}^2$ در بسته‌بندی منفذدار

REFERENCES

- Allende, A & Artés, F (2003). Combined ultraviolet-C and modified atmosphere packaging treatments for reducing microbial growth of fresh processed lettuce. *LWT-Food Science and Technology*, 36, 779-786.
- Andrade-Cuvi, MJ, Moreno, C, Zaro, MJ, Vicente, AR & Concellón, A (2017). Improvement of the Antioxidant Properties and Postharvest Life of Three Exotic Andean Fruits by UV-C Treatment. *Journal of Food Quality*.
- Arakawa, O (1993). Effect of ultraviolet light on anthocyanin synthesis in light-colored sweet cherry, cv. Sato Nishiki. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 62, 543-546.
- Artés-Hernández, F, Robles, PA, Gómez, PA, Tomás-Callejas, A & Artés, F (2010). Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 55, 114-120.
- Artés-Hernández, F, Escalona, VH, Robles, PA,

- Martínez-Hernández, GB & Artés, F (2009). Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 414-421.
- Baka, M, Mercier, J, Corcuff, R, Castaigne, F & Arul, J (1999). Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. *Journal of Food Science*, 64, 1068-1072.
- Begum, M, Hocking, AD & Miskelly, D (2009). Inactivation of food spoilage fungi by ultra violet (UVC) irradiation. *International Journal of Food Microbiology*, 129, 74-77.
- Charles, MT, Tano, K, Asselin, A & Arul, J (2009). Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit. V. Constitutive defence enzymes and inducible pathogenesis-related proteins. *Postharvest Biology and Technology*, 51, 414-424.
- Darvishi, S, Fatemi, A & Davari, K (2012). Keeping quality of use of fresh 'Kurdistan' strawberry by UV-C radiation. *World Applied Sciences Journal*, 17, 826-831.
- Demirci, A & Ngadi, MO (2012). Microbial decontamination in the food industry: Novel methods and applications, Elsevier.
- El Ghaouth, A, Wilson, CL & Callahan, AM (2003). Induction of chitinase, β -1, 3-glucanase, and phenylalanine ammonia lyase in peach fruit by UV-C treatment. *Phytopathology*, 93, 349-355.
- Elmnasser, N, Guillou, S, Leroi, F, Orange, N, Bakhrouf, A & Federighi, MJ (2007). Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: a review. 53, 813-821.
- Erkan, M, Wang, CY & Krizek, DT (2001). UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration in Cucurbitapepo fruit tissue. *Environmental Experimental Botany*, 45, 1-9.
- Erkan, M, Wang, SY & Wang, CY (2008). Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 163-171.
- Gabriel, AA, Tongco, AMP & Barnes Jr, AA (2017). Utility of UV-C radiation as anti-Salmonella decontamination treatment for desiccated coconut flakes. *Food control*, 71, 117-123.
- George, DS, Razali, Z, Santhirasegaram, V & 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, S426-S434.
- Gómez, P, Alzamora, S, Castro, M & Salvatori, D (2010). Effect of ultraviolet-C light dose on quality of cut-apple: Microorganism, color and compression behavior. *Journal of Food Engineering*, 98, 60-70.
- Gonzalez-Aguilar, G, Wang, CY & Buta, GJ (2004). UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 415-422.
- Guerrero-Beltrán, J & Barbosa-Cánovas, G (2004). Advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food science and technology international*, 10, 137-147.
- Lamikanra, O, Kueneman, D, Ukuku, D & Bett-Garber, KL (2005). Effect of processing under ultraviolet light on the shelf life of fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Science*, 70, C534-C539.
- Li, J, Zhang, Q, Cui, Y, Yan, J, Cao, J, Zhao, Y & Jiang, W (2010). Use of UV-C treatment to inhibit the microbial growth and maintain the quality of yali pear. *Journal of food science*, 75, M503-M507.
- Maharaj, R, Arul, J & Nadeau, P (2010). UV-C irradiation of tomato and its effects on color and pigments. *Advances in Environmental Biology*, 308-316.
- Marquenie, D, Michiels, C, Geeraerd, A, Schenk, A, Soontjens, C, Van Impe, J & Nicolai, B (2002). Using survival analysis to investigate the effect of UV-C and heat treatment on storage rot of strawberry and sweet cherry. *International Journal of Food Microbiology*, 73, 187-196.
- Mostofi, Y & Asghari Marjanlou, A (2010). The Effect of UV-C Radiation on Gray Mold Decay Control and Postharvest Quality of Strawberry (cv. Selva) *Iranian Journal of Horticultural Science*, 41, 39-46 (In Farsi).
- Nirupama, P, Gol, NB & Rao, TR (2010). Effect of post harvest treatments on physicochemical characteristics and shelf life of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits during storage. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 9, 470-479.
- Nowak, D & Lewicki, PP (2005). Quality of infrared dried apple slices. *Drying Technology*, 23, 831-846.
- Radi, M, Firouzi, E, Akhavan, H & Amiri, S (2017). Effect of gelatin-based edible coatings incorporated with Aloe vera and black and green tea extracts on the shelf life of fresh-cut oranges. *Journal of Food Quality*.
- Shih, C-C, Shih, C-M, Su, Y-Y, Su, LHJ, Chang, M-S & Lin, S-J (2004). Effect of surface oxide properties on corrosion resistance of 316L stainless steel for biomedical applications. *Corrosion Science*, 46, 427-441.
- Sommers, C, Geveke, D, Pulsfus, S & Lemmenes, B (2009). Inactivation of *Listeria innocua* on frankfurters by ultraviolet light and flash pasteurization. *Journal of food science*, 74, M138-M141.
- Stevens, C, Wilson, C, Lu, J, Khan, V, Chalutz, E, Droby, S, Kabwe, M, Haung, Z, Adeyeye, O & Pusey, L (1996). Plant hormesis induced by ultraviolet light-C for controlling postharvest diseases of tree fruits. *Crop Protection*, 15, 129-134.