



## اثر تابش دهی گاما بر ماندگاری و ویژگی‌های کیفی میوه‌ی زرشک تازه

حمیدرضا اخوان\*<sup>۱</sup>، سمیرا برنجی اردستانی<sup>۲</sup>، محمد فاضل<sup>۳</sup>

۱. بخش علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، صندوق پستی: ۱۳۳-۷۶۱۶۹، کرمان - ایران
۲. پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۶۵-۳۴۸۶، تهران - ایران
۳. گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، صندوق پستی: ۱۵۸-۸۱۵۹۵، اصفهان - ایران

**چکیده:** تابش دهی گاما به علت بازدارندگی رشد میکروبی در میوه‌های تازه، می‌تواند ایمنی و ماندگاری آنها را افزایش دهد. در این پژوهش میوه‌ی زرشک تازه تحت تأثیر تابش گاما در دزهای ۰٫۵ تا ۲ kGy قرار گرفت و برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی آن در طی ۴۰ روز نگهداری ارزیابی شد. در طی نگهداری، روند کاهشی اسیدیته و افزایشی pH و محتوای مواد جامد محلول در اثر تابش دهی مشاهده شد. از نظر آفت وزن، تفاوت معنی‌داری بین شاهد و تیمارها مشاهده نشد. بلافاصله پس از تابش دهی، محتوای ترکیبات فنولی و آنتوسیانین کل با افزایش دز تابش دهی کاهش یافت و این روند کاهشی در طی نگهداری نیز مشاهده شد. تابش دهی، شاخص‌های رنگ میوه‌ی زرشک را تحت تأثیر قرار نداد، اما در طی نگهداری به صورت معنی‌داری کاهش یافتند. تابش دهی به ویژه در دزهای بالاتر از ۱٫۵ kGy سبب بازدارندگی رشد میکروبی در طی دوره‌ی نگهداری شد. براساس نظر ارزیاب‌ها، نمونه‌های تابش دهی شده در دزهای بالاتر از ۱٫۲۵ kGy در انتهای دوره‌ی نگهداری قابل مصرف بودند. به طور کلی، با توجه به تأثیر تابش بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی، دامنه‌ی دز ۱٫۲۵ تا ۲ kGy برای افزایش ماندگاری میوه‌ی زرشک می‌تواند استفاده شود.

**کلیدواژه‌ها:** میوه‌ی زرشک، تابش دهی گاما، فرایند غیرحرارتی، بسته‌بندی، افزایش ماندگاری، رشد میکروبی

## The Effect of Gamma Irradiation on the Shelf-Life and Quality Characteristics of Fresh Barberry Fruit

H.R. Akhavan\*<sup>1</sup>, S. Berenji Ardestani<sup>2</sup>, M. Fazel<sup>3</sup>

1. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, P.O. Box: 76169-133, Kerman – Iran
2. Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 11365-3486, Tehran-Iran
3. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Khorasgan Branch, P.O. Box: 81595-158, Isfahan – Iran

**Abstract:** Gamma irradiation has shown to greatly reduce potential microbiological risk of fresh fruits, resulting in improved microbial safety as well as extending their shelf life. The effects of 0.5-2 kGy gamma doses on some physicochemical, microbial and sensory properties of fresh barberry fruits (*Berberis vulgaris*) during the refrigerated storage for 40 days were evaluated. The decrease trend of titratable acidity and an increase trend of pH and total soluble solid were reduced by gamma radiation during storage. The weight loss of the packed barberry was not significant between control and treated samples. The total anthocyanin and total phenolic contents of barberry fruits decreased in a dose-dependent manner immediately after irradiation and after subsequent storage. Gamma irradiation did not affect color indices of the fresh berberis fruits, but a significant decrease in color indices were observed during the storage time. The microbial growth was significantly inhibited, especially at doses higher than 1.5 kGy during the storage. Based on the panelist suggestion, the samples irradiated at >1.25 kGy were still between the acceptance limit at the end of the storage period. In general, it is recommended that according to the effect of gamma radiation on physicochemical, microbial and sensorial characteristics, doses of 1.25-2 kGy could be used.

**Keywords:** Barberry Fruits, Gamma Irradiation, Non-Thermal Processing, Packaging, Extended Shelf Life, Microbial Growth



## ۱. مقدمه

شود و در نتیجه زمان ماندگاری فراورده های غذایی افزایش می یابد. از طرفی هزینه تابش دهی میوه ها و سبزی ها در دزهای پایین در مقایسه با متیل بروماید و اتمسفر اصلاح شده بسیار مقرون به صرفه است [۷]. براساس نظر کمیته مشترک FAO/IAEA/WHO، تابش دهی مواد غذایی تا ۱۰ kGy هیچ خطر سم شناسی و تغذیه ای خاص یا مسائل میکروبی ایجاد نمی کند. اما باید توجه داشت که غیرفعال سازی میکروبی در دزهای مورد نظر تابش دهی می تواند خصوصیات حسی برخی مواد غذایی را تحت تأثیر قرار دهد [۹]. مؤثر بودن این فناوری در کاهش جمعیت میکروبی و به تأخیر انداختن تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در میوه ها و سبزی های مختلف گزارش شده است. در این راستا، کاربرد تابش دهی گاما تا کم تر از ۴ kGy در افزایش ماندگاری میوه های پالم [۱۰]، هلو [۱۱]، کیوی [۱۲]، انار [۶]، زغال اخته [۱۳]، توت فرنگی و تمشک [۱۴-۱۷] گزارش شده است.

دانستن دز مؤثر برای ضد عفونی کردن فراورده های کشاورزی ضروری است تا در کنار افزایش زمان ماندگاری، ایمنی میکروبی آن ها نیز افزایش یابد. معمولاً میوه های تازه حامل باکتری های بیماری زا نیستند، اما شیوع عفونت غذایی در برخی میوه های تازه از جمله توت فرنگی و تمشک توسط اشریشیا کلی و برخی سوش های سالمونلا، لیستریا و شیگلا گزارش شده است [۷، ۸]. به منظور جلوگیری از آفت کیفی بیش تر میوه ها از جمله زرشک، معمولاً قبل از بسته بندی، از آب کلرینه برای ضد عفونی کردن آنها استفاده نمی شود. بنابراین استفاده از تابش ضد عفونی کننده ی گاما می تواند به صورت مؤثری جمعیت میکروارگانیسم های بیماری زا را کاهش دهد.

زرشک میوه ی بومی ایران است و مصرف تازه ی آن به علت داشتن ترکیبات فراسودمند می تواند سلامت بخش باشد. به طور معمول، ماندگاری این میوه در شرایط یخچالی کم تر از ۱۰ روز است. با وجود پتانسیل بالقوه ی تابش گاما به عنوان یک فناوری غیر حرارتی در افزایش ماندگاری میوه های تازه، پژوهشی در ارتباط با افزایش ماندگاری میوه ی تازه ی زرشک گزارش نشده است. بنابراین در این پژوهش تأثیر تابش گاما بر برخی

زرشک درختچه ی با ارزش بومی ایران، و شامل دو گونه ی مهم بربریس اینتگریم<sup>(۱)</sup> و بربریس ولگاریس<sup>(۲)</sup> است. میوه ی زرشک و فراورده های آن غنی از ترکیبات زیست فعال از جمله ترکیبات فنولی است که این ترکیبات فراسودمند بر ویژگی های ظاهری و طعمی میوه ی زرشک و فراورده های آن اثر گذارند [۱، ۲]. این میوه یکی از مهم ترین میوه های تجاری ایران است که میزان تولید آن در سال ۱۳۹۳ نزدیک به ۱۶۵۳۹ تن بوده است [۳]. در کنار مصرف تازه خوری آن [۱، ۲، ۴، ۵]، از میوه های خشک زرشک به عنوان افزودنی غذایی و از میوه های تازه ی آن در تهیه ی ژله، شربت، مربا، سس، آب میوه، افشرد میوه و نوشابه های گازدار استفاده می شود [۵]. ماندگاری میوه های تازه ی زرشک کوتاه است و طی نگهداری در دمای یخچالی ممکن است در کم تر از ۱۰ روز کیفیت اولیه ی خود را از دست بدهد و به تدریج دچار فساد میکروبی شود. اما می توان با استفاده از روش های نگهداری مناسب، ماندگاری آن را افزایش داد.

باید توجه داشت که در میوه های تازه، رسیدگی فیزیولوژیکی، تغییرات بیوشیمیایی، تنفس و تولید اتیلن می تواند منجر به تغییر رنگ ظاهری، از دست دادن سفتی بافت، افزایش بدطعمی، اسیدی شدن و فساد میکروبی شود [۶]، که به دلیل کاهش بازارپسندی موجب افزایش میزان ضایعات میوه های تازه خواهد شد. روش های نگهداری پس از برداشت میوه ها از قبیل نگهداری در دمای پایین، کنترل اتمسفر بسته بندی، استفاده از متیل بروماید<sup>(۳)</sup>، گاز ازن و پوشش دهی سطح میوه ها با پوشش های خوراکی و سنتزی در پژوهش های مختلفی گزارش شده اند [۷]. استفاده از روش متداول متیل بروماید به عنوان ضد عفونی کننده ی گیاهی<sup>(۴)</sup>، مطابق با نیازهای صادراتی اغلب کشورهای جهان است. با این وجود، به عنوان گاز گلخانه ای قوی، استفاده از آن تحت پروتکل مونترال به صورت مرحله ای متوقف خواهد شد [۸]. ذکر این نکته ضروری است که در بیش تر این روش ها، ضد عفونی کردن میوه به صورت سطحی انجام می گیرد. اما تابش دهی مواد غذایی که پاستوریزه کردن سرد نامیده می شود، به منظور کنترل و حذف حشرات یا میکروارگانیسم های عامل فساد و بیماری زا (از قبیل باکتری ها، کپک ها و مخمرها و ویروس های موجود در سطح یا درون ماده غذایی) استفاده می -



ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی زرشک در طی نگاه‌داری در دمای یخچال ارزیابی می‌شود.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲ مواد شیمیایی

معرف فولین - سیوکالتو<sup>(۵)</sup>، فنل فتالین، هیدروکسید سدیم، کلرید سدیم، فلورید سدیم، کربنات سدیم و محیط کشت میکروبی کلرامفینیکل یست گلوکز آگار<sup>(۶)</sup> از شرکت مرک (آلمان) خریداری شدند. رادیکال DPPH<sup>(۷)</sup> مورد استفاده برای اندازه‌گیری خاصیت ضدآکسایشی از شرکت سیگما آلدریج (آمریکا) تهیه شد.

### ۲.۲ آماده‌سازی، بسته‌بندی و تابش‌دهی میوه‌ی زرشک تازه

میوه‌های تازه‌ی زرشک رقم بربریس ولگاریس در آبان ماه ۱۳۹۳ از مزارع شهرستان قائنات (خراسان جنوبی، ایران) در مرحله‌ی رسیدگی، به طور تصادفی از بخش‌های مختلف درختچه چیده شدند. سپس با استفاده از کولر خنک شدند و مقادیر ۱۵۰g از آنها در بسته‌بندی مکعبی و لولایی از جنس پلی‌اتیلن ترفتالات منفذدار (۵ سوراخ با قطر ۰/۵mm به منظور جلوگیری از تجمع دی‌اکسید کربن و رطوبت) قرار گرفتند. سپس با ماشین حمل مواد غذایی یخچال‌دار در دمای ۰ تا ۱°C به منظور تابش‌دهی به سازمان انرژی اتمی تهران منتقل شد. در این پژوهش، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد و سطوح مختلف تابش‌دهی به عنوان فاکتور اول و زمان‌های نگاه‌داری به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شد.

تابش‌دهی میوه‌های زرشک در دستگاه تابش‌دهی گاماسل Gamma cell-220 irradiator (Nordion, Canada) با دزهای ۰، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵ و ۲ kGy و با آهنگ دز ۲/۶۲ Gy/s انجام گرفت. برای هر دز تابش‌دهی، دو بسته میوه‌ی زرشک به عنوان تکرار در نظر گرفته شد. تابش‌دهی در اتمسفر هوای آزاد و درجه‌بندی دز با دزسنج شیمیایی فریک انجام شد. بلافاصله بعد از تابش‌دهی، نمونه‌ها در یخچال (۴°C) و رطوبت نسبی (۹۰ تا ۹۵٪) قرار گرفتند تا هر کدام از شاخص‌های کیفی زیر در ۴ تکرار و در روزهای ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ام اندازه‌گیری شوند.

### ۳.۲ آزمون‌های کیفی میوه‌ی زرشک

در طی دوره نگاه‌داری، هر کدام از بسته‌های زرشک بلافاصله بعد از خارج کردن از یخچال وزن شدند و مقدار اُفت وزن آنها نسبت به روز اول آزمایش، و با استفاده از رابطه‌ی "درصد کاهش وزن = ((وزن اولیه - وزن ثانویه) / وزن اولیه) × ۱۰۰" تعیین شد [۱۸].

هم‌چنین برای شمارش کلی کپک و مخمر، ۱۰g میوه‌ی زرشک تازه در شرایط استریل از بسته‌بندی خارج، و با ۹۰ml سرم فیزیولوژیک استریل هموژن، و سه رقت متوالی (۱ml نمونه با ۹ml سرم فیزیولوژیک) تهیه شد. سپس ۱ml از هر رقت در سه تکرار با روش پورپلیت<sup>(۸)</sup> بر روی محیط کشت کلرامفینیکل یست گلوکز آگار پخش شد. پلیت‌ها در دمای ۲۵°C به مدت ۳ تا ۵ روز گرم‌خانه‌گذاری شدند. نتایج به صورت لگاریتم تعداد کلنی در گرم (Log cfu/g) میوه‌ی زرشک بیان شد. حد تشخیص کم‌تر از ۱ چرخه‌ی لگاریتمی در نظر گرفته شد [۱۸]. درصد خرابی نیز به صورت مشاهده‌ای و بر مبنای تعداد میوه‌های دارای نشانه‌های رشد قارچ، نرم‌شدگی زیاد و تراوش شیره ارزیابی، و نتایج به صورت گزارش شد [۱۵]. رنگ نمونه‌های زرشک نیز با قرار دادن تقریباً ۵ تا ۷ میوه در کنار هم، با استفاده از دستگاه هانتربل (Colorflex, Virginia, USA) بررسی، و شاخص‌های  $L^*$  به منظور سنجش تقریبی روشنی (+۱۰۰)/تیرگی (۰)،  $a^*$  برای قرمزی (+۱۰۰)/سبزی (-۱۰۰) و  $b^*$  برای زردی (+۱۰۰)/آبی (-۱۰۰) محاسبه شد [۹].

در ارتباط با ارزیابی حسی، اثر ترکیبی تابش‌دهی و نگاه‌داری بر ویژگی‌های حسی میوه‌ی زرشک با استفاده از ۱۲ ارزیاب (۶ زن و ۶ مرد در محدوده‌ی سنی ۲۵ تا ۳۰ سال) انجام گرفت. ارزیاب‌ها شناخت کافی از میوه‌ی زرشک و ویژگی‌های کیفی آن داشتند. سنجش ویژگی‌های حسی (رنگ، طعم و مزه، عطر و بو، بافت و پذیرش کلی) به روش هدونیک ۹ نقطه‌ای انجام گرفت. بر این مبنای رنگ، طعم و مزه، عطر و بو و پذیرش کلی از بسیار بد (۱) تا بسیار عالی (۹) و بافت از بسیار نرم (۱) تا بسیار سفت (۹) توسط ارزیاب‌ها امتیازدهی شدند [۱۳]. امتیاز بالاتر از



۵ به عنوان پذیرش نسبی ارزیاب‌ها در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری pH، اسیدیته قابل تیتر و مواد جامد محلول، نمونه‌های زرشک از بسته‌بندی خارج شدند و آب‌گیری از میوه‌های زرشک با استفاده از آب میوه‌گیری دستی فشاری انجام گرفت. عمل سانتیفیوژ کردن نمونه‌های آب زرشک (۲۵ ml) به مدت ۲ min با سرعت ۱۰۰۰۰ rpm (Sigma 3-30k, Germany) انجام شد و تا زمان آنالیز در ظرف‌های شیشه‌ای قهوه‌ای رنگ در دمای ۴°C نگهداری شدند. مقادیر pH، اسیدیته قابل تیتر (برحسب مالیک اسید) و مواد جامد محلول (درجه بریکس) نمونه‌های آب زرشک براساس روش‌های ارائه شده در مطالعه‌ی برنجی اردستانی و همکاران (۲۰۱۳) اندازه‌گیری شدند [۱۹].

### ۳. نتایج و بحث

با توجه به این‌که پژوهش‌های مشابهی در مورد روش‌های افزایش ماندگاری میوه‌ی زرشک تازه در متون علمی تاکنون منتشر نشده است، بنابراین از نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد میوه‌های مشابه زرشک (از خانواده بری<sup>(۹)</sup>) و برخی میوه‌های دیگر استفاده شد.

#### ۱.۳ تأثیر پرتو گاما بر آفت وزن میوه

با توجه به شکل ۱، وزن میوه‌ی زرشک در طی نگهداری به صورت تدریجی و معنی‌دار کاهش یافت. نمونه‌ی کنترل در مقایسه با سایر تیمارها بالاترین آفت وزن را داشت (۲/۵٪). اگرچه نمونه‌های تابش‌دهی شده در دزهای بالاتر از ۱ kGy آفت وزن کم‌تری نشان دادند، اما تفاوت معنی‌داری بین نمونه کنترل و نمونه‌های

تابش‌دهی شده در طی دوره‌ی نگهداری مشاهده نشد ( $p > 0.05$ ). به طور مشابهی، آفت وزن میوه‌ی پالم تابش‌دهی شده (۱/۲ تا ۱/۵ kGy) در طی نگهداری یخچالی به مدت ۲۸ روز کم‌تر از نمونه‌ی کنترل بود که به تأثیر تابش‌دهی بر سرعت تنفس نسبت داده شد [۱۰]. عدم تأثیر تابش‌دهی (۰/۵ تا ۲ kGy) و نگهداری به مدت ۸ روز در دمای ۲°C بر آفت وزن توت فرنگی [۱۴] و میوه‌ی زغال اخته تابش‌دهی شده تا ۳/۲ kGy در طی نگهداری به مدت ۱۴ روز در دمای ۵°C [۱۳] نیز گزارش شده است. در مقابل، با افزایش دز تابش‌دهی از ۰/۵ به ۲ kGy، آفت وزن تمشک

تابش‌دهی شده در طی ۲۰ روز نگهداری افزایش یافت [۱۵].

به طور کلی آفت وزن در میوه‌های تازه، مربوط به فرایندهای تعرق و تنفس است [۱۰]. میزان آفت وزن تحت تأثیر شیب فشار بخار آب موجود در بافت میوه و اتمسفر اطراف آن، دمای نگهداری و تا حدی نرخ تنفس است [۲۱]. آفت وزن بالاتر نمونه‌ی کنترل در مقایسه با نمونه‌های تابش‌دهی شده با دزهای بالاتر

هم‌چنین به منظور سنجش محتوای ترکیبات فنولی، آنتوسیانین‌ها و فعالیت ضد اکسایشی در میوه‌ی زرشک، پس از خارج کردن نمونه‌ها از بسته‌بندی، در نیتروژن مایع منجمد، و تا زمان سنجش در دمای ۲۰°C - نگهداری شدند. برای انجام آزمون‌ها، ۱۰۰ gr از میوه‌های منجمد با استفاده از هم‌زن همگن شد. استخراج ترکیبات فنولی با استفاده از حلال اتانول، آب مقطر و اسید استیک (۷۰: ۲۹/۵: ۰/۵ حجمی/حجمی) حاوی سدیم فلوراید ۲mM (برای غیرفعال‌سازی پلی‌فنل اکسیداز و جلوگیری از تجزیه‌ی ترکیبات فنولی) انجام گرفت [۲۰]. محتوای ترکیبات فنولی کل با استفاده از معرف فولین-سیوکالتو تعیین شد [۲۰] و نتایج به صورت میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ gr میوه‌ی زرشک تازه گزارش شد. غلظت آنتوسیانین کل با روش دیفرانسیلی pH با دو سامانه‌ی بافری شامل بافر کلراید پتاسیم ۰/۰۲۵ M در pH=۱ و pH=۴، و بافر استات سدیم در pH=۴/۵ در طول موج‌های ۵۳۳ و ۷۰۰ nm تعیین شد [۲۰]. ظرفیت ضد اکسایشی نمونه‌ها بر مبنای قدرت بازدارندگی از تشکیل رادیکال‌های آزاد با استفاده از رادیکال DPPH (برحسب درصد بازدارندگی) سنجش شدند [۹].

#### ۴.۲ تجزیه‌ی آماری

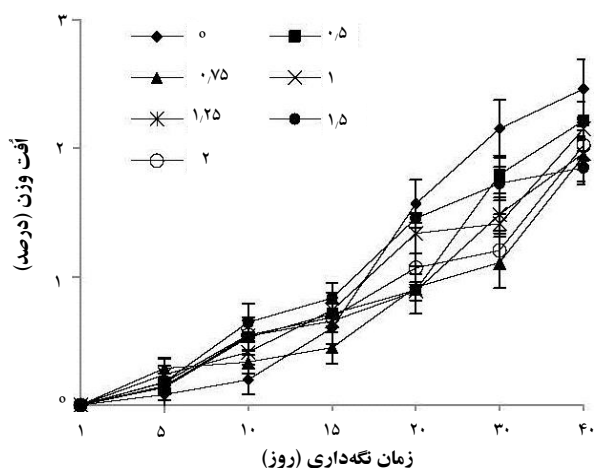
آزمایش در قالب فاکتوریل بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت و نتایج آزمایش‌ها به صورت میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد بیان شد. آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه‌ی میانگین نمونه‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪



تابش‌دهی کاهش یافت. رشد قارچی در دزهای بالاتر از ۱٫۲۵ kGy کم‌تر از حد تشخیص (۱ چرخه‌ی لگاریتمی) بود. آلودگی قارچی نمونه‌های کنترل و تابش‌دهی شده در طی دوره‌ی نگره‌داری به صورت معنی‌داری افزایش یافت ( $p < 0.05$ ). در انتهای دوره‌ی نگره‌داری، جمعیت میکروبی نمونه‌ی کنترل به صورت معنی‌داری بالاتر از سایر نمونه‌ها بود، به طوری‌که از ۲٫۲ چرخه‌ی لگاریتمی به حدود ۴ چرخه‌ی لگاریتمی در انتهای دوره‌ی نگره‌داری رسید.

نتایج پژوهش حاضر با تأثیر تابش‌دهی و نگره‌داری در شرایط یخچالی بر کاهش جمعیت میکروبی تمشک [۱۶]، پالم [۱۰]، هلو [۲۳] و توت‌فرنگی [۲۴] مطابقت داشت. در این راستا، شمارش میکروبی تمشک تابش‌دهی شده با دز ۱٫۵ kGy در طی ۱۴ روز نگره‌داری در دمای ۴°C تغییری نکرد [۱۶] هم‌چنین، تابش‌دهی میوه‌ی پالم در دزهای ۱٫۲ و ۱٫۵ kGy سبب بازدارندگی رشد میکروبی در طی نگره‌داری یخچالی به مدت ۲۸ روز شد [۱۰]. بلافاصله بعد از تابش‌دهی توت‌فرنگی در دز kGy ۲، جمعیت قارچی به صورت معنی‌داری کاهش یافت (۳٫۵ چرخه‌ی لگاریتمی) و بعد از ۹ روز نگره‌داری در دمای ۳°C، جمعیت میکروبی کم‌تر از حد تشخیص بود [۲۴]. هم‌چنین جمعیت میکروبی به صورت تابعی از دز تابش‌دهی (۰٫۸ تا ۵) kGy در گوجه‌فرنگی گیلاسی<sup>(۱۳)</sup> بلافاصله بعد از تابش‌دهی کاهش یافت و جمعیت میکروبی نمونه‌های تابش‌دهی شده در طی نگره‌داری یخچالی به مدت ۱۴ روز تقریباً ثابت ماند [۲۵]. تأثیر تابش گاما در غیرفعال‌سازی میکروارگانیزم‌ها به ساز و کار مستقیم (آسیب به ساختار DNA) یا غیرمستقیم (ترکیبات حاصل از رادیولیز آب) نسبت داده می‌شود که به ترتیب منجر به ناتوانی تکثیر سلولی و جهش می‌شوند [۲۳].

از ۱ kGy می‌تواند ناشی از فساد میکروبی و تنفس میوه باشد، زیرا تابش‌دهی سبب کاهش نرخ تنفس و فعالیت‌های میکروبی می‌شود. در میوه‌های فراوری شده‌ی حداقلی<sup>(۱۰)</sup>، آنتی‌بیوتیک‌های میکروبی از جمله پکتین متیل استراز<sup>(۱۱)</sup> و پلی‌گالاکتوروناز<sup>(۱۲)</sup>، دیواره‌ی سلولی را تخریب می‌کنند و منجر به نرم شدن و تراوش شیره در سطح میوه می‌شوند. به علاوه، آفت وزن می‌تواند به دلیل از دست رفتن کربن در فرایند تنفس باشد [۲۲].



شکل ۱. تأثیر تابش‌دهی گاما (۰ تا ۲ kGy) و نگره‌داری (۴°C) به مدت ۴۰ روز) بر مقدار آفت وزن میوه‌ی زرشک تازه.

### ۲.۳ تأثیر پرتو گاما بر رشد کپک و مخمر در میوه

آلودگی میوه‌ی زرشک به میکروارگانیزم‌ها در طی رشد میوه برداشت، یا به عبارتی در مراحل قبل و پس از برداشت میوه رخ می‌دهد. در این میوه امکان رشد کپک و مخمر به دلیل ماهیت ماهیت اسیدی آن بیش‌تر است [۲۲]. در جدول ۱، شمارش کپک و مخمر در نمونه‌های تابش‌دهی شده و نشده‌ی میوه‌ی زرشک تازه نشان داده شده است. جمعیت قارچی میوه‌ی زرشک در حدود ۲ چرخه‌ی لگاریتمی بود. تابش‌دهی و نگره‌داری در شرایط یخچالی به صورت مؤثری جمعیت قارچی را تحت تأثیر قرار داد ( $p < 0.05$ ). جمعیت اولیه‌ی قارچی به صورت تابعی از دز

جدول ۱. تأثیر تابش‌دهی گاما (۰ تا ۲ kGy) و نگره‌داری (۴°C) به مدت ۴۰ روز) بر جمعیت کپک و مخمر (Log cfu/g) در میوه‌ی زرشک تازه

دز (kGy)	زمان نگره‌داری (روز)					
	۴۰	۳۰	۲۰	۱۵	۱۰	۵
۰	۴٫۱۰±۰٫۱۶ <sup>a,۱</sup>	۳٫۷۴±۰٫۲۱ <sup>a,۲</sup>	۳٫۳۸±۰٫۰۷ <sup>a,۳</sup>	۲٫۹۹±۰٫۲۷ <sup>a,۴</sup>	۲٫۹۰±۰٫۱۰ <sup>a,۴</sup>	۲٫۳۸±۰٫۰۸ <sup>a,۵</sup>
۰٫۵	۴٫۰۷±۰٫۱۲ <sup>a,۱</sup>	۳٫۶۳±۰٫۲۷ <sup>a,۱</sup>	۳٫۲۷±۰٫۱۱ <sup>a,۲</sup>	۲٫۸۰±۰٫۱۶ <sup>ab,۳</sup>	۲٫۵۹±۰٫۱۲ <sup>b,۳</sup>	۲٫۱۱±۰٫۱۱ <sup>b,۴</sup>
۰٫۷۵	۳٫۹۶±۰٫۱۳ <sup>a,۱</sup>	۳٫۲۵±۰٫۱۴ <sup>b,۲</sup>	۲٫۹۰±۰٫۱۵ <sup>b,۳</sup>	۲٫۷۱±۰٫۲۰ <sup>b,۳</sup>	۲٫۵۳±۰٫۱۶ <sup>b,۴</sup>	۲٫۰۱±۰٫۱۳ <sup>b,۵</sup>
۱	۳٫۴۴±۰٫۱۵ <sup>b,۱</sup>	۲٫۸۸±۰٫۱۱ <sup>c,۲</sup>	۲٫۸۴±۰٫۱۸ <sup>b,۲</sup>	۲٫۴۲±۰٫۱۹ <sup>c,۳</sup>	۲٫۱۷±۰٫۱۶ <sup>c,۴</sup>	۱٫۷۲±۰٫۱۵ <sup>c,۵</sup>
۱٫۲۵	۲٫۹۵±۰٫۱۴ <sup>c,۱</sup>	۲٫۵۲±۰٫۱۰ <sup>d,۲</sup>	۲٫۲۶±۰٫۱۷ <sup>c,۲</sup>	۱٫۸۴±۰٫۱۰ <sup>d,۳</sup>	۱٫۴۵±۰٫۱۷ <sup>d,۴</sup>	۱٫۳۲±۰٫۱۲ <sup>d,۴</sup>



1,83±0,14 <sup>d,1</sup>	1,32±0,12 <sup>e,2</sup>	1,20±0,15 <sup>e,2</sup>	1,12±0,10 <sup>e,2</sup>	ND <sup>e,3</sup>	ND <sup>e,3</sup>	ND <sup>e,3</sup>	1,5
1,24±0,14 <sup>e,1</sup>	1,00±0,12 <sup>f,2</sup>	ND <sup>d,3</sup>	ND <sup>d,3</sup>	ND <sup>e,3</sup>	ND <sup>e,3</sup>	ND <sup>e,3</sup>	2

\* داده ها میانگین ± انحراف معیار هستند.

\* مقادیر با حروف متفاوت (a-b) در ستون و اعداد متفاوت (1 تا 6) در ردیف بیان کننده ی تفاوت معنی دار در سطح احتمال 5٪ است (p<0,05).

\* ND بیان کننده ی کم تر بودن شمارش میکروبی از حد تشخیص 1 Log cfu/g است.

### ۳.۳ تأثیر پرتو گاما بر درصد خرابی و فساد میوه

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲، تابش دهی در دزهای بالاتر از ۰,۵ kGy به صورت معنی داری سبب کاهش میزان خرابی و فساد میوه ی زرشک در طی نگهداری شد. فساد در نمونه ی کنترل و نمونه های تابش دهی شده با دز ۰,۵ تا ۱,۲۵kGy از روز ۱۰ام نگهداری در شرایط یخچالی شروع شد و در این روز تفاوت معنی داری بین نمونه ها مشاهده شد (p<0,05). در نمونه های تابش دهی شده در دزهای ۱,۵ و ۲kGy هیچ نوع خرابی به ترتیب تا روزهای ۱۵ و ۲۰ام نگهداری مشاهده نشد. با افزایش زمان نگهداری میزان خرابی میوه ی زرشک افزایش یافت. میزان خرابی نمونه ی کنترل در روز ۴۰ام نگهداری به ۴۴٪ رسید. در حالی که در نمونه های تابش دهی شده در دزهای ۱,۵ و ۲kGy میزان خرابی و فساد در روز ۴۰ام نگهداری کم تر از ۱۰٪ بود که به صورت

معنی داری کم تر از نمونه ی کنترل و نمونه های تابش دهی شده در دزهای کم تر از ۱,۲۵ kGy بود. کاهش میزان خرابی و فساد در میوه های تابش دهی شده در طی نگهداری در پژوهش های متعددی گزارش شده است [۱۰، ۱۱، ۲۳]. در این راستا، تابش دهی میوه ی پالم در دزهای ۱,۲ و ۱,۵ kGy همراه با نگهداری یخچالی از خرابی میوه تا روز ۳۵ام نگهداری جلوگیری کرد، در حالی که میزان خرابی در نمونه ی کنترل به ۱۲,۵٪ افزایش یافت [۱۰].

همچنین، در طی نگهداری یخچالی هلوی تابش دهی شده (۱,۰ تا ۱,۴kGy) تا روز ۲۰ام نگهداری فساد مشاهده نشد و میزان خرابی آنها در روز ۳۵ام نگهداری به ۲۵ تا ۳۵٪ رسید. در حالی که میزان خرابی در نمونه ی کنترل در روز ۱۵ و ۳۵ام به ترتیب ۲۵ و ۸۳٪ بود [۱۱]. افزایش ماندگاری محصولات غذایی در اثر

تابش دهی و نگهداری در شرایط یخچالی به عنوان فناوری هردل<sup>(۱۴)</sup> در نظر گرفته می شود، زیرا علاوه بر تأثیر تابش دهی در کاهش برخی فعالیت های زیستی، نگهداری در دمای پایین نیز با ساز و کارهای مختلف نقش بسیار مؤثری در افزایش ماندگاری میوه های تازه دارد [۱۰، ۲۳].

### ۴.۳ تأثیر پرتو گاما بر شاخص های رنگ میوه

در شکل ۲، روند تغییر شاخص های رنگ شامل L\* (روشنی/ تیرگی)، a\* (قرمزی/ سبزی) و b\* (زردی/ آبی) نشان داده شده است. بلافاصله پس از تابش دهی، تغییر مقادیر شاخص های L\* و b\* معنی دار نبود (p>0,05). مقدار a\* در دزهای بالاتر از ۱,۲۵ kGy به شکل تابعی از دز تابش دهی و به صورت معنی داری کاهش یافت (p<0,05). تجزیه ی آماری بیان کننده ی تغییر معنی دار شاخص های L\*، b\* و a\* در طی نگهداری نمونه های میوه ی زرشک بود (p<0,05). به طور کلی، شاخص های رنگ L\*، a\* و b\* در طی نگهداری میوه های زرشک کاهش یافتند که

نشان از تیره شدن رنگ و کاهش قرمزی و زردی نمونه های زرشک بود و تفاوت معنی داری بین نمونه ها در دزهای کم تر از ۱ kGy مشاهده نشد. اما تغییر این شاخص ها در دزهای بالاتر به ویژه ۱,۵ و ۲ kGy به صورت معنی داری کم تر از نمونه ی کنترل بود (p<0,05) که می تواند ناشی از تأثیر احتمالی تابش دهی بر کاهش فعالیت های آنزیمی و فرایند پیری میوه باشد. چنین روندی در تابش دهی توت فرنگی تا ۰,۴ kGy [۲۶] گزارش شده است.

همچنین عدم تأثیر معنی دار تابش دهی (۰ تا ۱,۵ kGy) بر رنگ تمشک گزارش شده است، اما شاخص های رنگ در طی نگهداری نمونه ها در دمای ۴ °C به مدت ۵ روز کاهش یافتند [۱۶].

جدول ۲. تأثیر تابش دهی گاما (۰ تا ۲ kGy) و نگهداری (۴ °C به مدت ۴۰ روز) بر درصد خرابی میوه ی زرشک تازه

دز (kGy)	زمان نگهداری (روز)					
	۴۰	۳۰	۲۰	۱۵	۱۰	۵
۰	۴۳,۶۶±۱,۷۶ <sup>a,1</sup>	۲۷,۷۷±۲,۱۹ <sup>a,2</sup>	۲۰,۹۸±۲,۱۲ <sup>a,3</sup>	۱۱,۷۳±۱,۰۴ <sup>b,4</sup>	۷,۲۳±۰,۳۶ <sup>a,5</sup>	ND <sup>a,6</sup>
۰,۵	۴۱,۶۶±۱,۵۲ <sup>a,1</sup>	۲۶,۱۳±۲,۱۴ <sup>a,2</sup>	۱۹,۲۱±۱,۶۳ <sup>a,3</sup>	۱۲,۹۵±۱,۱۷ <sup>a,4</sup>	۶,۵۰±۰,۹۵ <sup>a,5</sup>	ND <sup>a,6</sup>

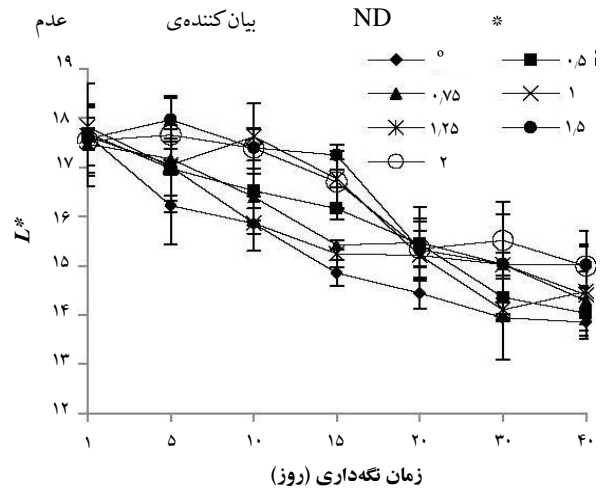


۳۴,۳۵±۲,۲۵ <sup>b,۱</sup>	۲۱,۱۴±۱,۱۰ <sup>b,۲</sup>	۱۶,۷۱±۲,۰۲ <sup>b,۳</sup>	۱۲,۰۷±۰,۵۵ <sup>b,۴</sup>	۴,۹۵±۰,۷۵ <sup>b,۴</sup>	ND <sup>a,۶</sup>	۰,۷۵
۲۵,۳۲±۱,۸۵ <sup>c,۱</sup>	۱۴,۷۶±۱,۳۱ <sup>c,۲</sup>	۱۱,۴۴±۱,۰۶ <sup>c,۳</sup>	۷,۰۰±۰,۸۹ <sup>c,۴</sup>	۴,۳۱±۰,۲۰ <sup>c,۵</sup>	ND <sup>a,۶</sup>	۱
۲۵,۰۹±۱,۱۷ <sup>c,۱</sup>	۱۱,۲۵±۱,۱۰ <sup>d,۲</sup>	۷,۸۵±۰,۶۷ <sup>d,۳</sup>	۵,۷۴±۰,۴۲ <sup>d,۴</sup>	۳,۲۵±۰,۲۷ <sup>d,۵</sup>	ND <sup>a,۶</sup>	۱,۲۵
۱۰,۲۴±۰,۴۲ <sup>d,۱</sup>	۴,۶۱±۰,۳۸ <sup>e,۲</sup>	۳,۲۲±۰,۲۹ <sup>e,۳</sup>	ND <sup>e,۴</sup>	ND <sup>e,۴</sup>	ND <sup>a,۴</sup>	۱,۵
۷,۷۵±۱,۰۴ <sup>e,۱</sup>	۳,۸۷±۰,۱۷ <sup>f,۲</sup>	ND <sup>f,۳</sup>	ND <sup>e,۳</sup>	ND <sup>e,۳</sup>	ND <sup>a,۳</sup>	۲

\* داده ها میانگین ± انحراف معیار هستند.

\* مقادیر با حروف متفاوت (a-b) در ستون و اعداد متفاوت (۱ تا ۶) در ردیف بیان کننده ی تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است (p<۰,۰۵).

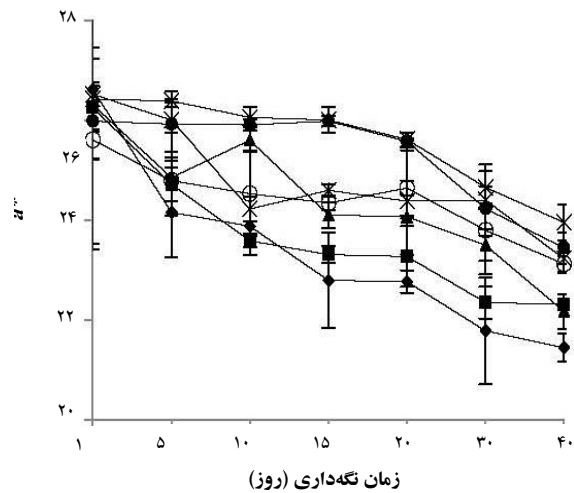
مشاهده ی خرابی و فساد است. **شکل ۲.** تأثیر تابش دهی گاما (۰ تا ۲ kGy) و نگهداری (۴°C به مدت ۴۰ روز) بر شاخص های رنگ \*L, \*a و \*b میوه ی زرشک تازه.



تغییر رنگ در جهت منفی شاخص های \*L و \*b نشان از تیره تر شدن رنگ میوه ی زرشک است. رنگ جذاب میوه ی زرشک به آنتوسیانین های آن نسبت داده می شود [۲]. کاهش شاخص رنگ \*a در نمونه های تابش دهی شده را می توان به تجزیه ی آنتوسیانین ها نسبت داد [۹]. در اثر تابش دهی ارگانیک های زنده، دامنه ی وسیعی از گونه های رادیکالی و غیررادیکالی از یونیزه شدن آب درون سلولی ایجاد می شود که قادرند پیوندهای شیمیایی آنتوسیانین ها را بشکنند و در نتیجه موجب بی رنگ شدن آنها شوند [۲۷].

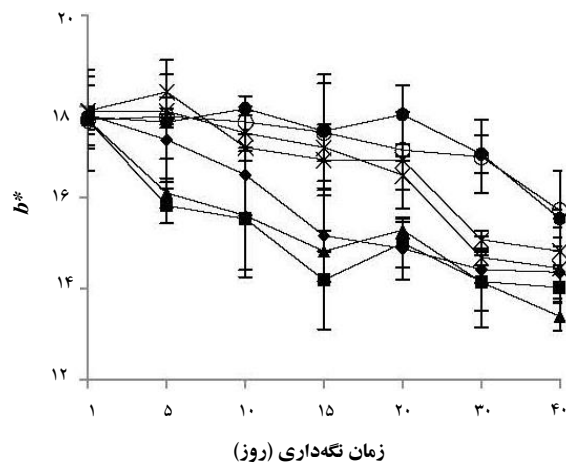
### ۵.۳ اثر پرتو گاما بر ویژگی های حسی میوه

بررسی ویژگی های حسی، جنبه ی مهمی از تشخیص میزان رضایت مندی مشتری از یک فراورده است تا بتوان سطح ادراک مشتری از ویژگی های کیفی را ارزیابی کرد [۶]. در پژوهش حاضر از ۱۲ ارزیاب خواسته شد تا کیفیت میوه ی زرشک تابش دهی شده و نشده را در روزهای ۱، ۱۰، ۲۰ و ۴۰م ارزیابی کنند.



**شکل ۳.** امتیاز ارزیاب ها به نمونه های زرشک از نظر عطر و بو، طعم و مزه، رنگ، بافت و پذیرش کلی نشان داده شده است.

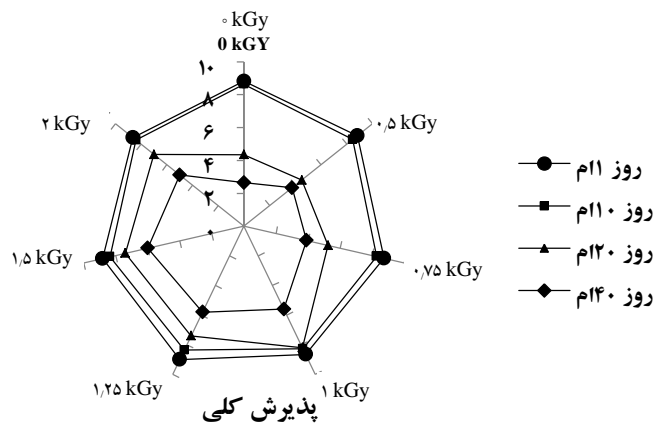
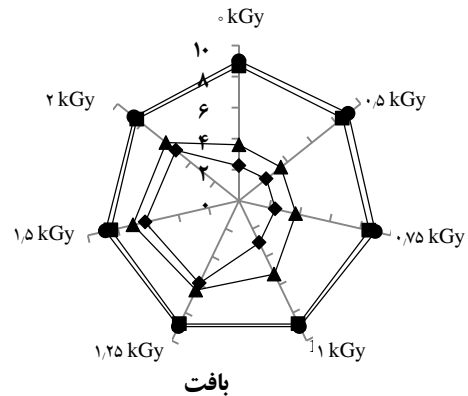
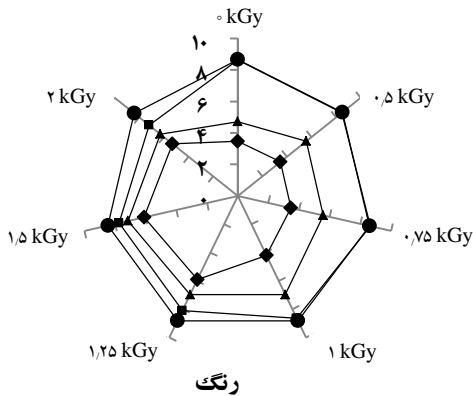
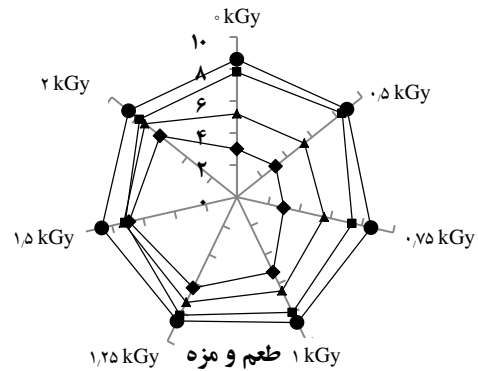
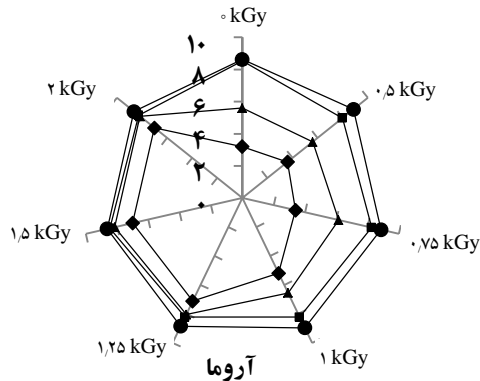
نتایج امتیازدهی ارزیاب ها نشان داد که بلافاصله بعد از تابش دهی، تفاوت معنی داری بین ویژگی های حسی نمونه های تابش دهی شده با نمونه ی کنترل مشاهده نشد. اما امتیاز حسی نمونه های تابش دهی شده و نشده ی میوه ی زرشک در طی نگهداری به صورت معنی داری کاهش یافت (p<۰,۰۵). در انتهای دوره ی نگهداری، نمونه های تابش دهی شده در دزهای بالاتر از ۱ kGy از نظر آروما و طعم امتیاز بیشتری کسب کردند، اما نمونه ی کنترل و نمونه های تابش دهی شده در دزهای کم تر از ۱ kGy کم ترین امتیاز را داشتند. امتیاز رنگ میوه های





کاهش یافت ( $p < 0.05$ ). از نظر پذیرش کلی، ارزیاب‌ها کم‌ترین امتیاز را به نمونه‌ی کنترل دادند. به طور کلی، نمونه‌ی کنترل و نمونه‌های تابش‌دهی شده در دزهای کم‌تر از ۱ kGy امتیاز کم‌تری داشتند. اما از نظر ارزیاب‌ها نمونه‌های تابش‌دهی شده در دزهای بالاتر (۱.۵ و ۲ kGy) هنوز در محدوده‌ی پذیرش (بیش‌تر از ۵) تا روز ۱۴۰م نگاه‌داری قرار داشتند، در حالی که نمونه‌ی کنترل غیر قابل مصرف شد.

زرشک در طی دوره‌ی نگاه‌داری به صورت معنی‌داری کاهش یافت، که با روند تغییر شاخص‌های رنگ هم‌خوانی داشت. به علاوه، تابش‌دهی تأثیر معنی‌داری بر سفتی بافت نمونه‌ها نداشت، اما سفتی بافت میوه‌ها در طول زمان به صورت معنی‌داری کاهش یافت که این کاهش در نمونه‌ی کنترل و نمونه‌های تابش‌دهی شده با دز کم‌تر از ۱ kGy بیش‌تر بود. براساس نظر ارزیاب‌ها، پذیرش کلی همه نمونه‌ها به صورت معنی‌داری در طی نگاه‌داری

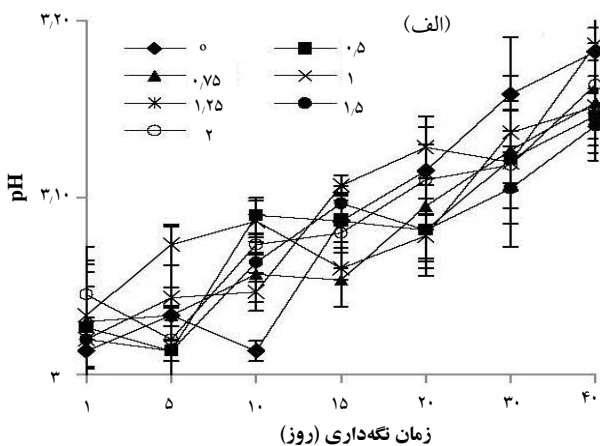






**شکل ۳.** تأثیر تابش‌دهی گاما (۰ تا ۲ kGy) و نگهداری (۴°C به مدت ۴۰ روز) بر شاخص‌های حسی میوه‌ی زرشک تازه؛ روش هدونیک ۹ نقطه‌ای برای ارزیابی رنگ، طعم و مزه، عطر و بو و پذیرش کلی از بسیار بد (۱) تا بسیار عالی (۹) و بافت از بسیار نرم (۱) تا بسیار سفت (۹).

به صورت معنی‌داری کم‌تر از نمونه‌ی کنترل در انتهای دوره نگهداری بود. این موضوع می‌تواند ناشی از تأثیر تابش‌دهی بر کاهش سرعت فرایندهای پیری و تنفس میوه باشد [۱۰]. همچنین، افزایش مواد جامد محلول میوه می‌تواند در ارتباط با کاهش آب و تجزیه‌ی آنزیمی پلی‌ساکاریدهای بزرگ به قندهای ساده در طی نگهداری باشد [۱۰]. به علاوه، تابش‌دهی، یک عامل بازدارنده‌ی فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی است. به طور مشابهی، مواد جامد محلول پالم تابش‌دهی شده در ۰٫۲ تا ۱٫۵ kGy در طی نگهداری یخچالی به مدت ۲۸ روز [۱۰]، هلوی تابش‌دهی شده در ۱ تا ۲ kGy در طی نگهداری یخچالی به مدت ۲۵ روز [۱۱]، گوجه‌فرنگی گیلای تابش‌دهی شده در ۰٫۸ تا ۵٫۷ kGy در طی نگهداری یخچالی به مدت ۱۴ روز [۲۵] و هلوی تابش‌دهی شده در ۱٫۲ kGy در طی نگهداری یخچالی به مدت ۳۵ روز [۲۳] افزایش یافت، که میزان افزایش در نمونه‌ی کنترل به صورت معنی‌داری بیش‌تر از نمونه‌های تابش‌دهی شده بود.



به طور مشابهی، بلافاصله بعد از تابش‌دهی میوه‌ی انار، ارزیاب‌ها تفاوتی بین نمونه‌های تابش‌دهی شده (۰٫۵ تا ۲ kGy) و نمونه‌ی شاهد حس نکردند [۶]. همچنین در پژوهش‌های مشابه، کاهش سفتی بافت در ارتباط با هیدرولیز و محلول شدن ترکیبات پکتیکی و فرایند پیری میوه است، اما تابش‌دهی ممکن است با بازدارندگی رشد میکروبی و همچنین کاهش فعالیت آنزیمی سبب به تأخیر افتادن فساد و پیری میوه‌ها شود [۲۳]. از نظر پذیرش کلی، کسب امتیاز بالاتر در نمونه‌های تابش‌دهی شده نسبت به نمونه‌ی کنترل در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده‌اند [۱۲، ۱۳، ۲۸]. که طبق آنها استفاده از فناوری تابش‌دهی تا ۲ kGy برای افزایش ایمنی میکروبی محصولات کشاورزی تازه بدون تأثیر نامطلوب بر پذیرش مصرف‌کننده توصیه شده است [۲۸].

**۶.۳ تأثیر پرتو گاما بر pH، اسیدیته کل و مواد جامد محلول میوه**  
در شکل ۴، تأثیر تابش‌دهی و نگهداری در دمای یخچالی بر pH، اسیدیته کل و مواد جامد محلول، میوه زرشک نشان داده شده است. بلافاصله بعد از تابش‌دهی، مقادیر pH، اسیدیته کل و مواد جامد محلول، تغییر معنی‌داری نشان ندادند ( $p > 0.05$ ). نتایج مشابهی در توت‌فرنگی تابش‌دهی شده تا ۲ kGy [۱۴]، گیلای و زغال اخته تا ۰٫۴ kGy [۸]، گوجه‌فرنگی گیلای تا ۳٫۲ kGy [۲۵] و توت‌فرنگی تا ۰٫۴ kGy [۲۶] گزارش شده است. در مقابل، اسیدیته در میوه‌ی انار تابش‌دهی شده تا ۲ kGy بلافاصله پس از تابش‌دهی کاهش یافت [۶]. همچنین، مواد جامد محلول هلوی تابش‌دهی شده تا ۱٫۲ kGy بلافاصله بعد از تابش‌دهی افزایش یافت [۲۳].

محتوای مواد جامد محلول میوه‌ی تازه‌ی زرشک تابش‌دهی شده در ۰ تا ۲ kGy در طی نگهداری، روند افزایشی داشت ( $p < 0.05$ )، به طوری که نمونه‌ی کنترل و نمونه‌های تابش‌دهی شده با دزهای ۰٫۵ و ۰٫۷۵ kGy در انتهای دوره‌ی نگهداری، بیشینه مواد جامد محلول را داشتند و تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های

تابش‌دهی شده در دامنه‌ی دز ۱ تا ۲ kGy مشاهده نشد. روند افزایشی مواد جامد محلول در نمونه‌های تابش‌دهی شده با دز

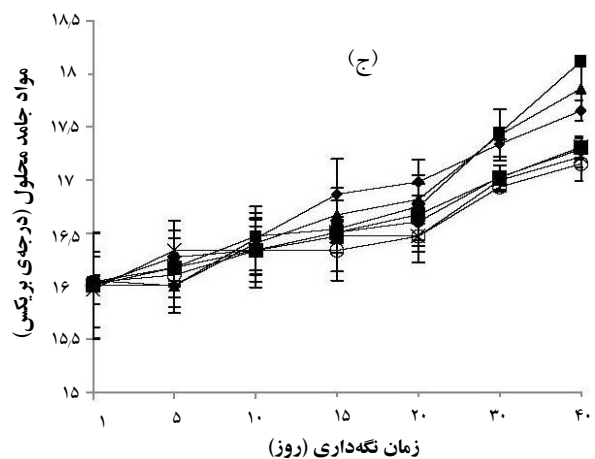
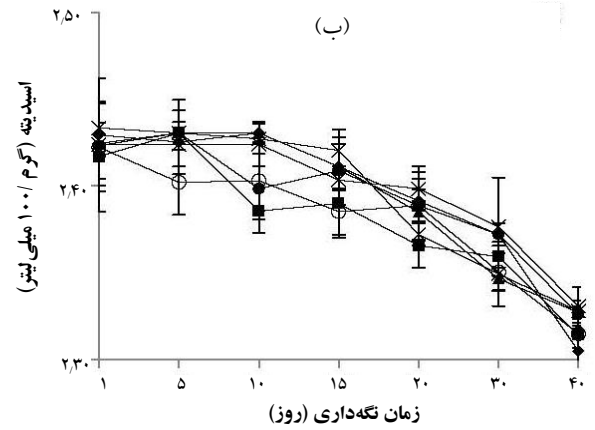


متابولیکی نسبت داده می‌شود که اسیدهای آلی به عنوان سوپسترا مصرف شوند [۱۸]. این رفتار را می‌توان به محتوای کم ترکیبات قندی در میوه‌ها از جمله میوه‌ی زرشک نسبت داد، به طوری که پس از برداشت، اسیدهای آلی آن‌ها به عنوان سوپسترا و سنتز ترکیبات جدید دارای اسکلت کربنی<sup>(۱۵)</sup>، به ویژه ترکیبات فرار استفاده قرار می‌شوند [۱۵].

### ۷.۳ تأثیر پرتو گاما بر محتوای آنتوسیانین کل میوه

با توجه به شکل ۵، روند کاهشی محتوای آنتوسیانین کل با افزایش دز تابش‌دهی از ۰/۵ به ۲ kGy به صورت معنی‌داری افزایش یافت ( $p < 0.05$ ). هم‌چنین، محتوای آنتوسیانین کل در دوره‌ی طی نگره‌داری به صورت معنی‌داری کاهش یافت ( $p < 0.05$ ). در انتهای دوره نگره‌داری، محتوای آنتوسیانین در نمونه‌ی کنترل و نمونه‌های تابش‌دهی شده با دز ۱/۵ و ۲ kGy به صورت معنی‌داری کم‌تر از نمونه‌های دیگر بود ( $p < 0.05$ ). هم‌چنین تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های تابش‌دهی شده در محدوده‌ی ۰/۵ تا ۱/۲۵ kGy مشاهده نشد.

باید توجه داشت که آنتوسیانین‌ها ترکیبات پلی‌فنولی محلول در آب هستند که رنگ قرمز میوه‌ی زرشک به آنها نسبت داده می‌شود [۲]. کاهش محتوای آنتوسیانین‌ها در اثر تابش‌دهی در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است [۹، ۱۵، ۲۷]. تابش‌دهی سبب پرتوکافت شدن (رادپولیز) آب و ایجاد گونه‌های فعال مولکولی و رادیکال‌های آزاد می‌شود. رادیکال‌های آزاد با شکستن پیوندهای شیمیایی در ساختار آنتوسیانین‌ها، موجب باز شدن ساختار حلقوی آنتوسیانین‌ها می‌شوند و در نتیجه رنگ آنها از بین می‌رود [۲۷]. در این راستا، تابش‌دهی با دز ۰/۴ تا ۲ kGy سبب کاهش معنی‌دار محتوای آنتوسیانین میوه‌ی انار شد [۶]. هم‌چنین، تابش‌دهی با دزهای ۱ تا ۲ kGy، محتوای آنتوسیانین میوه‌های تمشک تازه را به صورت معنی‌داری کاهش داد [۱۵].



شکل ۴. تأثیر تابش‌دهی گاما (۰ تا ۲ kGy) و نگهداری (۴°C به مدت ۴۰ روز) بر pH، اسیدیته کل و مواد جامد محلول میوه‌ی زرشک تازه.

اسیدیته‌ی نمونه‌های زرشک تابش‌دهی شده (۰ تا ۲ kGy) به صورت معنی‌داری در طی نگره‌داری در دمای ۴°C کاهش یافت ( $p < 0.05$ ) که بیان‌کننده‌ی فرایند پیری میوه بود. با وجود کاهش کم‌تر اسیدیته در نمونه‌های تابش‌دهی شده نسبت به نمونه‌ی کنترل، تفاوت معنی‌داری بین آنها در انتهای دوره نگره‌داری مشاهده نشد. هم‌چنین pH نمونه‌ها در طی نگره‌داری، روند افزایشی نشان داد ( $p < 0.05$ ). روند کاهشی اسیدیته و روند افزایشی pH در توت‌فرنگی تابش‌دهی شده با دز ۲ kGy در طی ۸ روز نگره‌داری [۱۴]، تمشک تابش‌دهی شده با دز ۱/۵ kGy در طی نگره‌داری [۱۶]، تمشک تابش‌دهی شده با دز ۲ kGy در طی ۲۰ روز نگره‌داری [۱۵] گزارش شده است. البته میزان کاهش در تمشک تابش‌دهی شده بالاتر از نمونه‌ی کنترل بود که به سنتز ترکیبات فرار نسبت داده شد و ارتباطی با نرخ تنفس نداشت [۱۵]. روند کاهشی اسیدیته در میوه‌ها به افزایش فعالیت‌های

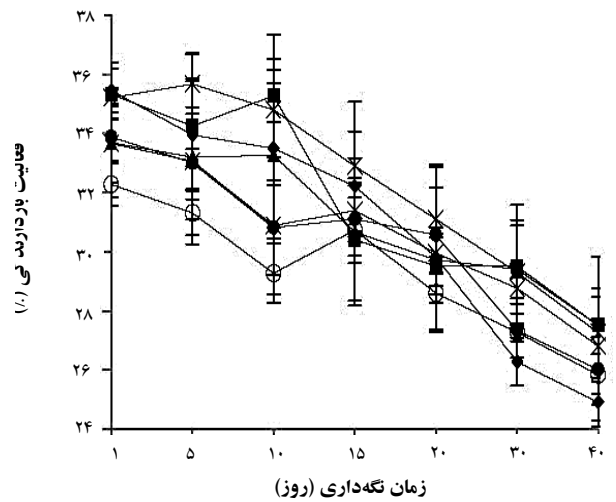
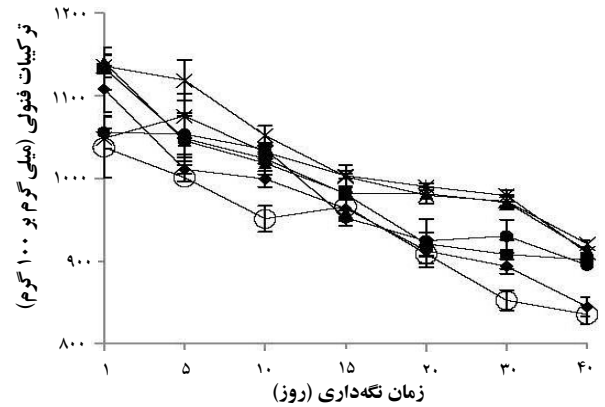
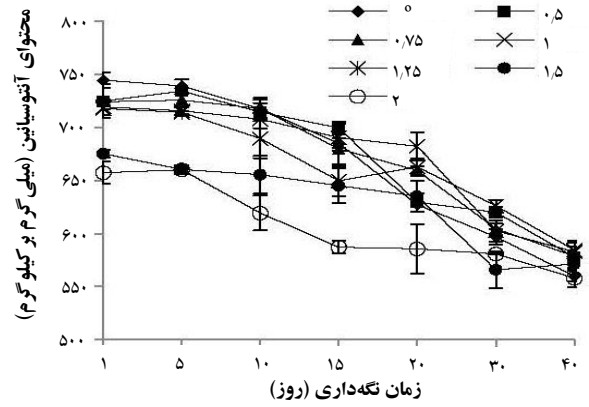


۱۰ kGy [۲] گزارش شده است. افزایش محتوای آنتوسیانین ها، بیش تر در میوه های نارس و نافرازگرا به دلیل افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیا- لیاز<sup>(۱۶)</sup> رخ می دهد. به نظر می رسد تابش دهی سبب القاء تولید اتیلن می شود و در نتیجه فعالیت فنیل آلانین آمونیا- لیاز در میوه های نارس افزایش می یابد [۲۹].

**۸.۳ تأثیر پرتو گاما بر محتوای ترکیبات فنولی و خاصیت ضد آکسایشی میوه**

ترکیبات فنولی به علت تأثیر بر ویژگی های تغذیه ای و حسی میوه ها بسیار مهم اند [۶]. میوه ی زرشک و فراورده های آن، منبع غنی ترکیبات فنولی به ویژه آنتوسیانین ها هستند که ویژگی های ظاهری آن ها را تحت تأثیر قرار می دهند [۲]. با توجه به شکل ۵، محتوای ترکیبات فنولی میوه ی زرشک تازه با افزایش دز تابش دهی از ۰/۵ به ۲ kGy کاهش معنی داری در حدود ۶/۴٪ داشت. هم چنین در تمام نمونه ها، محتوای ترکیبات فنولی در طی نگهداری در دمای ۴ °C به صورت معنی داری کاهش یافت (p < ۰/۰۵). در نمونه های کنترل و تابش دهی شده با دز ۲ kGy، میزان کاهش ترکیبات فنولی در حدود ۲۴٪ مشاهده شد که بالاتر از سایر نمونه ها بود. در مقابل نمونه های تابش دهی شده در دامنه ی دز ۰/۷۵ تا ۱/۲۵ kGy در انتهای دوره ی نگهداری کم ترین کاهش (۱۸٪) را داشتند.

در این راستا و بلافاصله بعد از تابش دهی، کاهش معنی دار ترکیبات فنولی در کلم چینی تابش دهی شده با دز ۱ kGy [۳۰]، میوه ی انار تابش دهی شده در دامنه ی ۰/۴ تا ۲ kGy، به ویژه در دزهای ۱ و ۲ kGy [۶]، میوه ی زرشک تابش دهی شده با دز ۰/۵ تا ۱۰ kGy [۲] میوه ی عناب با دز ۰/۲۵ تا ۱ kGy [۳۱] گزارش شده است. هم چنین کاهش محتوای ترکیبات فنولی در گوجه فرنگی گیلاسی در دامنه ی دز ۰/۸ تا ۵/۷ kGy در طی نگهداری یخچالی به مدت ۱۴ روز [۲۵] گزارش شده است. اما، بلافاصله بعد از تابش دهی، محتوای ترکیبات فنولی انبه ی تابش- دهی شده (۰/۵ تا ۱/۵ kGy) افزایش یافت که به حضور و توانایی بتا- کاروتن در حذف رادیکال های آزاد نسبت داده شد [۳۲]. تأثیر افزایشی یا کاهشی تابش دهی بر محتوای ترکیبات فنولی فراورده های کشاورزی، تحت تأثیر مقدار دز تابش دهی، زمان تابش دهی، حلال های مورد استفاده برای استخراج ترکیبات فنولی، نوع مواد خام گیاهی و زمان سنجش محتوای ترکیبات



**شکل ۵.** تأثیر تابش دهی گاما (۰ تا ۲ kGy) و نگهداری (۴ °C) به مدت ۴۰ روز) بر محتوای آنتوسیانین کل، ترکیبات فنولی و خاصیت ضد آکسایشی میوه ی زرشک تازه.

در مقابل، مقدار آنتوسیانین در زغال اخته و تمشک در اثر تابش دهی و نگهداری تحت تأثیر قرار نگرفت [۱۷]. در این راستا، تأثیر پرتو گاما (۱ تا ۲ kGy) بر تجمع و افزایش محتوای آنتوسیانین در میوه های هلو [۲۳، ۲۹]، توت فرنگی [۲۴]، پالم [۱۰] و هم چنین زرشک خشک تابش دهی شده با دز ۰/۵ تا



نظر گرفته شد. باید توجه داشت که این میوه، ماندگاری کمی دارد و در طی نگهداری مستعد رشد میکروبی، کاهش ارزش تغذیه‌ای و تغییرات ظاهری است. براساس نتایج حاصل، با وجود استفاده از بسته‌بندی و نگهداری در دمای پایین، تغییرات مرتبط با رشد میکروبی، کاهش سفتی بافت، تیره شدن رنگ، کاهش محتوای ترکیبات فنولی با خاصیت ضدآکسایشی در نمونه‌ی کنترل به صورت معنی‌داری افزایش یافت که در نهایت منجر به کاهش قابل توجه بازاریابی آن در اوایل دوره‌ی نگهداری شد. تابش‌دهی مواد غذایی روشی ایمن و مفید به منظور بازاریابی رشد میکروبی و حفظ کیفیت تغذیه‌ای و حسی مواد غذایی است. اگر چه تابش‌دهی و نگهداری سبب کاهش محتوای ترکیبات فنولی و تغییر شاخص‌های رنگ در میوه‌ی زرشک می‌شود، اما در نمونه‌های تابش‌دهی شده با دزهای ۱٫۵ و ۲ kGy، رشد میکروبی و درصد خرابی طی ۳۰ روز نگهداری در حداقل مقدار خواهند بود. همچنین، از نظر ارزیابی‌ها، نمونه‌های تابش‌دهی شده در این دزها تا روز ۴۰ام نگهداری قابل پذیرش بودند، در حالی‌که نمونه‌ی کنترل در روز ۲۰ام نگهداری غیر قابل مصرف شد.

به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بسته‌بندی میوه‌ی زرشک در بسته‌های پلی‌اتیلن ترفتالات منفذدار و تابش‌دهی آن در دزهای ۱٫۵ و ۲ kGy همراه با نگهداری در دمای یخچالی می‌تواند در صنعت فراوری حداقلی این میوه در نظر گرفته شود تا بتوان این میوه‌ی بومی کشور را به صورت تجاری و با ماندگاری قابل قبول روانه بازار کرد.

#### پی‌نوشت‌ها

1. *Berberis Integerrima*
2. *Berberis Vulgaris*
3. Methyl Bromide
4. Phytosanitary Treatment
5. Folin-Ciocalteu's Phenol Reagent
6. Yeast Extract Glucose Chloramphenicol Agar
7. DPPH Radical (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)
8. Pour-Plate Method
9. Berry
10. Minimally Processed Fruit
11. Pectin Methyltransferase
12. Polygalacturonase
13. Cherry Tomato
14. Hurdle Technology
15. Carbon Skeleton
16. Phenylalanine Ammonia-Lyase

فنولی (بلافاصله بعد از تابش‌دهی یا دیرتر) است [۳۳]. افزایش محتوای ترکیبات فنولی و فعالیت ضدآکسایشی نمونه‌های غذایی پس از تابش‌دهی اساساً به فعالیت‌های آنزیمی (برای مثال فنیل آلانین آمونیا-لیاز و پراکسیداز)، افزایش استخراج این ترکیبات از بافت گیاهی و شکستن پیوندهای شیمیایی پلی‌فنول‌ها (در نتیجه آزاد شدن ترکیبات فنولی محلول و با وزن مولکولی کم) نسبت داده می‌شود [۳۳]. اما کاهش محتوای ترکیبات فنولی را می‌توان به نقش ضدآکسایشی این ترکیبات در حذف رادیکال‌های آزاد و گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن ایجاد شده در اثر تابش گاما نسبت داد [۶].

فعالیت ضدآکسایشی نمونه‌ها با افزایش دز تابش‌دهی کاهش یافت، به طوری‌که بازاریابی رادیکال DPPH از ۳۵٪ در نمونه‌ی کنترل به ۳۲٪ در نمونه‌ی تابش‌دهی شده با دز ۲ kGy رسید که این کاهش معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). همچنین فعالیت ضدآکسایشی نمونه‌ها در طی نگهداری به صورت معنی‌داری کاهش یافت ( $p < 0.05$ ). کاهش فعالیت ضدآکسایشی در نمونه‌ی کنترل (۲۹٪) و نمونه‌های تابش‌دهی شده با دزهای ۱٫۵ و ۲ kGy (۲۶٪) به صورت معنی‌داری بیش‌تر از سایر نمونه‌ها در انتهای دوره‌ی نگهداری بود. لازم به ذکر است که فعالیت ضدآکسایشی میوه‌ی زرشک قابل توجه است و در برخی پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است [۴، ۵]. خاصیت ضدآکسایشی میوه‌ی زرشک به محتوای ترکیبات فنولی (آنتوسیانین‌ها) و اسید آسکوربیک موجود در آن نسبت داده می‌شود [۵]. به طور مشابهی، کاهش فعالیت ضدآکسایشی میوه‌ی انار تابش‌دهی شده با دز ۰٫۴ تا ۲ kGy [۶] و کلم چینی در دز ۱ kGy و بالاتر [۳۰] گزارش شده است. در مقابل، تابش‌دهی سبب افزایش معنی‌دار فعالیت ضدآکسایشی میوه‌ی هلو به ویژه در محدوده‌ی ۱٫۶ تا ۲٫۰ kGy [۲۹] شد. در برخی موارد نیز تفاوت معنی‌داری از نظر فعالیت ضدآکسایشی در میوه‌ی کیوی تابش‌دهی شده در محدوده‌ی ۱ تا ۳ kGy طی ۳ هفته نگهداری [۱۲]، و گوجه‌فرنگی گیلانی تابش‌دهی شده در دامنه دز ۰٫۸ تا ۵٫۷ kGy طی ۱۴ روز نگهداری در دمای یخچالی [۲۵] مشاهده نشد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

میوه‌ی زرشک بومی ایران، سرشار از ترکیبات فنولی با خاصیت ضدآکسایشی است. در راستای تنوع بخشی به فرآورده‌های زرشک، افزایش ماندگاری میوه‌ی تازه‌ی زرشک به مدت ۴۰ در



- ‘Bidaneh’): A medicinal shrub, *Ind. Crops Prod.* **50** (2013) 276-287.
- [6] H.M. Shahbaz, J.J. Ahn, K. Akram, H.Y. Kim, E.J. Park, J.H. Kwon, Chemical and sensory quality of fresh pomegranate fruits exposed to gamma radiation as quarantine treatment, *Food Chem.* **145** (2014) 312-318.
- [7] R.G. Moreira, E.M. Castell-Perez, Irradiation applications in fruit and other fresh produce processing. In: S Rodrigues, FAN Fernandes (Eds.), *Advances in Fruit Processing Technologies* (2012) 203-217.
- [8] K. Thang, K. Au, C. Rakovski, A. Prakash, Effect of phytosanitary irradiation and methyl bromide fumigation on the physical, sensory, and microbiological quality of blueberries and sweet cherries, *J. Sci. Food Agric.* **96(13)** (2016) 4382-4389.
- [9] H.R. Alighourchi, M. Barzegar, M.A. Sahari, S. Abbasi, Gamma ray effects on some physicochemical properties, functional compounds and antioxidant activity of pomegranate juice, *J. Nucl. Sci. Tech.* **65** (2013) 65-75 (In Persian).
- [10] P.R. Hussain, M.A. Dar, A.M. Wani, Impact of radiation processing on quality during storage and post-refrigeration decay of plum (*Prunus domestica* L.) cv. Santarozza, *Radiat. Phys. Chem.* **85** (2013) 234-242.
- [11] P.R. Hussain, R.S. Meena, M.A. Dar, A.M. Wani, Studies on enhancing the keeping quality of peach (*Prunus persica* Bausch) Cv. Elberta by gamma-irradiation, *Radiat. Phys. Chem.* **77(4)** (2008) 473-481.
- [12] K.H. Kim, H.S. Yook, Effect of gamma irradiation on quality of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa* cv. Hayward), *Radiat. Phys. Chem.* **78(6)** (2009) 414-421.
- [13] M.A. Moreno, M.E. Castell-Perez, C. Gomes, P.F. Da Silva, R.G. Moreira, Quality of electron beam irradiation of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) at medium dose levels (1.0–3.2 kGy), *LWT-Food Sci. Technol.* **40(7)** (2007) 1123-1132.
- [14] L. Yu, C. Reitmeier, M. Gleason, G. Nonnecke, D. Olson, R. Gladon, Quality of
- مراجع
- [1] S.B. Ardestani, M.A. Sahari, M. Barzegar, Effect of extraction and processing conditions on organic acids of barberry fruits, *J. Food Biochem.* **39(5)** (2015) 554-565.
- [2] S.B. Ardestani, M.A. Sahari, M. Barzegar, Effect of extraction and processing conditions on anthocyanins of barberry, *J. Food Process. Preserv.* **40(6)** (2016) 1407-1420.
- [3] Anonymous, Iranian Ministry of Jihad-e Agriculture Yearbook, (2016) Available at: <http://www.maj.ir/>.
- [4] M. Farhadi Chitgar, M. Aalami, Y. Maghsoudlou, E. Milani, Comparative study on the effect of heat treatment and sonication on the quality of barberry (*Berberis vulgaris*) juice, *J. Food Process. Preserv.* **41(3)** (2017) 1-9.
- [5] A. Alemardan, W. Asadi, M. Rezaei, L. Tabrizi, S. Mohammadi, Cultivation of Iranian seedless barberry (*Berberis integerrima* electron beam irradiated strawberries, *J. Food Sci.* **60(5)** (1995) 1084-1087.
- [15] J.V. Tezotto-Uliana, N.D. Berno, F.R.Q. Saji, R.A. Kluge, Gamma radiation: An efficient technology to conserve the quality of fresh raspberries, *Sci. Hort.* **164** (2013) 348-352.
- [16] S. Cabo Verde, M. Trigo, M. Sousa, A. Ferreira, A. Ramos, I. Nunes, C. Junqueira, R. Melo, P. Santos, M. Botelho, Effects of gamma radiation on raspberries: Safety and quality issues, *J. Toxicol. Environ. Health, Part A*, **76(4-5)** (2013) 291-303.
- [17] J.B. Golding, B.L. Blades, S. Satyan, A.J. Jessup, L.J. Spohr, A.M. Harris, C. Banos, J.B. Davies, Low dose gamma irradiation does not affect the quality, proximate or nutritional profile of ‘Brigitta’ blueberry and ‘Maravilla’ raspberry fruit, *Postharvest Biol. Technol.* **96** (2014) 49-52.
- [18] Z. Hussein, O.J. Caleb, K. Jacobs, M. Manley, U.L. Opara, Effect of perforation-mediated modified atmosphere packaging and storage



- duration on physicochemical properties and microbial quality of fresh minimally processed 'Acco' pomegranate arils, *LWT-Food Sci. Technol.* **64(2)** (2015) 911-918.
- [19] S.B. Ardestani, M.A. Sahari, M. Barzegar, S. Abbasi, Some physicochemical properties of Iranian native barberry fruits (abi and poloei): *Berberis integerrima* and *Berberis vulgaris*, *J. Food Pharm. Sci.* **1(3)** (2013) 60-67.
- [20] H. Yildiz, S. Ercisli, M. Sengul, E.F. Topdas, O. Beyhan, O. Cakir, H.K. Narmanlioglu, E. Orhan, Some physicochemical characteristics, bioactive content and antioxidant characteristics of non-sprayed Barberry (*Berberis vulgaris* L.) fruits from Turkey, *Erwerbs-Obstbau* **56(4)** (2014) 123-129.
- [21] M. Shamaila, Water and its relation to fresh produce, in in: Lamikanra, O., Imam, S., Ukuku, D. (Eds.), *Produce degradation: pathways and prevention*, CRC Press, New York (2005) 267-291.
- [22] K. Warriner, S. Zivanovic, Microbial metabolites in fruits and vegetables, in in: Lamikanra, O., Imam, S., Ukuku, D. (Eds.), *Produce degradation: pathways and prevention*, CRC Press, New York (2005) 505-528.
- [23] P.R. Hussain, P.P. Suradkar, A.M. Wani, M.A. Dar, Potential of carboxymethyl cellulose and  $\gamma$ -irradiation to maintain quality and control disease of peach fruit, *Int. J. Biol. Macromol.* **82** (2016) 114-126.
- [24] P.R. Hussain, M.A. Dar, A.M. Wani, Effect of edible coating and gamma irradiation on inhibition of mould growth and quality retention of strawberry during refrigerated storage, *Int. J. Food Sci. Tech.* **47(11)** (2012) 2318-2324.
- [25] D. Guerreiro, J. Madureira, T. Silva, R. Melo, P.M. Santos, A. Ferreira, M.J. Trigo, A.N. Falcão, F.M. Margaça, S.C. Verde, Post-harvest treatment of cherry tomatoes by gamma radiation: Microbial and physicochemical parameters evaluation, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **36** (2016) 1-9.
- [26] T. Serapian, A. Prakash, Comparative evaluation of the effect of methyl bromide fumigation and phytosanitary irradiation on the quality of fresh strawberries, *Sci. Hort.* **201** (2016) 109-117.
- [27] S.S. Lee, E.M. Lee, B.C. An, T.H. Kim, K.S. Lee, J.Y. Cho, S.H. Yoo, J.S. Bae, B.Y. Chung, Effects of irradiation on decolourisation and biological activity in *Schizandra chinensis* extracts, *Food Chem.* **125(1)** (2011) 214-220.
- [28] X. Fan, K.J. Sokorai, Effects of gamma irradiation, modified atmosphere packaging, and delay of irradiation on quality of fresh-cut iceberg lettuce, *HortScience* **46(2)** (2011) 273-277.
- [29] P.R. Hussain, A.M. Wani, R.S. Meena, M.A. Dar, Gamma irradiation induced enhancement of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and antioxidant activity in peach (*Prunus persica* Bausch, Cv. Elberta), *Radiat. Phys. Chem.* **79(9)** (2010) 982-989.
- [30] H.J. Ahn, J.H. Kim, J.K. Kim, D.H. Kim, H.S. Yook, M.W. Byun, Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.), *Food Chem.* **89(4)** (2005) 589-597.
- [31] C. Kavitha, A. Kuna, T. Supraja, S.B. Sagar, T. Padmavathi, N. Prabhakar, Effect of gamma irradiation on antioxidant properties of ber (*Zizyphus mauritiana*) fruit, *J. Food Sci. Technol.* **52(5)** (2015) 3123-3128.
- [32] S.K. El-Samahy, B.M. Youssef, A.A. Askar, H.M.M. Swailam, Microbiological and chemical properties of irradiated mango, *J. Food Safety* **20(3)** (2000) 139-156.
- [33] M. Alothman, R. Bhat, A. Karim, Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plant produce, *Trends Food Sci. Technol.* **20(5)** (2009) 201-212.

