



اثر پرتودهی گاما بر محتوای فنول و آنتوسیانین کل دو رقم میوه تازه زرشک ایرانی (*Berberis integerrima* and *Berberis vulgaris*)

سمیرا برنجی اردستانی^{۱*}، محمدعلی سحری^۲، محسن برزگر^۲

*۱. پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی ۵۱۱۱۳-۱۴۳۹۹.

دانشگاه تربیت مدرس، رایانامه: sardestani@aeoi.org.ir

۲. گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی ۱۱۱-۱۴۱۵۵

چکیده

پرتودهی گاما به علت بازدارندگی رشد میکروبی در میوه‌های تازه، می‌تواند ایمنی و ماندگاری آنها را افزایش دهد. در این تحقیق دو رقم میوه زرشک تازه (*Berberis integerrima* و *B. vulgaris*) تحت تأثیر تابش گاما در دزهای مختلف ۰/۵ تا ۱۰ کیلوگری قرار گرفت. اثرات پرتودهی گاما بر محتوای کل دو دسته ترکیبات زیست فعال بسیار مهم شامل ترکیبات فنولیک و آنتوسیانین‌ها بررسی شد. با توجه به نتایج این پژوهش، برای تیمار این دو رقم زرشک بومی ایران، جهت افزایش عمر مفید، زمان انبارمانی میوه تازه و امکان صادرات به بازارهای بین‌المللی، کاهش ضایعات و نیز حفظ ترکیبات زیست فعال، پرتودهی گاما دز ۰/۵ کیلوگری پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: پرتودهی گاما، فنول کل، آنتوسیانین کل، میوه زرشک

Effect of Gamma Irradiation on Total Phenolic and Anthocyanin Contents of Two Varieties of Iranian Barberry Fresh Fruit (*Berberis integerrima* and *Berberis vulgaris*)

Samira Berenji Ardestani^{*1}, Mohammad Ali Sahari², Mohsen Barzegar²

*1- Research School of Radiation Applications, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, Tarbiat Modares University, E-mail: sardestani@aeoi.org.ir

2- Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares

Abstract

Gamma irradiation by inhibiting microbial growth can increase safety and shelf life in fresh fruit. In this research, two varieties of Iranian native barberry including *Berberis integerrima* and *B. vulgaris* were irradiated by gamma radiation at various doses of 0.5 to 10 kGy. Effects of gamma irradiation on the total contents of two groups of important bioactive compounds including phenolic compounds and anthocyanin, were reviewed. According to results of this study, gamma irradiation at dose of 0.5 kGy is recommended for treating these two varieties in order to increase shelf life and storage time of fresh fruit and possibility to export to international markets, decrease the product wastes and also maintain their bioactive compounds.

Keywords: Gamma irradiation, Total phenol, Total anthocyanin, Barberry fruit



مقدمه

زرشک، درختچه با ارزش و بومی ایران شامل دو گونه مهم بربریس اینتگریم^۱ و بربریس ولگاریس^۲ می‌باشد [۱]. اگرچه میوه‌هایی مانند زرشک تنها بخش کوچکی از کالری روزانه را تامین می‌کنند اما دارای مواد با ارزش ضداکسایشی، از جمله ترکیبات فنولیک می‌باشند. این میوه یکی از مهم‌ترین میوه‌های تجاری ایران می‌باشد که میزان تولید آن در سال ۱۳۹۳ نزدیک به ۱۶۵۳۹ تن بوده است [۲]. در کنار مصرف تازه‌خوری [۳، ۴، ۵]. از میوه‌های خشک زرشک به عنوان افزودنی غذایی و از میوه‌های تازه آن در تهیه ژله، شربت، مربا، سس، آب میوه، کنسانتره میوه و نوشابه‌های گازدار استفاده می‌گردد [۵]. میوه زرشک و فرآورده‌های آن غنی از ترکیبات زیست‌فعال از جمله ترکیبات فنولی است که این ترکیبات فراسودمند بر ویژگی‌های ظاهری و طعمی میوه زرشک و فرآورده‌های آن تاثیرگذار می‌باشند [۱، ۳]. ترکیبات فنولیک، متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که از مسیر شیکیمیک اسید و با استفاده از واسطه‌های سوخت‌وساز کربوهیدرات‌ها بیوسنتز می‌شوند. این ترکیبات با ظاهر، طعم، مزه و خواص سلامتی‌بخش غذاها مرتبط هستند. از جمله خواص مهم ترکیبات فنولیک ویژگی‌های ضدپلاکتی، ضداکسایشی، ضدالتهاب، ضدتومور و خواص استروژنی است که به آنها قابلیت پیشگیری از بیماری‌های قلبی-عروقی و سرطان‌ها را می‌بخشد [۶]. آنتوسیانین‌ها هم متابولیت‌های ثانویه گیاهی، از مشتقات ۲-فنیل بنزوپریلیم هستند که عموماً در شکل‌های گلیکوزیدی یافت می‌شوند و قابلیت استفاده به‌عنوان مواد رنگی طبیعی را دارند. آنتوسیانین‌ها خواص ضد میکروبی دارند. همچنین آنتوسیانین‌ها به‌عنوان عوامل کاهنده قند خون و تقویت‌کننده بینایی در دیابتی‌ها، ضدپاتیت A و B، ضدالتهاب و ضدجوش عمل کرده، مانع تجمع پلاکت‌ها شده و نفوذپذیری عروق را حفظ می‌کنند و به‌عنوان ویتامین P شناسایی می‌شوند. آنتوسیانین‌ها به‌واسطه حضور گروه‌های هیدروکسیل در موقعیت ۳ حلقه C و ۳' و ۴' حلقه B که می‌توانند یون‌های فلزی (آهن و مس) را کیلیت کنند، ضداکسنده‌های بسیار خوبی می‌باشند. این ترکیبات فعالیت‌های ضداکسایشی بیشتری نسبت به ویتامین E، آسکوربیک اسید و بتاکاروتن دارند [۷، ۸]. روش‌های نگهداری پس از برداشت میوه‌ها از قبیل نگه‌داری در دمای پائین، کنترل اتمسفر بسته‌بندی، استفاده از متیل بروماید^۳، گاز ازن و پوشش‌دهی سطح میوه‌ها با پوشش‌های خوراکی و سنتزی در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است [۹]. استفاده از روش متداول متیل بروماید، به عنوان گاز گلخانه‌ای قوی محدود شده و استفاده از آن تحت پروتکل مونترال به صورت مرحله‌ای متوقف خواهد شد [۱۰]. در بیشتر این روش‌ها، ضد عفونی کردن میوه به صورت سطحی انجام می‌گیرد. پرتودهی مواد غذایی که پاستوریزه کردن سرد نامیده می‌شود، به منظور کنترل و حذف حشرات یا ریزنده‌های عامل فساد و بیماری‌زا از قبیل باکتری‌ها، کپک‌ها و مخمرها و ویروس‌ها موجود در سطح یا درون ماده غذایی مورد استفاده قرار گیرد و در نتیجه زمان ماندگاری فرآورده‌های غذایی افزایش می‌یابد. از طرفی هزینه پرتودهی میوه‌ها و سبزی‌ها در دزهای پائین در مقایسه با متیل بروماید و اتمسفر اصلاح شده بسیار رقابتی است [۹]. بر اساس نظر کمیته مشترک FAO/IAEA/WHO



پرتودهی مواد غذایی تا ۱۰ کیلوگری هیچ خطر سم‌شناسی، تغذیه‌ای خاص، مسائل میکروبی یا باقی مانده مواد پرتوزا در مواد غذایی ایجاد نمی‌نماید. اما باید توجه داشت که غیرفعال‌سازی میکروبی در دزهای موردنظر پرتودهی می‌تواند برخی خصوصیات مواد غذایی را تحت تاثیر قرار دهد [۱۱]. با وجود پتانسیل بالقوه تابش گاما به عنوان یک فن‌آوری غیرحرارتی در افزایش ماندگاری میوه‌های تازه، در این پژوهش تاثیر تابش گاما بر محتوای کل ترکیبات فنولی، آنتوسیانین تکپاری و بسپاری میوه تازه دو رقم زرشک ایرانی ارزیابی می‌شود. پیش از مطالعه حاضر، درباره رقم *B. integerrima* پژوهشی انجام نشده است.

روش کار

میوه‌های زرشک بعد از بسته‌بندی درون بطری‌های دهانه گشاد شیشه‌ای با در پلاستیکی در جو هوای عادی و در دمای محیط داخل محفظه پرتودهی قرار گرفتند. نمونه‌ها در دزهای ۰ kGy (شاهد)، ۰/۵، ۱، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰، با سرعت ۳/۶۳ Gy/sec پرتودهی و تا زمان آزمایش در فریزر ۲۰°C- نگهداری شدند [۱۲]. برای پیشگیری از تخریب رنگ و کاهش اثرات فرایند خشک کردن، میوه‌ها در آون تحت خلاء ۵۰°C تا رسیدن به محتوای رطوبت نهایی ۰/۵٪ قرار داده شدند [۱۳]. سپس با استفاده از میوه‌های خشک، عصاره‌ها در حلال اتانول، در شرایط عدم حضور نور، در مقادیر pH=۳ و دمای ۲۵°C تهیه شد [۱۴]. محتوای فنول کل عصاره‌ها، با استفاده از محلول ۱۰۰۰ قسمت در میلیون (ppm) عصاره میوه‌های دو رقم زرشک، معرف Folin-Ciocalteu و دستگاه طیف‌سنج فرابنفش- مرئی در طول موج ۷۲۵ nm اندازه‌گیری شد. غلظت‌ها براساس روش منحنی استاندارد چند نقطه‌ای در دامنه غلظت ۰/۰۱ تا ۱۰۰۰۰ ppm محاسبه و مقادیر به‌صورت معادل میلی‌گرم گالیک اسید برای صد گرم عصاره بیان شد. تمام شرایط کار و روش‌ها برای دو رقم یکسان می‌باشد [۱۳]. غلظت آنتوسیانین کل با روش دیفرانسیلی pH با دو سامانه بافری شامل بافر پتاسیم کلراید ۰/۰۲۵ M در pH=۱ و pH=۴، و بافر سدیم استات در pH=۴/۵ در طول موج‌های ۵۳۳ و ۷۰۰ نانومتر تعیین گردید [۱۵]. تمام آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شده و نتایج در قالب طرح کاملاً تصادفی، آزمون آنالیز واریانس فاکتوریل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.2 در سطح معنی‌داری $p < 0.05$ تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به محتوای فنول، آنتوسیانین تکپاری و بسپاری کل میوه دو رقم زرشک ایرانی در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول ۱ مقادیر محتوای فنول، آنتوسیانین تکپاری و بسپاری کل میوه دو رقم زرشک ایرانی

PAC (mg در ۱۰۰g عصاره)		MAC (mg در ۱۰۰g عصاره)		TPC (mg در ۱۰۰g عصاره)		نمونه
<i>B. integerrima</i>	<i>B. vulgaris</i>	<i>B. integerrima</i>	<i>B. vulgaris</i>	<i>B. integerrima</i>	<i>B. vulgaris</i>	



۱/۰۸±۰/۰۲ ^{DE}	۳/۵۹±۰/۰۰ ^D	۷۱۴/۲۸±۲۱/۳۹ ^F	۵۷/۵۱±۱/۴۵ ^A	۱۷۸۸۸/۸۲±۱۲۱۲/۵ ^B	۶۷۵۳/۹۴±۴۴/۷۳ ^A	γ0
۱/۱۹±۰/۰۱ ^C	۴/۱۸±۰/۰۰ ^A	۸۲۶/۴۶±۱۸/۱۵ ^A	۶۵/۷۹±۲/۹۲ ^A	۱۴۶۴۵/۴۵±۱۳۰/۹۲ ^E	۶۵۳۹/۴۷±۱۱۵/۷۹ ^{AB}	γ0.5
۱/۵۳±۰/۰۶ ^A	۳/۸۹±۰/۰۰ ^B	۷۷۳/۵۷±۲۱/۲۰ ^C	۵۸/۷۳±۱/۵۴ ^A	۱۶۷۶۱/۸۴±۲۶۵/۷۹ ^D	۵۱۵۰/۶۶±۲۵۰/۶۶ ^C	γ1
۱/۰۲±۰/۰۵ ^E	۳/۶۶±۰/۰۲ ^C	۷۸۶/۳۲±۱۱/۵۸ ^B	۶۰/۲۶±۳/۹۱ ^A	۱۳۲۰۹/۲۱±۳۵۷/۸۹ ^F	۵۲۵۱/۹۷±۲۸۳/۵۵ ^C	γ2.5
۱/۲۹±۰/۰۱ ^B	۳/۳۵±۰/۰۱ ^E	۷۲۴/۱۰±۲/۳۵ ^E	۳۸/۲۸±۳/۳۵ ^B	۱۴۴۲۳/۰۳±۴۲۱/۷۱ ^E	۶۸۳۸/۱۶±۱۸/۴۲ ^A	γ5
۱/۰۹±۰/۰۰ ^D	۳/۳۵±۰/۰۰ ^E	۷۳۲/۴۴±۱۱/۲۸ ^D	۳۲/۴۴±۱/۳۲ ^{BC}	۱۹۵۶۰/۵۲±۱۶۹/۷۳ ^A	۶۸۲۹/۶۰±۱۲۶/۹۷ ^A	γ7.5
۱/۰۲±۰/۰۴ ^E	۳/۳۸±۰/۰۰ ^E	۷۲۲/۲۴±۲۱/۱۰ ^E	۲۰/۰۵±۰/۰۹ ^C	۱۶۸۹۳/۴۲±۸۶۳/۱۶ ^C	۶۱۹۵/۳۹±۵۷/۲۳ ^{AB}	γ10

بررسی اثر پرتودهی گاما بر محتوای فنول کل

پرتودهی گاما در دز ۷/۵ kGy موجب افزایش معنی دار و در بقیه دزهای مطالعه شده در این تحقیق کاهش معنی دار در محتوای فنول کل میوه زرشک رقم *integerrima* نسبت به نمونه شاهد ایجاد کردند. در میوه زرشک رقم *vulgaris* پرتوهای گاما در دزهای ۵ و ۷/۵ kGy افزایش معنی دار، در دزهای ۰/۵ و ۱۰ تفاوت معنی داری نداشته و در بقیه سطوح پرتودهی کاهش معنی دار نسبت به نمونه شاهد به وجود آوردند.

بر اساس نتایج پژوهش‌های مشابه انجام شده، تاثیر افزایشی یا کاهشی پرتودهی بر محتوای ترکیبات فنولی فرآورده‌های کشاورزی، تحت تاثیر مقدار دز پرتودهی، زمان پرتودهی، حلال‌های مورد استفاده برای استخراج ترکیبات فنولی، نوع مواد خام گیاهی و زمان سنجش محتوای ترکیبات فنولی (بلافاصله بعد از پرتودهی یا دیرتر) می‌باشد [۱۶، ۱۷ و ۱۸]. افزایش محتوای ترکیبات فنولی و فعالیت ضداکسایشی نمونه‌های غذایی بعد از پرتودهی اساساً به فعالیت‌های آنزیمی (برای مثال فنیل آلانین آمونیا-لیاز و پراکسیداز)، افزایش استخراج این ترکیبات از بافت گیاهی و شکستن پیوندهای شیمیایی پلی-فنول‌ها (در نتیجه آزاد شدن ترکیبات فنولی محلول و با وزن مولکولی کم) نسبت داده می‌شود [۱۷]. افزایش در محتوای فنول کل پس از پرتودهی را می‌توان به تغییر شکل مولکولی و تجزیه تانن‌های با وزن مولکولی بالا به ترکیبات فنولیک ساده مانند گالیک اسید، تانیک اسید و فنولیک‌های آزاد نسبت داد. پرتودهی احتمالاً این کمپلکس را برای تسهیل خروج ترکیبات فعال، می‌شکند و قابلیت استخراج فنول کل به وسیله شکستن بسپارها و انحلال پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی توسط پرتودهی بیشتر می‌شود. همچنین به واسطه جهش در فعالیت آنزیم‌های کلیدی مسیر فنیل پروپانویید (phenylpropanoid) مانند افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیا-لیاز، آنزیم مسوول ساخت ترکیبات فنولیک در این نتیجه موثر است [۱۸ و ۱۹]. دزهای پایین پرتودهی گاما تغییراتی در رنگ برش‌های میوه‌ی تازه پدید آورد که به ساخت ترکیبات فنولیک تحریک شده توسط پرتوهای گاما و قهوه‌ای شدن بافت نسبت داده‌شد [۲۰]. احتمالاً افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در نتیجه پرتودهی تغییرات در محتوای فنول کل دیواره را ایجاد می‌کند. با افزایش دز پرتودهی فعالیت آنزیم پراکسیداز و محتوای فنول کل افزایش می‌یابد [۲۱]. همچنین تشکیل فلاونوئیدهای آزاد در اثر تجزیه گلیکوزیدها با پرتوهای گاما از اثرات افزایشی پرتودهی گاما می‌باشد [۱۹]. اما کاهش محتوای ترکیبات فنولی را می‌توان به نقش ضداکسایشی



این ترکیبات در حذف رادیکال‌های آزاد و گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن ایجاد شده در اثر تابش گاما و افزایش فعالیت برخی آنزیم‌ها مانند پلی‌فنول‌اکسیداز نسبت داد [۲۱ و ۲۲]. پرتودهی گاما موجب تنش اکساینده شده و مولکول‌های زیستی را به وسیله ایجاد تغییرات ساختاری، اکسایش، شکستن پیوندهای کووالان و تشکیل رادیکال‌های آزاد متأثر می‌سازد [۲۳]. البته در دزهای بالاتر جریان رادیکال‌های آزاد تولید شده اثرات مخرب بیشتری داشته و خواص ضد اکسایشی کاهش می‌یابد [۱۹]. طی پرتودهی در حضور آب، فرایند تجزیه با اکسایش توسط رادیکال‌های OH شروع می‌شود. واکنش اصلی آنها جدا کردن H از هیدروکربن‌های اشباع و افزودن آن به پیوند دوگانه C=C می‌باشد. در حضور اکسیژن، رادیکال‌های حدواسط، بیشتر اکسید شده که به موجب آن گروه‌های کربنیل تشکیل می‌شوند. واکنش رادیکال‌های OH با سامانه‌های حلقه بنزن، موجب تشکیل رادیکال‌های هیدروکسی سیکلوهگزامید ایل می‌شود. اضافه شدن اکسیژن به این ترکیب‌های افزایشی OH به دنبال حذف رادیکال‌های HO₂ حداقل تا حدودی موجب هیدروکسیله شدن حلقه آروماتیک و کاهش محتوای ترکیبات فنولی می‌شود [۲۴].

بررسی اثر پرتودهی گاما بر محتوای آنتوسیانین تکپاری و بسپاری کل

محتوای آنتوسیانین تکپاری میوه زرشک رقم *integerrima* در دزهای ۰/۵، ۱، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰، افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند. در زرشک رقم *vulgaris*، پرتودهی گاما در دزهای ۰/۵، ۱، ۲/۵، تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نشان ندادند. در حالی که پرتودهی گاما در دزهای ۰/۵، ۷/۵، کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند.

مطابق نتایج تحقیقات مشابه پژوهش حاضر، اثرات پرتودهی بر ترکیبات زیست فعال و فعالیت ضد اکسایشی میوه‌ها، به صورت افزایشی، کاهش یا بدون ایجاد تغییر می‌باشد [۲۵]. مشابه نتایج این پژوهش در رقم *integerrima* برای تمام دزها و برخی دزها در رقم *vulgaris*، افزایش در محتوای آنتوسیانین‌ها بعد از پرتودهی در توت فرنگی گزارش شده است. دزهای بالاتر از ۲ kGy به منظور افزایش تجزیه غشا و دیواره سلولی و خروج موثرتر پیگمان‌ها استفاده شدند. مطالعات دیگری گزارش کردند که فعالیت کاتکول اکسیداز، آنزیم مربوط به زیست ساخت تکپارهای آنتوسیانین، اندکی بعد از پرتودهی در دزهای پایین و بالا، به طور معنی‌داری نسبت به شاهد بیشتر بوده است. انبار کردن پس از پرتودهی گاما، احتمالاً راندمان استخراج آنتوسیانین‌ها از ضایعات صنعتی را افزایش می‌دهد [۲۶ و ۲۷]. دزهای بالاتر بافت را تخریب کرده و با از بین بردن پیوستگی غشا، تجزیه ساختار بسپاری دیواره سلول، موجب نرم شدن میوه‌ها و قهوه‌ای شدن آنزیمی به واسطه زیست ساخت پلی‌فنول‌ها و اکسایش می‌شود [۲۶]. پایداری نسبی آنتوسیانین‌ها به رقم، بافت، شکل ساختمانی و شرایط فراوری آن وابسته است. محققان دیگر هم کاهش محتوای آنتوسیانین کل در آب انگور را پس از تیمار با دزهای گاما در دامنه ۱۰ kGy تا ۸۰ گزارش کردند [۱۲]. از بین رفتن پیگمان آنتوسیانین‌ها به اکسایش و واکنش‌های تراکمی با



سایر ترکیبات میوه مثلاً آسکوربیک اسید هم نسبت داده می‌شود. محصولات واکنش‌های تراکمی ناپایدار بوده و با تجزیه بیشتر به ترکیبات بی‌رنگ تبدیل می‌شوند. کاهش آنتوسیانین‌ها با افزایش اندکی در رنگ قهوه‌ای همراه می‌باشد [۲۸].

رنگ بسپاری در میوه زرشک رقم *integerrima* بعد از تیمار با پرتوهای گاما در دزهای ۲/۵ kGy و ۱۰ کاهش معنی‌دار و در بقیه تیمارها شامل پرتودهی در دزهای ۰/۵، ۱، ۵ و ۷/۵، افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. بسپارش شاید به واسطه آنزیم‌های درون ژنی باشد که طی پرتودهی غیرفعال نشده‌است. هر دو آنزیم پراکسیداز و پلی‌فنول‌اکسیداز موجب تجزیه آنتوسیانین در حضور کوفاکتورهایی مانند کلروژنیک اسید برای پلی‌فنول‌اکسیداز و کلروژنیک اسید و H_2O_2 برای پراکسیداز می‌شوند. سازوکار ممکن دیگر شامل واکنش‌های تراکمی آنتوسیانین‌ها با سایر ترکیبات فنولیک مانند فلاوان-۳-ال یا پلی‌فلاوان-۳-ال‌ها است که استالدئید و فورفورال می‌توانند واسطه باشند یا از طریق واکنش‌های مستقیم تانن-آنتوسیانین اتفاق بیفتد. اسیدهای فنولیک مانند فرولیک و سیرینژیک هم با آنتوسیانین‌ها کمپلکس شده‌اند. کاهش آنتوسیانین با افزایش درصد رنگ بسپاری همراه است [۲۹]. در دزهای پرتودهی ۲/۵ kGy و ۱۰ محتوای آنتوسیانین تکپاری رقم *integerrima* نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار و به موازات آن رنگ بسپاری کاهش معنی‌دار نشان داد. احتمالاً غیرفعال شدن سریع پلی‌فنول‌اکسیداز با تیمار حرارتی موجب حفظ آنتوسیانین‌ها شده‌است. در رقم *vulgaris* هم رنگ بسپاری بعد از پرتودهی در دزهای ۰/۵، ۱ و ۲/۵، افزایش معنی‌داری و در نمونه‌های پرتودهی شده با دزهای kGy ۵، ۷/۵ و ۱۰ کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان دادند. شاید بتوان دلیل افزایش رنگ بسپاری بدون تغییر معنی‌دار در محتوای آنتوسیانین کل را به ایجاد واکنش‌ها و ترکیبات بسپاری فنولیکی غیرآنتوسیانینی نسبت داد. محتوای آنتوسیانین کل و رنگ بسپاری نمونه‌های تیمار شده با پرتوهای گاما در دزهای ۵، ۷/۵ و ۱۰ نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشتند. شاید این موضوع را بتوان به نحوه اثر پرتوهای گاما نسبت داد که رنگدانه‌های آنتوسیانینی را تجزیه کرده و از بین برده اما محصولات بسپاری تولید نکرده‌است که همزمان با کاهش محتوای آنتوسیانین، رنگ بسپاری افزایش یابد. در مجموع می‌توان گفت مقادیر رنگ بسپاری در میوه زرشک رقم آبی کمتر و محتوای آنتوسیانین تکپاری آن بیشتر از رقم پلویی می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با در نظر گرفتن اثرات دزهای مختلف پرتودهی گاما بر این ترکیبات زیست‌فعال، به ویژه محتوای آنتوسیانین کل که در رنگ میوه و بازارپسندی آن عاملی موثر می‌باشد، جهت اهداف مورد نظر به‌عنوان مثال افزایش عمر مفید و زمان انبارمانی به‌منظور مصرف تازه‌خوری میوه زرشک، بهبود کیفیت میکروبی، کاهش ضایعات، افزایش امکان صادرات به بازارهای جهانی و حفظ ترکیبات زیست‌فعال در این دو رقم دز ۰/۵ کیلوگری پیشنهاد می‌شود.

مراجع



1. Berenji Ardestani, S., Sahari, M.A., Barzegar, M., Effect of extraction and processing conditions on anthocyanins of barberry, *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(6): 1407-1420, 2016.
2. Anonymous, Iranian Ministry of Agriculture Jahad Yearbook, Available at: <http://www.maj.ir/>, 2016.
3. Berenji Ardestani, S., Sahari, M.A., Barzegar, M., Effect of extraction and processing conditions on organic acids of barberry fruits. *Journal of Food Biochemistry*, 39(5): 554-565, 2015.
4. Farhadi Chitgar, M., Aalami, M., Maghsoudlou, Y., Milani, E., Comparative study on the effect of heat treatment and sonication on the quality of barberry (*Berberis vulgaris*) juice, *Journal of Food Processing and Preservation*, 12956, 41(3), DOI: 10.1111/jfpp, 2017.
5. Alemardan, A., W. Asadi, M. Rezaei, L. Tabrizi, S. Mohammadi, Cultivation of Iranian seedless barberry (*Berberis integerrima* 'Bidaneh'): A medicinal shrub, *Industrial Crops and Products*, 50: 276-287, 2013.
6. Toma's-Barbera'n, F.A. and Espi'n, J.C., Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 853-876, 2001.
7. Savarcova, I., Heinrich, J., Valentova, K., Berry fruits as a source of biologically active compounds: The case of *Lonicera Caerulea*. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*, 151(2): 163-174, 2007.
8. Jimenez, C.D.C., Flores, C.S., He, J., Tian, Q., Schwartz, S.J., Giusti, M.M., Characterization and preliminary bioactivity determination of *Berberis boliviana* Lecher fruit anthocyanins. *Food Chemistry*, 128: 717-724, 2011.
9. Moreira, R.G., Castell-Perez, E.M., Irradiation applications in fruit and other fresh produce processing. In: S Rodrigues, FAN Fernandes (Eds.), *Advances in Fruit Processing Technologies*, 203-217, 2012.
10. Thang, K., Au, K., Rakovski, C., Prakash, A., Effect of phytosanitary irradiation and methyl bromide fumigation on the physical, sensory, and microbiological quality of blueberries and sweet cherries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 7648, DOI: 10.1002/jsfa, 2016.
11. Alighourchi, H.R., Barzegar, M. Sahari, M.A. Abbasi, S., Gamma ray effects on some physicochemical properties, functional compounds and antioxidant activity of pomegranate juice, *Journal of Nuclear Science and Tehnology*, 65: 65-75, 2013.
12. Alighourchi, H.R., Barzegar, M. and Abbasi, S., Effect of gamma irradiation on the stability of anthocyanins and shelf-life of various pomegranate juices. *Food Chemistry*, 110: 1036-1040, 2008.
13. Motalleb, G., Hanachi, P., Kua, S.H., Fauziah, O. and Asmah, R., Evaluation of phenolic content and total antioxidant activity in *Berberis vulgaris* fruit extract. *Journal of Biological Science*, 5 (5): 648-653, 2005.
14. Berenji Ardestani, S., Sahari, M.A., Barzegar, M and Abbasi, S., Some physicochemical properties of Iranian native barberry fruits (abi and poloei); *Berberis integerrima* and *Berberis vulgaris*. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 1: 67-74, 2013.
15. Yildiz, H., Ercisli, S., Sengul, M., Topdas, E.F., Beyhan, O., Cakir, O., Narmanlioglu, H.K., Orhan, E., Some physicochemical characteristics, bioactive content and antioxidant characteristics of non-sprayed Barberry (*Berberis vulgaris* L.) fruits from Turkey, *Erwerbs-Obstbau*, 56(4): 123-129, 2014.
16. Breitfellner, F., Solar, S. and Sontag, G., Effect of gamma irradiation on flavonoids in strawberry. *European Food Research Technology*, 215: 28-31, 2002.
17. Alothman, M., Bhat, R., Karim, A., Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plant produce, *Trends in Food Science & Technology*, 20(5): 201-212, 2009.



18. Mali, A.B., Khedkar, K. and Igle, S.S., Effect of gamma irradiation on total phenolic content and in vitro antioxidant activity of pomegranate (*unica Granatum L.*) peels. *Food and Nutrition Sciences*, 2: 428-433, 2011.
19. Dixit, A.K., Bhatnagar, D., Kumar, V., Rani, A., Manjaya, J.G. and Bhatnagar, D., Gamma irradiation induced enhancement in isoflavones, total phenol, anthocyanin and antioxidant properties of varying seed coat colored soybean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 4298-4302, 2010.
20. Fan, X., Niemera, B. A., Mattheis, J. P., Zhuang, H. and Olson, D. W., Quality of fresh-cut apple slices as affected by low dose ionizing radiation and calcium ascorbate treatment. *Journal of Food Sciences*, 70(2): s143-s148, 2005.
21. Latorre, M.E., Narvaiz, P., Rojas, A.M. and Gerschenson, L.N., Effects of gamma irradiation on biochemical and physicochemical parameters of fresh cut red beet (*Beta vulgaris L. var. conditiva*) root. *Journal of Food Engineering*, 98: 178-191, 2010.
22. Shahbaz, H.M., Ahn, J.J., Akram, K., Kim, H.Y., Park, E.J., Kwon, J. H., Chemical and sensory quality of fresh pomegranate fruits exposed to gamma radiation as quarantine treatment, *Food Chemistry*, 145: 312-318, 2014.
23. Stajner, D., Milosevic, M. and Popovic, B.M., Irradiation effects on phenolic content, lipid and protein oxidation and scavenger ability of soybean seeds. *International Journal of Molecular Sciences*, 8: 618-627, 2007.
24. Schindler, M., Solar, S. and Sontag, G., Phenolic compounds in tomatoes. Natural variations and effect of gamma-irradiation. *European Food Research Technology*, 221: 439-445, 2005.
25. Chipurura, B. and Muchuweti, M., Effect of irradiation and high pressure processing technologies on the bioactive compounds and antioxidant capacities of vegetables. *Asian Journal of Clinical Nutrition*, 2(4): 190-199, 2010.
26. Ayed, N., Yu, H. L. and Lacroix, M., Improvement of anthocyanin yield and shelf-life extension of grape pomace by gamma irradiation. *Food Research International*, 32: 539-543, 1999.
27. Augustine, Sh., Kudachikar, V.B., Vanajakshi, V. and Ravi, R., Effect of combined preservation techniques on the stability and microbial quality and retention of anthocyanins in grape pomace stored at low temperature. *Journal of Food Science and Technology*, 50(2): 332-338, 2013.
28. Choi, M.H., Kim, G.H. and Lee, H.S., Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. *Food Research International*, 35: 753-759, 2002.
29. Brownmiller, C., Howard, L.R. and Prior, R.L., Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color and antioxidant capacity of processed Blueberry products. *Journal of Food Science*, 73(5): H72-H78, 2008.