



اثر پرتو گاما بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی، ترکیب‌های فراسودمند و خاصیت ضد اکسایشی آب انار

حمیدرضا علی‌قورچی، محسن برزگر*، محمدعلی سحری، سلیمان عباسی
گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۳۳۶-۱۴۱۱۵، تهران - ایران

چکیده: فرآوری گرمایی تأثیر قابل توجهی بر ترکیب‌های فراسودمند انار دارد. در این پژوهش اثر دزهای مختلف تابش گاما بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی، ترکیب‌های فراسودمند، خاصیت ضد اکسایشی و رنگ آب انار رقم‌های ملس ممتاز ساوه و آلك ساوه مورد ارزیابی قرار گرفت. پرتو دهی در دزهای ۰ تا ۳ کیلوگری تغییر معنی‌داری در pH، قدرت اسیدی کل و مقدار مواد جامد محلول نمونه‌ها ایجاد نکرد. کاهش مقدار ترکیب‌های فنولی هم معنی‌دار نبود. مقدار آنتوسیانین کل نمونه‌ها بعد از پرتو دهی یک کاهش معنی‌دار نشان داد؛ میزان کاهش در آب انارهای دانه‌ی انار ملس ممتاز و آلك ساوه به ترتیب، ۳۴ و ۲۹٪، و در آب انار میوه‌ی کامل انار در حدود، به ترتیب، ۳۲ و ۳۰٪ بود. با افزایش دز پرتو دهی، فعالیت ضد اکسایشی نمونه‌های انار نسبت به کنترل روند کاهشی داشت اما معنی‌دار نبود. پرتو دهی آب انارها تفاوت معنی‌داری در عامل‌های رنگ هانتر لب ایجاد کرد. در اثر پرتو دهی مقدار L^* نمونه‌های آب انار نسبت به کنترل به صورت معنی‌داری افزایش یافت، در حالی که مقادیر a^* و b^* به صورت معنی‌داری کاهش یافتند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که اثر تخریبی دزهای پایین پرتو دهی بر ترکیب‌های فراسودمند و ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی آب انار ناچیز است.

کلیدواژه‌ها: آب انار، پرتو گاما، ترکیب‌های فراسودمند، خاصیت ضد اکسایشی

Gamma Ray Effects on Some Physicochemical Properties, Functional Compounds and Antioxidant Activity of Pomegranate Juice

H.R. Alighourchi, M. Barzegar*, M.A. Sahari, S. Abbasi
Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University, P.O.Box: 14115-336, Tehran - Iran

Abstract: Thermal processing affects functional compounds of foodstuffs significantly. In the present research, the effect of gamma ray on the pomegranate juices of Malase Momtaze Saveh and Alak Saveh cvs was studied on some physicochemical properties, functional compounds, antioxidant activity and color of pomegranate juices. There was no significant difference in terms of pH, total titratable acidity and soluble solids content ($^{\circ}$ Brix) by 0-3 kGy gamma irradiation doses. Irradiation had no significant effect on the reduction of phenolic content of the samples. The total anthocyanin content of pomegranate juices significantly reduced after irradiation. The degradation percentage of the total anthocyanin content of juices obtained from Malase Momtaze Saveh and Alak Saveh arils was 34 and 29%, while these values was about 32 and 30% for juices from the whole pomegranate, respectively. By increasing the irradiation dose, the antioxidant activities of the samples in comparison to control had a decreasing trend, albeit insignificantly. In comparison with the control samples, the treated juices showed significant changes in hunterlab parameters. The L^* values of irradiated samples significantly increased, while a^* and b^* values significantly decreased. Overall, the minimal destructive effects of gamma irradiation on functional compounds and physicochemical characteristics of pomegranate juice can be achievable at low-dose irradiation.

Keywords: Pomegranate Juice, Gamma Ray, Functional Compounds, Antioxidant Activity



۱. مقدمه

انار با نام علمی پونیکا گراناتوم^(۱) متعلق به خانواده‌ی پونیکاسه^(۲) بوده و یکی از قدیمی‌ترین میوه‌های شناخته شده است. مصرف میوه‌ی انار به علت شناخته شدن خواص سلامت‌بخش^(۳) آن به صورت فزاینده‌ای افزایش یافته است. در سال ۲۰۰۷ میزان تولید انار در جهان ۱/۵ میلیون تن گزارش شد که ایران تقریباً ۴۷٪ آن را به خود اختصاص داده بود [۱]. انار معمولاً به صورت میوه‌ی تازه، آب انار، مربا، ژله و سایر مکمل‌های انار مصرف می‌شود. متوسط مصرف انار در ایران ۷ تا ۸ کیلوگرم به ازای هر نفر است [۱]. در ایران، انار بیش‌تر به صورت میوه یا آب میوه مصرف می‌شود. باید توجه داشت که نگرانی اصلی در مورد آب میوه‌های فرآوری نشده، آلوده شدن آن‌ها به برخی از ریزجاندانان بیماری‌زا است که قادرند در شرایط اسیدی زنده بمانند، به طوری که پس از مصرف فرآورده‌های آلوده منجر به مرگ انسان نیز می‌شوند [۲]. رشد میکروبی موجب تخریب خصوصیات حسی و تغذیه‌ای آب میوه‌ها از قبیل ترکیب‌های فراسودمند^(۴)، رنگ، طعم و بو می‌شود. از طرف دیگر عدم فرآوری مناسب آب میوه‌ها به ایجاد بیماری در انسان از طریق باکتری‌های بیماری‌زا یا سموم قارچی کمک می‌کند [۳]. بنابراین، با توجه به مشکلات ایجاد شده از مصرف آب میوه‌های پاستوریزه نشده، اداره‌ی غذا و داروی ایالات متحده آمریکا استاندارد کاهش ۵ چرخه‌ای لگاریتمی ریزجاندانان بیماری‌زای انسانی مثل اشیریشیاکلی^(۵) در آب میوه‌ها و آب سبزی‌ها را برای اطمینان از ایمنی چنین فرآورده‌هایی وضع کرده است [۴]. لذا حفظ کیفیت حسی، تغذیه‌ای و میکروبی مواد غذایی، نیازمند فن‌آوری‌های مناسب است تا ایمنی مواد غذایی در راستای مصارف انسانی بهبود یابد.

پرتو دهی مواد غذایی که پاستوریزه کردن سرد نامیده می‌شود می‌تواند به منظور کنترل و حذف حشرات یا ریزجاندانان عامل فساد و بیماری‌زا از قبیل باکتری‌ها، کپک‌ها، مخمرها و ویروس‌ها مورد استفاده قرار گیرد؛ در نتیجه زمان ماندگاری فرآورده‌های غذایی افزایش می‌یابد [۴]. سازمان‌های بین‌المللی از قبیل FAO و WHO با بررسی همه‌ی پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، پرتو دهی مواد غذایی را ایمن و مفید دانسته‌اند. ایمنی مواد غذایی پرتو دهی شده از چهار جنبه‌ی پرتوشناختی، سم‌شناسی، میکروبی و حفظ ارزش تغذیه‌ای قابل توجه است [۵]. کارگروه پرتو دهی مواد غذایی در سازمان غذا و داروی ایالات متحده‌ی آمریکا تایید کرده است که بیش از ۹۰ درصد ترکیب‌های پرتوکافتی

مواد غذایی پرتو دهی شده مشابه آن‌هایی هستند که در حرارت‌دهی، خشک کردن و انجماد مواد غذایی یافت شده‌اند. در غذاهای مرطوب، رادیکال‌های آزاد در کسری از ثانیه ناپدید می‌شوند، ولی در غذاهای خشک، رادیکال‌های آزاد بسیار با ثبات‌تر هستند و به سرعت ناپدید نمی‌شوند [۵]. پرتو دهی گاما می‌تواند فعالیت‌های زیستی فرآورده‌های طبیعی را با افزایش بازده استخراج، و بهبود رنگ و فعالیت ضد اکسایشی^(۶) برخی از فرآورده‌های غذایی افزایش دهد [۶]. پرتو دهی فرآورده‌های غذایی با پرتو گاما، پرتو ایکس و پرتوهای الکترونی در ۵۶ کشور مورد استفاده است و ایمنی مواد غذایی توسط WHO، CDC، USDA، و FDA تأیید شده است [۴]. فن‌آوری پرتو دهی در کارگروه مشترک FAO/IAEA/WHO به لحاظ بی‌خطر بودن مواد غذایی پرتو دهی شده تصویب شده است. در این کارگروه بیان شده است که پرتو دهی مواد غذایی تا ۱۰ کیلوگری هیچ خطر سم‌شناختی و تغذیه‌ای خاص یا مسأله‌ی میکروبی ایجاد نمی‌نماید و ایمنی آن برای انسان و مصارف حیوانی تا دز ۵۰ کیلوگری یا کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است [۶]. اما باید توجه داشت که غیرفعال‌سازی میکروبی در دزهای موردنظر پرتو دهی می‌تواند خصوصیات حسی برخی مواد غذایی را تحت تأثیر قرار دهد. در این راستا، تجزیه‌ی مشهود آنتوسیانین‌ها در آب انار در ۵ و ۱۰ کیلوگری [۷] و آب انگور در ۲ تا ۸۰ کیلوگری [۸] گزارش شده است.

اثر پرتو گاما در دزهای کم‌تر از ۵ کیلوگری بر فعالیت میکروبی و ضد اکسایشی، محتوای قند و رنگ آب میوه‌ی تمر هندی در طی نگهداری بیان‌گر این است که پرتو دهی گاما، بدون ایجاد تغییر محسوس در خصوصیات رنگی نمونه‌های آب میوه، موجب بهبود کیفیت میکروبی و ضد اکسایشی همراه با رنگ آن‌ها می‌شود [۶]. عموماً مقدار دز پرتو دهی می‌تواند به صورت کم (کم‌تر از ۳ کیلوگری)، متوسط (بین ۳ و ۱۰ کیلوگری)، یا بالا (بیش‌تر از ۱۰ کیلوگری) طبقه‌بندی شود [۹]. بیش‌تر آب میوه‌های موجود، تحت فرایند پاستوریزه کردن حرارتی متداول قرار می‌گیرند که منجر به کاهش ترکیب‌های طعمی و فراسودمند آب میوه می‌شود. در پژوهش دیگری، آب میوه‌های انگور، سیب و پرتقال با دزهای پرتو گاما (بین ۲ تا ۸۰ کیلوگری) فرآوری شدند و کاهش آنتوسیانین آب انگور و بتاکاروتن آب پرتقال بعد از ۱۰ کیلوگری مشهود بود، هم‌چنین محتوای آسکوربیک اسید در آب سیب و آب پرتقال کاهش یافت [۹].



شود. با استفاده از آب انارگیر دستی فشاری، آب‌گیری انجام شد. عمل تصفیه‌ی نمونه‌های آب انار (۵۰ میلی‌لیتر) با استفاده از سانتریفوژ در مدت ۲ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه انجام و آب انار تصفیه شده، تا زمان پرتودهی در ظرف‌های کوچک شیشه‌ای قهوه‌ای رنگ در دمای 18°C - نگه‌داری شدند.

۳.۲ پرتودهی نمونه‌های آب انار

پرتودهی نمونه‌ها، با تابش‌گر گاماسل (Gamma cell-220 irradiator (Nordion, Canada) سازمان انرژی اتمی ایران در دزهای ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ کیلوگری با آهنگ $3/63 \text{ Gy/s}$ انجام شد. بعد از پرتودهی، نمونه‌ها در حمام یخ غوطه‌ور، و به سرعت به آزمایشگاه صنایع غذایی منتقل شدند تا شاخص‌های موردنظر اندازه‌گیری شوند. برای هر تیمار، سه نمونه پرتودهی شد.

۴.۲ اندازه‌گیری pH، قدرت اسیدی کل و مواد جامد محلول

مقادیر pH، قدرت اسیدی کل (برحسب سیتریک اسید) و محتوای مواد جامد محلول (درجه‌ی بریکس) براساس روش‌های رایج شده در مطالعه‌ی علی‌قورچی و همکاران (۲۰۰۹) اندازه‌گیری شد [۱۳].

۵.۲ تعیین مقدار ترکیب‌های فنولی

مقدار ترکیب‌های فنولی کل با استفاده از معرف فولین-سیوکالتو^(۱۱) تعیین شد [۱۴]. نتایج به صورت میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب انار گزارش شد.

۶.۲ ارزیابی آنتوسیانین مونومری کل، رنگ بسپاری و چگالی رنگ کل بعد از فرآوری

غلظت آنتوسیانین کل با روش دیفرانسیلی pH با دو سامانه‌ی بافری شامل بافر پتاسیم کلرید ۰/۰۲۵ مولار در $\text{pH}=1$ و $\text{pH}=4$ ، و بافر سدیم استات در $\text{pH}=4/5$ در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد [۱۵]. رنگ بسپاری که بیان‌گر تانن‌های بسپاری مقاوم نسبت به رنگ‌بری بی‌سولفیت و هم‌چنین چگالی رنگ کل که بیان‌گر میزان جذب ترکیب‌های قهوه‌ای رنگ آب انار فرآوری شده است، در طول موج‌های ۴۲۰، ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر ارزیابی شدند [۱۶].

کاهش خطر آلودگی به ریزجانداران بیماری‌زا، در کنار حفظ خصوصیات طعمی و معطر آب میوه‌ها با استفاده از فن‌آوری‌های غیرگرمایی، موضوع‌های مورد پژوهش هستند تا بتوان با استفاده از این فن‌آوری‌ها، محصول‌های با ارزش افزوده‌ی بالاتر تولید کرد. پژوهش‌هایی در ارتباط با اثر پرتو گاما بر کیفیت میکروبی و فعالیت ضداکسایشی آب سبزی‌های تازه‌ی حاصل از هویج و کلم [۱۰]، بر مقدار آنتوسیانین‌ها و ماندگاری آب انار [۷]، بر ویژگی‌های ظاهری یا معطر آب پرتقال در دزهای پایین تا ۱/۲۵ کیلوگری [۱۱]، بر کیفیت حسی کنسانتره‌ی آب پرتقال در دزهای ۲/۵، ۵ و ۵/۵ کیلوگری [۱۲] و غیره انجام شده است؛ در این پژوهش اثر پرتو گاما بر برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، ترکیب‌های فراسودمند و فعالیت ضداکسایشی آب انار در دزهای پایین ۰ تا ۳ کیلوگری مورد بررسی قرار گرفت تا دزی از پرتو گاما انتخاب شود که در آن تخریب ترکیب‌های فراسودمند کمینه باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ مواد شیمیایی

مواد مورد استفاده برای اندازه‌گیری خاصیت ضداکسایشی از قبیل ABTS^(۷) رادیکال DPPH^(۸) و TPTZ^(۹) از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. سایر ترکیب‌های شیمیایی مورد استفاده از قبیل پراکسودی سولفیت، سدیم کربنات، سدیم استات و پتاسیم کلرید از شرکت رانکم^(۱۰) هند تهیه شدند. بقیه‌ی مواد شیمیایی، واکنش‌گرها (با خلوص تجزیه‌ای) و حلال‌ها ساخت شرکت مرک آلمان بودند.

۲.۲ تهیه‌ی آب انار و آماده‌سازی آن

۲ رقم انار کاملاً رسیده و سالم (ملس ممتاز و آلك ساوه) از مرکز تحقیقات انار ساوه تهیه شد. برای تهیه‌ی آب انار میوه‌ی کامل انار ملس ممتاز ساوه (MMSW) و آلك ساوه (ASW) و دانه‌های ملس ممتاز ساوه (MMSA) و آلك ساوه (ASA)، ابتدا انارهای هر رقم به صورت مجزا در ظرف حاوی آب سرد شسته و خشک شدند. سپس، انارهای انتخابی برش داده شده و دانه‌های آن‌ها به صورت دستی از پوست و سایر اجزا جدا شدند. در مورد میوه‌ی کامل انار نیز بخش خارجی پوست انار با چاقو جدا شد تا آب‌گیری از بخش‌های داخلی پوست و دانه‌ها انجام

**۲.۲ تعیین فعالیت ضد اکسایشی**

ظرفیت ضد اکسایشی نمونه‌های آب انار بر مبنای قدرت بازدارندگی تشکیل رادیکال‌های آزاد با استفاده از رادیکال DPPH (برحسب درصد بازدارندگی)، رادیکال کاتیون ABTS (برحسب غلظت معادل آسکوربیک اسید / ۱۰۰ میلی‌لیتر آب انار) و هم‌چنین بر پایه‌ی اندازه‌گیری ظرفیت کاهندگی آهن به روش FRAP (برحسب معادل غلظت سولفات آهن / ۱۰۰ میلی‌لیتر آب انار) مورد سنجش قرار گرفت [۱۴، ۱۷].

۸.۲ بررسی تغییرات رنگ نمونه‌های آب انار

رنگ نمونه‌های آب انار قبل و بعد از فرآوری، با استفاده از دستگاه هانتربل (Colorflex, Virginia, USA) بررسی و شاخص‌های L^* برای سنجش تقریبی روشنی $(+100)$ / تیرگی (0) ، a^* برای قرمزی $(+100)$ / سبزی (-100) و b^* برای زردی $(+100)$ / آبی (-100) محاسبه شد. براساس این عامل‌ها، شاخص‌هایی چون کروما $(Chroma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2})$ و اختلاف رنگ کلی $(\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2})$ برآورد شد [۱۸، ۱۹].

۹.۲ تجزیه آماری

تمام آزمایش‌ها در سه تکرار انجام و نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده‌اند. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS به انجام رسید.

۳ نتایج و بحث**۱.۳ روند تغییر pH، قدرت اسیدی کل و مواد جامد محلول**

در جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی (pH، قدرت اسیدی کل برحسب اسید غالب انار یعنی سیتریک اسید، و مواد جامد محلول برحسب بریکس) و مقدار ترکیب‌های فراسودمند (ترکیب‌های فنولی و آنتوسیانین کل) نمونه‌های آب انار تازه نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که پرتو دهی در محدوده‌ی دز ۰/۵ تا ۳ کیلوگری سبب تغییر معنی‌دار در pH، قدرت اسیدی کل و بریکس نمونه‌ها نشد؛ pH، قدرت اسیدی کل و بریکس نمونه‌های پرتو دهی شده، تفاوتی از نظر آماری با نمونه‌ی شاهد نشان ندادند (داده‌ها گزارش نشده‌اند). در این راستا، قدرت اسیدی نمونه‌های پرتو دهی شده‌ی شراب برنج در دزهای ۲۰۰ تا ۸۰۰ گری و نمونه‌های پرتو دهی نشده‌ی آن یکسان گزارش شده است [۲۰]؛ این پژوهش نشان داد که پرتو دهی، افزایش یا کاهش اسیدها را، که مرتبط با طعم شراب نیز هستند، به دنبال نداشت. ولی در پژوهش دیگری که در مورد نکتار کیوی انجام شد روند متفاوتی به میزان ۱ تا ۱/۵ درصد بر مبنای سیتریک اسید مشاهده شد [۲۱]، به طوری که قدرت اسیدی (درصد سیتریک اسید) نکتار کیوی پرتو دهی شده در دز ۰/۵ کیلوگری افزایش یافت در حالی که قدرت اسیدی در دزهای ۱ و ۲ کیلوگری به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با نمونه‌ی کنترل نشان نداد. هم‌چنین با افزایش دز پرتو دهی، مقدار pH افزایش یافته و منجر به افزایش اسید نکتار کیوی شد. این پژوهش بیان‌گر آن است که پرتو دهی، بریکس را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری که، مقدار مواد جامد محلول نمونه‌های پرتو دهی شده در ۲ کیلوگری بالاتر بود. از طرفی مقدار مواد جامد نکتار کیوی پرتو دهی شده در ۱ کیلوگری مشابه کنترل بود.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و مقدار ترکیب‌های فراسودمند نمونه‌های آب انار*

ASW	MMSW	ASA	MMSA**	
۱۸,۹±۰,۱a	۱۸,۱±۰,۱b	۱۷,۲±۰,۱c	۱۶,۷±۰,۲d**	مقدار مواد جامد محلول (بریکس)
۳,۰۵±۰,۱b	۳,۵۴±۰,۱a	۳,۰۹±۰,۰۲b	۳,۵۶±۰,۱a	pH
۱,۶۷±۰,۰۲a	۰,۹۳±۰,۰۱c	۱,۶۱±۰,۰۰b	۰,۸۱±۰,۰۱d	قدرت اسیدی (g/۱۰۰mL)
۳۵۲,۸۶±۴,۰۵c	۳۳۸,۷۳±۳,۳۰d	۴۰۹,۳۹±۶,۰۸a	۳۷۵,۵۳±۱۲,۹۱b	مقدار آنتوسیانین کل (mg/L)
۲۹۰,۶۷±۱۴,۹۶a	۲۸۱,۶۰±۱۲,۰۵a	۲۴۱,۵۴±۱۹,۵۵b	۲۱۱,۲۳±۱۳,۱۶c	مقدار ترکیب‌های فنولی کل (mg/۱۰۰mL)

* داده‌ها، میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند.

** علائم مختلف (a-d) در هر ردیف بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ درصد هستند (آزمون توکی).



۲.۳ اثر تابش گاما بر مقدار ترکیب‌های فنولی کل

مقدار ترکیب‌های فنولی کل نمونه‌های آب انار با استفاده از روش فولین-سیوکالتو برحسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب انار گزارش شده است. تأثیر دزهای مختلف پرتو گاما بر مقدار ترکیب‌های فنولی کل نمونه‌های آب انار در محدوده‌ی ۰ تا ۳ کیلوگری در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پرتو دهی سبب کاهش مقدار ترکیب‌های فنولی نمونه‌های آب انار مورد مطالعه شد (به دلیل مشاهده‌ی روند تغییرات مشابه، نتایج مربوط به آب انار رقم ملس ممتاز ساوه نشان داده نشده است). ولی باید توجه داشت که این کاهش معنی‌دار نبود ($p < 0.01$). میزان این کاهش در مورد آب انارهای دانه‌ی انار بیش‌تر- در آب انارهای دانه‌ی انار ملس ممتاز و آلك ساوه، به ترتیب، ۲۹ و ۲۶ درصد- بود، در حالی که در آب انار میوه‌ی کامل انار این کاهش، به ترتیب، در حدود ۲۴ و ۲۰ درصد بود. به نظر می‌رسد که کاهش بیش‌تر مقدار ترکیب‌های فنولی در آب انار دانه‌ی انار به دلیل کاهش آنتوسیانین‌های موجود در دانه‌ی انار باشد که حساسیت بیش‌تری نسبت به تجزیه شدن در برابر پرتو دهی دارند [۲۲]، در حالی که آب انارهای میوه‌ی کامل انار دارای ترکیب‌های فنولی مختلف هستند که ساختار متفاوتی نسبت به آنتوسیانین‌ها دارند و بیش‌تر به شکل بسپارهای الاجیک اسید و گالیک اسید^(۱۲) هستند [۲۳]. بنابراین، به نظر می‌رسد که پرتو دهی ممکن است سبب شکسته شدن ترکیب‌های فنولی بسپاری و افزایش مقدار ترکیب‌های فنولی مجزا شود که آزاد شدن ترکیب‌های فنولی از ساختار بسپاری، مرحله‌ی آغازین تجزیه‌ی ترکیب‌های فنولی است. از طرفی کاهش ترکیب‌های فنولی می‌تواند ناشی از تجزیه‌ی اکسایشی ترکیب‌های فنولی به وسیله‌ی آنزیم‌های باقی‌مانده باشد [۲۳].

در مطالعه‌های انجام شده در مورد تأثیر پرتو بر ترکیب‌های فراسودمند میوه‌ها و سبزی‌ها و فرآورده‌های آن‌ها نتایج متفاوتی گزارش شده است. پرتو دهی آب میوه‌ی تمر هندی تازه در دزهای ۱، ۳ و ۵ کیلوگری بیان‌گر افزایش مقدار ترکیب‌های فنولی کل است، به طوری که در دزهای ۳ و ۵ کیلوگری افزایش معنی‌داری مشاهده می‌شود [۶]. ترکیب پلی‌فنولی غالب در

تمر هندی شکل‌های مختلف پروسیانیدین‌ها^(۱۳) بوده [۶] و افزایش مقدار ترکیب‌های فنولی کل ممکن است ناشی از آزاد شدن ترکیب‌های فنولی از ترکیب‌های گلیکوزیدی و تجزیه‌ی ترکیب‌های فنولی بزرگ‌تر به ترکیب‌های کوچک‌تر در اثر پرتو گاما باشد [۲۴]. اثرهای پرتو از طریق سازوکارهای مستقیم و غیرمستقیم اعمال می‌شود. در مورد اثرهای غیرمستقیم، پرتو کافت آب منجر به تولید رادیکال‌هایی از قبیل الکترون‌های آب پوشیده، رادیکال‌های هیدروکسیل و اتم‌های هیدروژن می‌شود. این رادیکال‌ها ممکن است موجب شکسته شدن پیوندهای گلیکوزیدی پروسیانیدین‌های تری‌مر، تترامر، پنتامر و هگزامر موجود در آب میوه‌ی تمر هندی و شکل‌گیری مونومرهای پروسیانیدین شده باشد که این امر موجب افزایش مقدار ترکیب‌های فنولی کل آب میوه‌ی تمر هندی پرتو دهی شده می‌شود [۶]. پرتو دهی آب هویج و آب کلم در دزهای ۳ و ۵ کیلوگری نشان داد که مقدار ترکیب‌های فنولی کل در آب کلم پرتو دهی شده به صورت معنی‌داری کم‌تر از نمونه‌ی شاهد است. با این حال، مقدار ترکیب‌های فنولی کل آب هویج پرتو دهی شده نسبت به نمونه‌ی شاهد بلافاصله بعد از پرتو دهی بیش‌تر بود. در مورد آب هویج پرتو دهی شده، حذف رادیکال‌ها توسط بتا-کاروتن ممکن است به عنوان دلیل احتمالی و فرضی مدنظر قرار گیرد [۱۰]. پرتو دهی گاما در گستره‌ی ۲ تا ۱۶ کیلوگری سبب افزایش معنی‌دار مقدار ترکیب‌های فنولی کل در عصاره‌های پوست بادام شده است که حداکثر مقدار آن در دز ۴ کیلوگری به میزان ۴۵ درصد بوده است. افزایش مقدار ترکیب‌های فنولی در عصاره‌های بادام پرتو دهی شده به آزاد شدن ترکیب‌های فنولی از ترکیب‌های گلیکوزیدی و تجزیه‌ی ترکیب‌های فنولی بزرگ‌تر به کوچک‌تر نسبت داده شده است. در عصاره‌های پوست بادام پرتو دهی شده که دارای مقدار بالاتر ترکیب‌های فنولی بودند، فعالیت ضد اکسایشی بالاتر این عصاره‌ها اثبات شد [۲۴]. در پژوهش دیگری مشخص شد که پرتو دهی گاما به طور قابل ملاحظه‌ای غلظت ترکیب‌های فنولی در نمونه‌های گوجه‌فرنگی را کاهش می‌دهد [۲۵]. نتیجه‌ی مشابهی در مورد کلم شور گزارش شده است [۲۶].

**جدول ۲.** مقدار ترکیب‌های فنولی، آنتوسیانین کل و فعالیت ضد اکسایشی در آب انارهای پرتودهی شده و شاهد*

FRAP (mg/100mL)	ABTS (mg/100mL)	DPPH (%)	TMA (mg/L)	TPC*** (mg/100mL)	دز گاما (kGy)	آب انار
38,61±3,94a	138,47±10,48a	67,08±5,53a	40,39±6,08a	241,54±19,55a**	0	
37,96±2,49a	137,97±12,44a	66,89±3,15a	39,85±18,89 a	238,92±28,24 a	0,5	
36,40±4,20a	136,63±10,12a	65,29±7,25a	36,37±11,14ab	232,54±14,72 a	1	
35,89±2,24a	130,69±8,61a	65,00±4,90a	36,31±11,78ab	226,42±2,49a	1,5	دانه‌ی انار آلک ساوه
34,85±2,54a	128,96±8,94a	64,00±1,94a	33,49±17,93bc	206,49±10,88a	2	
33,18±2,46a	120,82±67,83a	63,27±4,59a	313,86±17,43bc	203,82±29,21a	2,5	
30,36±2,11a	110,87±88,34a	59,98±4,23a	287,13±13,28c	178,37±21,88a	3	
42,50±5,45a	157,94±128,39a	75,69±3,22a	252,86±4,05 a	290,67±14,96 a	0	
43,55±4,84a	168,45±120,92a	75,57±1,86a	340,50±8,42 ab	295,65±29,56 a	0,5	
43,37±1,85a	160,90±95,01a	74,81±1,68a	331,55±13,78ab	294,05±32,79 a	1	
42,35±1,14a	1592,33±53,71a	73,61±3,71a	313,31±8,05bc	276,38±24,83 a	1,5	میوه‌ی کامل آلک ساوه
41,58±3,63a	1571,75±95,62a	73,11±1,21a	299,82±11,24cd	252,90±30,62 a	2	
38,52±2,23a	1513,00±78,64a	71,60±4,42a	265,18±13,31de	245,55±29,51 a	2,5	
36,10±1,33a	1447,33±58,09a	70,08±1,20a	244,20±7,75e	230,35±14,66 a	3	

* داده‌ها، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند.

** علایم مختلف (a-e) در هر ستون بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح 0,01 درصد هستند (آزمون توکی).

*** علایم TMA, TPC, بیان‌گر، به ترتیب، مقدار ترکیب‌های فنولی کل و آنتوسیانین کل بوده و علایم DPPH, ABTS, FRAP بیان‌گر سنجش فعالیت ضد اکسایشی نمونه‌ها به سه روش متفاوت هستند.

۳.۳ تأثیر پرتو گاما بر مقدار آنتوسیانین کل

نتایج داده شده در این جدول بیان‌گر آن است که اثر دزهای مختلف، بر مقدار آنتوسیانین‌های همه‌ی آب انارها معنی‌دار است ($p < 0,01$). ویژگی‌های ذاتی فرآورده و فرایند از قبیل pH، دما، نور، اکسیژن، آنزیم‌ها، آسکوربیک اسید، قندها، آنزیم‌ها، یون‌های فلزی، هم‌پیگمانی (شکل‌گیری کمپلکس‌های بین‌مولکولی و درون مولکولی، توده شدن و کمپلکس شدن با فلزات) همراه با ساختار شیمیایی و غلظت آنتوسیانین‌ها می‌تواند پایداری آنتوسیانین‌ها را تحت تأثیر قرار دهد [7, 27]. علاوه بر این ویژگی‌ها، تشکیل رادیکال‌های هیدروکسیل در اثر پرتوکافت آب می‌تواند منجر به تجزیه‌ی شیمیایی آنتوسیانین‌ها با باز شدن حلقه و شکل‌گیری چالکون‌ها شود. از طرفی میزان کاهش مقدار آنتوسیانین کل بیش‌تر از مقدار ترکیب‌های فنولی کل بود که این امر می‌تواند ناشی از حساسیت بیش‌تر این ترکیب‌ها نسبت به تجزیه شدن در اثر عوامل درونی و بیرونی باشد، زیرا ترکیب‌های فنولی مختلف موجود در انار ساختار متفاوتی نسبت به آنتوسیانین‌ها دارند و بیش‌تر به شکل بسیار الاجیک اسید و گالیک اسید هستند [23].

رنگ و ظاهر آب انار یکی از معیارهای حسی تأثیرگذار بر خرید مشتری است و در آب انار، آنتوسیانین‌ها نقش قابل‌توجهی در رنگ جذاب قرمز آن دارند. جدول ۲ مقدار آنتوسیانین کل آب انار رقم آلک ساوه را قبل و بعد از پرتودهی در دزهای مختلف پرتو گاما در محدوده‌ی 0 تا 3 کیلوگری نشان می‌دهد (به دلیل مشاهده‌ی روند تغییرات مشابه، نتایج مربوط به آب انار رقم ملس ممتاز ساوه نشان داده نشده است). همان‌طور که از جدول ۲ مشاهده می‌شود بین آب انار دانه و آب انار میوه‌ی کامل رقم آلک ساوه از نظر مقدار آنتوسیانین‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد و مقدار آنتوسیانین کل در آب انارهای مورد مطالعه بعد از پرتودهی کاهش معنی‌داری را، که وابسته به دز است ($p < 0,01$)، نشان دادند. باید توجه داشت که از نظر کاهش مقدار آنتوسیانین‌ها تفاوت معنی‌داری بین آب انارهای میوه‌ی کامل و دانه‌های انار وجود نداشت ($p < 0,01$) به طوری که میزان کاهش در آب انارهای دانه‌ی انار ملس ممتاز و آلک ساوه 34 و 29 درصد بود، و در مورد آب انار میوه‌ی کامل انار این کاهش در حدود 32 و 30 درصد بود.



ارزیابی توانایی ضد اکسایشی آب سبزی‌هایی مثل آب کلم و هویج پرتودهی شده در دزهای ۳ و ۵ کیلوگری [۱۰] و آب میوه‌ی تمر هندی پرتودهی شده در دزهای ۱، ۳ و ۵ کیلوگری [۶] با روش‌های FRAP و DPPH نشان داد که پرتو گاما موجب افزایش معنی‌دار یا حفظ ویژگی ضد اکسایشی آب میوه‌ی تمر هندی و آب هویج شده، اما در آب کلم پرتودهی شده روند کاهشی مشاهده شد. از طرفی در آب میوه‌ی تمر هندی با افزایش دز پرتو، فعالیت بازدارندگی رادیکال DPPH افزایش معنی‌داری نشان نداد. همچنین پرتودهی عصاره‌ی برگ چای سبز در دزهای ۱۰ و ۲۰ کیلوگری موجب افزایش معنی‌دار توانایی بازدارندگی رادیکال DPPH شد [۳۰]. در مقابل، کاهش توانایی بازدارندگی کلم چینی بلافاصله بعد از پرتودهی در دز ۲ کیلوگری مشاهده شد [۲۶]. پرتودهی هم‌چنین به کاهش معنی‌دار فعالیت بازدارندگی رادیکال DPPH عصاره‌های متانولی فلفل سیاه منجر شد [۳۱]. گزارش شده است که ترکیب‌های فنولی و آسکوربیک اسید، ترکیب‌های ضد اکسایشی اصلی در میوه‌ها و سبزی‌ها هستند [۳۲]. آسکوربیک اسید، ویتامین محلول در آب، نسبت به پرتودهی و سایر روش‌های فرآوری بسیار حساس است [۳۳]. فرض بر این است که نقش ضد اکسایشی ویتامین C بسیار بیش‌تر از ترکیب‌های فنولی ایجاد شده در اثر پرتودهی است. هم‌چنین عدم کاهش فعالیت ضد اکسایشی آب هویج، به حضور بتا-کاروتن نسبت داده می‌شود. بتا-کاروتن و سایر ترکیب‌های ضد اکسایشی دارای نقش هم‌افزایی^(۱۴) حفاظتی در برابر اکسایش هستند [۳۴]. هم‌چنین تأثیر ناچیز پرتو بر فعالیت ضد اکسایشی برگ‌های زیتون به مقدار پایین آب آن و کمینه بودن شکل‌گیری رادیکال‌های آزاد نسبت داده شده است [۳۵]. در واقع، پرتوکافت آب به تولید رادیکال‌هایی از قبیل الکترون‌های آب پوشیده، رادیکال‌های هیدروکسیل و اتم‌های هیدروژن می‌انجامد که به علت شکسته شدن برخی از پیوندها به وسیله‌ی این رادیکال‌ها، تغییرات ساختاری احتمالی در ترکیب‌های فعال از نظر ضد اکسایشی ایجاد می‌شود. در این راستا عدم تأثیر معنی‌دار پرتو گاما در ۲۰ کیلوگری بر فعالیت ضد اکسایشی فرآورده‌های جانبی چای سبز و عصاره‌ی برگ چای سبز گزارش شده است [۳۶]. با این وجود، افزایش فعالیت ضد اکسایشی در اثر پرتودهی با گاما در برخی ترکیب‌های گیاهی از قبیل پوست بادام تیمار شده تا ۱۶ کیلوگری گزارش شده است [۲۴].

چاچین و همکاران در پژوهشی، اثر دزهای (۲ تا ۸۰ کیلوگری) پرتو گاما بر آب میوه‌های انگور، سیب و پرتقال را بررسی کردند [۸]. آن‌ها گزارش کردند که دزهای بالاتر از ۱۰ کیلوگری اثر تخریبی آشکاری بر مقدار آنتوسیانین‌ها دارد و این اثر تخریبی تا ۸۰ کیلوگری وابسته به دز است و با افزایش دز اعمالی شدت تخریب افزایش می‌یابد. در پژوهش دیگری اثر پرتو گاما در محدوده‌ی ۰ تا ۹ کیلوگری به منظور افزایش استخراج آنتوسیانین‌ها از تفاله‌ی انگور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که پرتوهای گاما در ترکیب با ۱٪ متابی‌سولفیت سدیم در طی بسته‌بندی و ۲۰۰۰ ppm گاز دی‌اکسید گوگرد در طی استخراج ترکیب‌های فنولیک، از کاهش آنتوسیانین‌های تفاله‌ی انگور جلوگیری می‌کند. به طوری‌که محتوای آنتوسیانین تفاله‌ی انگور در همه دزهای استفاده شده به ویژه ۶ کیلوگری در مقایسه با نمونه‌ی شاهد افزایش می‌یابد [۲۸]. هم‌چنین پرتودهی دانه‌های برنج رنگدانه‌دار (سیاه و قرمز) سبب کاهش دو آنتوسیانین سیانیدین و پئونیدین ۳- گلوکوزید شد، اما کاهش این ترکیب‌ها به طور کامل وابسته به روند دز پرتودهی نبود و بر خلاف انتظار، در دزهای ۶ و ۸ کیلوگری مقدار کل آنتوسیانین‌ها و ترکیب‌های فنولی در برنج سیاه به صورت معنی‌داری افزایش یافت [۲۹].

۴.۳ تأثیر پرتو گاما بر فعالیت ضد اکسایشی

با توجه به جدول ۲ توانایی ضد اکسایشی نمونه‌های آب انار آلکک ساوه با استفاده از روش‌های DPPH، ABTS و FRAP مورد ارزیابی قرار گرفت (به دلیل مشاهده‌ی روند تغییرات مشابه، نتایج مربوط به آب انار رقم ملس ممتاز ساوه نشان داده نشده است). براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که با افزایش دز پرتو، فعالیت ضد اکسایشی نمونه‌های انار نسبت به نمونه‌ی شاهد کاهش نشان می‌دهد. همانند مقدار ترکیب‌های فنولی کل، میزان کاهش فعالیت ضد اکسایشی در نمونه‌های آب انار دانه‌ی انار نسبت به میوه‌ی کامل انار بیش‌تر بود که این امر بیان‌گر همبستگی فعالیت ضد اکسایشی با مقدار ترکیب‌های فنولی کل در نمونه‌های آب انار است. اما چنین همبستگی بین مقدار آنتوسیانین کل و فعالیت ضد اکسایشی مشاهده نشد. از طرفی روند تغییرات فعالیت ضد اکسایشی مورد سنجش با روش‌های DPPH و ABTS و FRAP به میزان زیادی مشابه یک‌دیگر بود.



شدن آب میوه دارد که منجر به تیره شدن رنگ می‌شود. کروما نیز در ارتباط با کم رنگ شدن رنگ نمونه‌های آب انار، بعد از پرتودهی، به صورت معنی‌داری کاهش یافت. هم‌چنین در این مطالعه، ΔE با افزایش دز پرتو افزایش یافت و چون $\Delta E > 3$ بود تفاوت در رنگ قابل درک بسیار محسوس و مشخص بود. از طرفی میزان تغییر عامل‌های رنگی هاترلب در آب انارهای دانه‌های انار بیش‌تر از آب انارهای میوه‌ی کامل انار بود. در این راستا، کاهش مقادیر رنگ نمونه‌های پرتودهی شده‌ی آب میوه‌ی تمر هندی [۶] و چای سبز تازه [۳۰]، و بهبود رنگ نمونه‌های پرتودهی شده‌ی عصاره‌ی زردچوبه گزارش شده است [۳۷]. مقدار L^* در نمونه‌های تازه و نگه‌داری شده‌ی آب میوه‌ی تمر هندی در اثر پرتودهی به صورت معنی‌داری افزایش یافت، در حالی که مقادیر a^* و b^* به صورت معنی‌داری کاهش یافتند که این آخرین بیان‌گر روشن‌تر شدن رنگ آب میوه‌ی تمر هندی است [۶]. نتایج حاصل از مطالعه‌ی حاضر با پژوهش انجام شده با نکتار کیوی در دزهای ۰، ۰/۵، ۱، ۲ کیلوگری، که تغییر معنی‌داری در عامل‌های رنگ نمونه ایجاد نکرد [۲۱]، مطابقت نداشت.

رنگ بسیاری که بیان‌گر تانن‌های بسیاری مقاوم نسبت به رنگ‌بری با بی‌سولفیت است در اثر پرتودهی آب میوه‌های حاصل از دانه‌ی انار آلك ساوه و ملس ممتاز ساوه تحت تأثیر قرار نگرفت، در حالی که تغییر در آب میوه‌های انار کامل معنی‌داری بود. هم‌چنین چگالی رنگ کل که بیان‌گر میزان جذب ترکیب‌های قهوه‌ای رنگ آب انار فرآوری شده است در آب انارهای پرتودهی شده نسبت به نمونه‌ی شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داد. مقدار این دو عامل در آب انارهای میوه‌ی کامل انار بیش‌تر از آب انارهای دانه‌های انار بود؛ این امر به دلیل ورود تانن‌ها و ترکیب‌های فنولی مختلف از پوست میوه به آب انار است. براساس نتایج به دست آمده، چگالی رنگ کل و رنگ بسیاری روند کاهشی نشان دادند. افزایش دز تابش گاما منجر به کاهش قابل توجه چگالی رنگ کل و کاهش نسبتاً کم رنگ بسیاری آب انارها شد.

هم‌چنین گزارش شده است که پرتودهی، به شکل‌گیری محصول‌های واکنش میلارد منجر می‌شود و باید توجه داشت که محصول‌های واکنش میلارد دارای فعالیت ضداکسایشی بالقوه در سامانه‌ی حقیقی مواد غذایی هستند. محصول‌های واکنش میلارد قادر به حذف رادیکال هیدروکسیل و رادیکال آنیون سوپراکسید هستند. شکل‌گیری محصول‌های واکنش میلارد می‌تواند به عنوان دلیل حفظ ضداکساینده‌ها در آب میوه‌ی تمر هندی، مدنظر قرار گیرد [۶].

۵.۳ تغییر عامل‌های رنگی هاترلب

ظاهر، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی در مواد غذایی تازه و فرآوری شده و بازاریابی آن‌ها است. از نظر مشتری، رنگ مواد غذایی تأثیر به‌سزایی بر کیفیت مواد غذایی دارد و می‌توان براساس همبستگی رنگ با ویژگی‌های کیفی از قبیل عیب‌های حسی، تغذیه‌ای و بصری یا غیربصری به کنترل فوری این عیوب کمک نمود. مختصه‌های L^* ، a^* و b^* هاترلب به‌طور معمول در صنعت مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هم‌چنین می‌توان بزرگی تفاوت رنگ بین نمونه‌های فرآوری شده و شاهد را با معیار اختلاف رنگ کلی (ΔE) بیان نمود. تفاوت‌ها در رنگ قابل درک را می‌توان به صورت تجزیه‌ای به صورت بسیار مشخص ($\Delta E > 3$)، مشخص ($1.5 < \Delta E < 3$) و اختلاف کم ($\Delta E < 1.5$) طبقه‌بندی کرد [۱۹].

با توجه به جدول ۳ پرتودهی آب انار در دزهای ۰ تا ۳ کیلوگری تفاوت معنی‌داری ($p < 0.01$) را در عامل‌های رنگ هاترلب در نمونه‌های رقم آلك ساوه سبب شد (به دلیل مشاهده‌ی روند تغییرات مشابه، نتایج مربوط به آب انار رقم ملس ممتاز ساوه نشان داده نشده است). مقدار L^* در نمونه‌های آب انار در اثر پرتودهی در مقایسه با نمونه‌های شاهد به صورت معنی‌داری افزایش یافت، در حالی که مقادیر a^* و b^* به صورت معنی‌داری کاهش یافتند. روند تغییر این سه عامل سنجش رنگ با هاترلب، ارتباط مستقیمی با شدت دز پرتودهی داشت. این تغییرها در عامل‌های رنگ هاترلب بیان‌گر این است که رنگ آب انار روشن‌تر شده بود. در مقابل، مقدار L^* ارتباط نزدیکی با قهوه‌ای



جدول ۳. تأثیر پرتو بر عامل‌های رنگ ارزیابی شده با هانتربل و طیف سنج نوری در آب انارهای مورد مطالعه*

PC***	TCD	ΔE	Chroma**	b*	a*	L*	دز گاما (kGy)	آب انار
۰.۸۳±۰.۱۳a**	۲.۸۵±۰.۲۲ab	۰.۰۰ e	۵۷.۲۲±۰.۶۴ab	۳۵.۹۴±۰.۲۸a	۴۴.۵۳±۰.۶۰a	۲۳.۲۵±۰.۱۷c	۰	
۰.۸۴±۰.۰۶a	۲.۸۹±۰.۰۹a	۲.۳۷±۰.۴ad	۵۸.۷۰±۰.۶۲a	۳۷.۴۳±۰.۳۲a	۴۵.۲۲±۰.۵۴a	۲۴.۱۲±۱.۵۱c	۰.۵	
۰.۸۳±۰.۰۴a	۲.۵۴±۰.۰۷ab	۳.۹۱±۰.۵۶d	۵۸.۵۳±۰.۸۸ab	۳۹.۰۱±۰.۸۴a	۴۳.۶۲±۱.۲۵ab	۲۵.۰۳±۰.۹bc	۱	
۰.۸۰±۰.۰۳a	۲.۴۴±۰.۱۰b	۴.۶۱±۱.۲۶cd	۵۵.۶۴±۱.۲۰b	۳۷.۱۰±۰.۹۳a	۴۱.۴۶±۰.۷۸bc	۲۶.۱۷±۱.۲۱bc	۱.۵	دانه‌ی انار آلک ساوه
۰.۷۹±۰.۰۲a	۱.۷۶±۰.۱۱c	۸.۱۲±۰.۸۵c	۴۹.۸۷±۱.۳۵c	۳۱.۲۹±۱.۱۴b	۳۸.۸۳±۱.۲۰c	۲۶.۴۵±۱.۰۶bc	۲	
۰.۷۵±۰.۰۸a	۱.۵۴±۰.۰۳cd	۱۳.۸۱±۲.۳۷b	۴۴.۴۶±۱.۵۰d	۲۷.۰۹±۲.۰۰c	۳۵.۲۴±۰.۳۶d	۲۸.۳۰±۰.۹۱b	۲.۵	
۰.۶۲±۰.۰۹a	۱.۱۳±۰.۱۲d	۲۰.۵۷±۰.۳۶a	۳۹.۶۷±۰.۶۹e	۲۳.۵۵±۰.۹۳c	۳۱.۹۲±۰.۶۰e	۳۳.۷۴±۰.۲۵a	۳	
۱.۵۵±۰.۰۸a	۳.۲۳±۰.۲۵a	۰.۰۰±۰.۰۰e	۶۰.۱۶±۰.۱۳a	۴۰.۰۸±۰.۲۷a	۴۴.۸۶±۰.۰۷a	۲۰.۴۳±۰.۱۵d	۰	
۱.۵۴±۰.۰۳a	۳.۱۵±۰.۰۹a	۱.۰۹±۰.۲۳de	۵۹.۶۳±۰.۴۵a	۴۰.۱۷±۰.۵۱a	۴۴.۰۶±۰.۸۸a	۲۰.۴۹±۰.۴۳d	۰.۵	
۱.۵۳±۰.۰۶ab	۲.۹۷±۰.۱۷a	۲.۷۱±۰.۴۴d	۵۸.۱۰±۱.۱۶a	۳۹.۶۷±۰.۹۰ab	۴۲.۴۴±۰.۹۶ab	۲۱.۳۶±۰.۰۱cd	۱	
۱.۴۶±۰.۰۲ab	۲.۴۶±۰.۰۷b	۵.۷۲±۰.۵۸c	۵۴.۸۶±۰.۸۲b	۳۶.۹۲±۰.۷۰bc	۴۰.۵۸±۰.۶۰bc	۲۲.۲۷±۰.۷۲bc	۱.۵	میوه‌ی کامل آلک ساوه
۱.۴۳±۰.۰۵ab	۲.۲۱±۰.۰۰bc	۸.۶۰±۰.۲۳b	۵۲.۰۹±۰.۱۴c	۳۵.۴۹±۱.۳۷c	۳۸.۱۰±۱.۰۸cd	۲۲.۸۴±۰.۲۱b	۲	
۱.۳۳±۰.۰۹bc	۲.۰۰±۰.۰۷c	۱۰.۵۸±۱.۲۰b	۵۰.۱۷±۱.۳۶c	۳۴.۴۳±۱.۰۰cd	۳۶.۴۹±۰.۹۵de	۲۳.۵۵±۰.۱۲b	۲.۵	
۱.۱۹±۰.۱۳c	۱.۶۳±۰.۰۸d	۱۳.۸۳±۰.۳۸a	۴۷.۵۴±۰.۲۱ d	۳۲.۵۷±۰.۱۳d	۳۴.۶۲±۰.۴۰e	۲۵.۸۹±۰.۶۳a	۳	

* داده‌ها، میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند.

** علائم مختلف (a-e) در هر ستون بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح ۰.۰۱ درصد هستند (آزمون توکی).

*** علائم PC, TCD, ΔE، به ترتیب، بیان‌گر اختلاف رنگ کلی، چگالی رنگ کل و رنگ بسیاری نمونه‌های انار هستند.

پی‌نوشت‌ها

۴. نتیجه‌گیری

۱. Punica Granatom L.

۲. Punicacea

۳. Health Promoting Effects

۴. Functional Compounds

۵. E. Coli O157:H7

۶. Antioxidant Activity

۷. 2,20-Azinobis (3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid)

۸. 1,1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl

۹. 2,4,6-Tripyridyl-S-Triazine

۱۰. Rankem

۱۱. Folin-Ciocalteu

۱۲. Ellagic and Gallic Acid Polymers

۱۳. Procyanidin

۱۴. Synergistic Protection

بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که پرتو دهی آب انار با پرتو گاما در محدوده‌ی دز ۰ تا ۳ کیلوگری سبب تغییر معنی‌دار pH، قدرت اسیدی کل، بریکس و مقدار ترکیب‌های فنولی کل و خاصیت ضد اکسایشی نمونه‌ها نشد. ولی مقدار آنتوسیانین کل کاهش معنی‌داری را نشان داد. هم‌چنین عامل‌های رنگی مورد ارزیابی گرفته با هانتربل، تغییرات معنی‌داری را نشان دادند به طوری که می‌توان گفت پرتو دهی سبب افزایش مقدار L* و کاهش a* و b* در نمونه‌های آب انار در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد. به علاوه، افزایش دز پرتو گاما منجر به کاهش قابل توجه چگالی رنگ کل و کاهش نسبتاً کم رنگ بسیاری آب انارها شد.



1. Codex Alimentarius Commission, Project document for a regional standard for pomegranate, FAO/WHO, Tunisia (2009).
2. H. E. Uljas, S. C. Ingham, Combinations of intervention treatments resulting in 5-log₁₀-unit reductions in numbers of Escherichia coli O157: H7 and Salmonella typhimurium DT104 organisms in apple cider, Applied and Environmental Microbiology, 65(5) (1999) 1924-1929.
3. V. H. Tournas, J. Heeres, L. Burgess, Moulds and yeasts in fruit salads and fruit juices, Food Microbiology, 23 (2006) 684-688.
4. GAO, Food irradiation: FDA could improve its documentation and communication of key decisions on food irradiation petitions, Washington, D. C. GAO-10-309R (2010).
5. M. N. C. Harder, V. Arthur, The Effects of Gamma Radiation in Nectar of Kiwifruit (Actinidia deliciosa), In: Feriz Adrovic, Gamma Radiation. Publisher: InTech, Rijeka, Croatia, Brazil (2012).
6. J. W. Lee, J. K. Kim, P. Srinivasan, J. Choi, J. H. Kim, S. B. Han, D. J. Kim, M. W. Byun, Effect of gamma irradiation on microbial analysis, antioxidant activity, sugar content and color of ready-to-use tamarind juice during storage, LWT-Food Science and Technology, 42 (2009) 101-105.
7. H. Alighourchi, M. Barzegar, S. Abbasi, Effect of gamma irradiation on the stability of anthocyanins and shelf-life of various pomegranate juices, Food Chemistry, 110 (2008) 1036-1040.
8. K. Chachin, K. Ogata, Changes of chemical constituents and quality in some juice irradiated with the sterilizing dose level of gamma rays, Food Irradiation, 4 (1969) 85-90.
9. B. A. Niemira, L. Deschênes, Ionizing Radiation Processing of Fruits and Fruit Products, In Barrett, D. M. Somogyi, L. and Ramaswamy H. Processing Fruits: Science and Technology: CRC Press, Florida, (2004).
10. H. P. Song, M. W. Byun, C. Jo, C. H. Lee, K. S. Kim, D. H. Kim, Effects of gamma irradiation on the microbiological, nutritional, and sensory properties of fresh vegetable juice, Food Control, 18 (2007) 5-10.
11. D. Foley, K. Pickett, J. Varon, J. Lee, D. Mln, R. Caporaso, A. Prakash, Pasteurization of fresh orange juice using gamma irradiation: microbiological, flavor, and sensory analyses, Journal of Food Science, 67 (2002) 1495-1501.
12. M. Spoto, R. Domarco, J. Walder, R. Hoekstra, R. Andrade, Preservation of concentrated orange juice by gamma radiation, Boletim-da-Sociedade-Brasileira-de-Ciencia-e-Technologia-de-Alimentos, 27 (1993) 96-104.
13. H. Alighourchi, M. Barzegar, Some physicochemical characteristics and degradation kinetic of anthocyanin of reconstituted pomegranate juice during storage, Journal of Food Engineering, 90 (2009) 179-185.
14. F. Tezcan, M. Gültekin-Özgülven, T. Diken, B. Özçelik, F. B. Erim, Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices, Food Chemistry, 115 (2009) 873-877.
15. R. E. Wrolstad, R. W. Durst, J. Lee, Tracking color and pigment changes in anthocyanin products, Trends in Food Science and Technology, 16 (2005) 423-428.
16. G. Ferrari, P. Maresca, R. Ciccarone, The application of high hydrostatic pressure for the stabilization of functional foods: Pomegranate juice, Journal of Food Engineering, 100 (2010) 245-253.
17. M. Çam, Y. Hışıl, G. Durmaz, Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods, Food Chemistry, 112 (2009) 721-726.
18. A. O. Adekunle, B. K. Tiwari, P. J. Cullen, A. G. M. Scannell, C. P. O'Donnell, Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice, Food Chemistry, 122 (2010) 500-507.



- 19.P. B. Pathare, U. L. Opara, F. A. J. Al-Said, Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A Review, *Food and Bioprocess Technology*, (2012) 1-25.
- 20.A. C. Chang, The effects of gamma irradiation on rice wine maturation, *Food Chemistry*, 83 (2003) 323-327.
- 21.M. Harder, T. De Toledo, A. Ferreira, V. Arthur, Determination of changes induced by gamma radiation in nectar of kiwi fruit (*Actinidia deliciosa*), *Radiation Physics and Chemistry*, 78 (2009) 579-582.
- 22.H. Alighourchi, M. Barzegar, S. Abbasi, Anthocyanins characterization of 15 Iranian pomegranate (*Punica granatum L.*) varieties and their variation after cold storage and pasteurization, *European Food Research and Technology*, 227 (2008) 881-887.
- 23.M. I. Gil, F. A. Tomás-Barberán, B. Hess-Pierce, D. M. Holcroft, A. A. Kader, Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (2000) 4581-4589.
- 24.K. Harrison, L. Were, Effect of gamma irradiation on total phenolic content yield and antioxidant capacity of almond skin extracts, *Food Chemistry*, 102 (2007) 932-937.
- 25.M. Schindler, S. Solar, G. Sontag, Phenolic compounds in tomatoes, Natural variations and effect of gamma-irradiation, *European Food Research and Technology*, 221 (2005) 439-445.
- 26.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 Chemistry*, 89 (2005) 589-597.
- 27.S. T. Talcott, C. H. Brenes, D. M. Pires, D. Del Pozo-Insfran, Phytochemical stability and color retention of copigmented and processed muscadine grape juice, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (2003) 957-963.
- 28.N. Ayed, H. L. Yu, M. Lacroix, Improvement of anthocyanin yield and shelf-life extension of grape pomace by gamma irradiation, *Food Research International*, 32 (1999) 539-543.
- 29.F. Zhu, Y. Z. Cai, J. Bao, H. Corke, Effect of γ -irradiation on phenolic compounds in rice grain, *Food Chemistry*, 120 (2010) 74-77.
- 30.C. Jo, J. H. Son, H. J. Lee, M. W. Byun, Irradiation application for color removal and purification of green tea leaves extract, *Radiation Physics and Chemistry*, 66 (2003) 179-184.
- 31.M. Suhaj, J. Rácová, M. Polovka, V. Brezová, Effect of γ -irradiation on antioxidant activity of black pepper (*Piper nigrum L.*), *Food Chemistry*, 97 (2006) 696-704.
- 32.G. Cao, E. Sofic, L. Ronald, Antioxidant capacity of tea and common vegetables, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44 (1996) 3426-3431.
- 33.D. Kilcast, Effect of irradiation on vitamins, *Food Chemistry*, 49 (1994) 157-164.
- 34.H. P. Song, D. H. Kim, C. Jo, C. H. Lee, K. S. Kim, M. W. Byun, Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and antioxidant activity of fresh vegetable juice, *Food Microbiology*, 23 (2006) 372-378.
- 35.M. A. Murcia, I. Egea, F. Romojaro, P. Parras, A. M. Jiménez, M. Martínez-Tomé, Antioxidant evaluation in dessert spices compared with common food additives, Influence of irradiation procedure, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (2004) 1872-1881.
- 36.N. Y. Lee, C. Jo, S. H. Sohn, J. K. Kim, M. W. Byun, Effects of gamma irradiation on the biological activity of green tea byproduct extracts and a comparison with green tea leaf extracts, *Journal of Food Science*, 71 (2006) C269-C274.
- 37.J. K. Kim, C. Jo, H. J. Hwang, H. J. Park, Y. J. Kim, M. W. Byun, Color improvement by irradiation of *Curcuma aromatica* extract for industrial application, *Radiation Physics and Chemistry*, 75 (2006) 449-452.