



بررسی اثرات پرتو گاما بر ترکیبات زیست فعال، رنگ و بار میکروبی زعفران

مرضیه سیحون^۱، محسن برزگر^{۲*}، محمدعلی سحری^۲

۱. پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۳۴۸۶، تهران - ایران
۲. گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۱۴۱۱۵-۳۳۶، تهران - ایران

چکیده: در این پژوهش، اثرات پرتو گاما بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زعفران ایرانی (*Crocus sativus L.*) مانند کروسین (عامل مؤثر در رنگ زعفران)، کامفرول (از ترکیبات زیست فعال پلی فنولی) و سافراناال (جزء اصلی مواد فرار معطر زعفران)، رنگ شامل نمایه‌های a^* ، b^* ، L^* و ΔE_H و بار میکروبی نمونه‌های زعفران بررسی شده‌اند. نمونه‌های زعفران در گاماسل ۲۲۰ تا دزهای ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ kGy پرتودهی شدند. سپس ترکیبات مؤثر آنها استخراج و میزان تغییر آن و نیز بار میکروبی نمونه‌های زعفران بررسی شدند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که ضمن کاهش بار میکروبی زعفران، میان ۲۱ ترکیب زیست فعال جدا شده به وسیله‌ی HPLC، مقدار کروسین، کامفرول و سافراناال در سه منطقه‌ی این مطالعه، تحت تأثیر تابش دهی گاما قرار گرفتند. به طور کلی نتایج نشان می‌دهند که پرتودهی زعفران تا دز ۶ kGy، بدون تأثیر نامطلوب در ترکیبات مؤثر زعفران، باعث کاهش چشم گیر بار میکروبی می‌شود. هم چنین تیمار کردن زعفران با پرتو ۴ و ۶ kGy، منجر به افزایش چشم گیر ($p < 0.01$) یا عدم تغییر رنگ و ترکیبات زیست فعال می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: زعفران، پرتودهی، ترکیبات زیست فعال، بار میکروبی، کروماتوگرافی مایع با کارکرد بالا، هانتولب

A Study into the Effects of Gamma-Irradiation on Bioactive Compounds, Color and Microbial Load of Saffron

M. Seyhoon¹, M. Barzegar^{2*}, M.A. Sahari²

1. Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 11365-3486, Tehran - Iran
2. Department of Food Science and Technology, Tarbit Modares University, P.O.Box: 14115-336, Tehran - Iran

Abstract: In this study, the effects of γ -radiation on physicochemical properties of Iranian saffron (*Crocus sativus L.*) such as crocin (saffron color factor), kaempferol (polyphenol bioactive compounds) and safranal (the main component of volatile aromatic saffron), color parameters a^* , b^* , L^* and ΔE_H indices and the microbial load were investigated. The saffron samples were irradiated at dosages of 0, 1, 2, 3, 4, 5 and 6 kGy by a Gammacell 220. Then, the efficient compounds were extracted and the composition and microbial load of saffron extracts were determined before and after the γ - irradiation. The results showed that in addition to decreasing the microbial content of saffron, among the 21 bioactive compounds separated by HPLC, crocin, kaempferol and safranal content in three regions of this study were affected by the gamma irradiation. Pre- treatment of saffron with 4 and 6 kGy radiation also results in a significant ($p < 0.01$) increase, without changes in color and bioactive compounds. These data may suggest that irradiation of saffron without unfavorable changes on the effective components results in a significant decrease in the microbial content of this product.

Keywords: Saffron, Gamma Irradiation, Bioactive Compounds, Microbial Load, High Performance Liquid Chromatography System (HPLC), Hunter Lab

*email: mbb@tmu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۲/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۲/۸



۱. مقدمه

آلودگی می‌تواند گیاه، خاک، فضولات پرندگان، جوندگان و حشرات باشد. این بار میکروبی در طول عملیات برداشت، حمل‌ونقل، نگهداری، فرآوری غیربهداشتی (مثلاً استفاده از آب آلوده) و خشکاندن نامناسب افزایش می‌یابد. تغییرات میکروبی نامطلوب در زعفران (رشد کپک و باکتری) باعث کاهش کیفیت محصول می‌شود. این موضوع در محموله‌های صادراتی حتی موجب برگشت آنها می‌شود. بنابراین جهت کاهش بار میکروبی، از روش‌های آلودگی‌زدایی مانند پرتودهی استفاده می‌شود [۵، ۶]. پرتودهی مواد غذایی که پاستوریزه کردن سرد نامیده می‌شود، می‌تواند به منظور کنترل و حذف حشرات یا ریزنده‌های عامل فساد و بیماری‌زا از قبیل باکتری‌ها، کپک‌ها، مخمرها و ویروس‌ها استفاده شود، و در نتیجه زمان ماندگاری فرآورده‌های غذایی افزایش یابد [۷]. سازمان‌های بین‌المللی از قبیل WHO و FAO، با بررسی همه پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، پرتودهی مواد غذایی را ایمن و مفید دانسته‌اند. ایمنی مواد غذایی پرتودهی شده از چهار جنبه‌ی ایمنی پرتوی، سم‌شناسی و میکروبی و حفظ ارزش تغذیه‌ای قابل توجه می‌باشند. کمیته‌ی پرتودهی مواد غذایی در سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا تأیید کرده است که بیش از ۹۰٪ ترکیبات رادیولیتیک مواد غذایی پرتودهی 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، بسیار پایدارتر هستند و به سرعت ناپدید نمی‌شوند [۸]. پرتودهی گاما می‌تواند فعالیت‌های زیستی فرآورده‌های طبیعی را با افزایش کارایی استخراج، بهبود رنگ و فعالیت ضداکسایشی برخی از فرآورده‌های غذایی افزایش دهد [۹]. کاهش خطر آلودگی به ریزنده‌های بیماری‌زا، در کنار حفظ ویژگی‌های طعمی، عطر و رنگ با استفاده از این فن‌آوری، روشی مناسب برای حفظ و نگهداری این محصول با ارزش به شمار می‌رود [۱۰].

در پژوهشی، نمونه‌ی زعفران از منطقه تربت حیدریه برداشت شده است و نمونه‌های زعفران به صورت شاهد و پرتو دیده در دزهای ۱، ۲، ۳ و ۴ kGy پرتودهی، و پارامترهای کیفی شامل پیکروکروسین، کروسین و سافرانال با دستگاه اسپکتروفوتومتری در طول موج ۲۷۵، ۳۰۰ و ۴۴۲ nm اندازه‌گیری شده است. نتایج

زعفران (Crocus) متعلق به خانواده‌ی زنبق (Iridaceae)، تکه‌لپه‌ای با نام علمی (*Crocus sativus L.*)، گیاهی چند ساله، علفی، بدون ساقه با برگ‌های باریک سوزنی شکل است. زعفران در نقاط مختلف دنیا مانند اسپانیا، اتریش، هندوستان، چین، یونان، ایتالیا، مصر، ترکیه، ایران و آذربایجان کشت می‌شود. زعفران ایران از کیفیت خاصی برخوردار است. این گران‌ترین ادویه‌ی جهان، علاوه بر استفاده در صنایع غذایی و داروسازی، در صنعت نساجی نیز به صورت یک رنگ طبیعی برتر برای پارچه‌های گران‌قیمت به خصوص ابریشم کاربرد دارد [۱]. تولید سالانه‌ی زعفران در جهان ۲۵۰ t تخمین زده می‌شود و میزان تولید زعفران در ایران حدود ۲۳۰ t است که ایران با تولید سالانه بیش از ۹۰٪ زعفران جهان، مقام اول را از نظر کمیت و کیفیت به خود اختصاص داده است [۲]. امروزه، توسعه‌ی صادرات غیرنفتی نقش یک راهکار مهم را در رشد و حتی توسعه‌ی اقتصادی ایفاء می‌کند و صرفاً به افزایش درآمد ارزی از طریق توسعه‌ی صادرات انواع کالاها و خدمات محدود نمی‌شود. صادرات کالاها و خدمات، باعث بالا رفتن سطح اشتغال، تحرک واحدهای تولیدی و افزایش درآمد ملی می‌شود و منابع ارزی لازم را نیز برای کشور فراهم می‌کند [۳].

کلاله‌ی گیاه زعفران دارای ترکیبات شیمیایی گوناگونی از جمله کربوهیدرات، مواد معدنی، ویتامین‌ها و رنگ‌دانه‌هایی مانند کاروتن و فلاونوئیدها است. به علاوه، حاوی سه ترکیب اصلی کروسین (رنگیزه‌های کاروتنوئیدی محلول در آب)، کامفرول (ترکیب پلی‌فنلی) و سافرانال (جزء اصلی مواد فرار معطر زعفران) می‌باشد. بوی زعفران نتیجه‌ی آرومای برخی روغن‌های فرار و اسانس‌های مخصوصی است که در این ماده وجود دارد. سافرانال ماده‌ی معطر اصلی زعفران است و حدود ۶۰٪ از ترکیبات فرار زعفران را تشکیل می‌دهد. کروسین که از ترکیبات کاروتنوئیدی زعفران است به عنوان ترکیبی ضد سرطان، از رشد سلول‌های سرطانی جلوگیری می‌کند [۴]. ارزش اقتصادی و کیفیت زعفران وابسته به محتوای ترکیبات کروسین، کامفرول و سافرانال آن است.

ادویه از جمله زعفران غالباً آلودگی شدیدی به ریزنده‌ها دارند، زیرا ادویه در محیط کشاورزی رشد می‌کند. منشأ



زعفران تازه از زمان برداشت به وسیله فورسپس، نمونه برداری زعفران به وسیله دست، نمونه برداری زعفران تازه در سایه به وسیله هوای گرم خشک و نمونه برداری تازه و خشک شده به وسیله خشک کن انجام شده است. نمونه‌ها در تیوب استریل نگه‌داری، و برای آزمایش میکروبی (شمارش کلی، کپک و مخمر، کلیفرم، اشیشیا کلی و استافیلوکوکوس) در دزهای مختلف (۱، ۲، ۳، ۴ kGy) پرتو دهی شده‌اند [۱۷].

با آزمایش بر روی نمونه‌های زعفران جمع‌آوری شده از ۱۶ ناحیه زعفران خیز استان خراسان، انواع مختلفی از باکتری‌های استافیلوکوکوس، باسیلوس‌های اسپوردار، کوکو باسیل‌های گرم منفی، کپک و مخمر مشاهده شده‌اند. بار میکروبی با افزایش دز به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. بیش‌ترین کاهش در دز ۶ kGy بوده، و در دز ۷ kGy میزان بار میکروبی به صفر رسیده است [۱۸].

با توجه به پژوهش‌هایی که در گذشته انجام شده است، آثار پرتو فرآوری بر روی نمایه‌های رنگ *a، *b، *L و ΔE به وسیله دستگاه هانتربل، و مقدار کرونین، کامفرول و سافرانال نمونه‌های زعفران با استفاده از دستگاه HPLC بررسی نشده‌اند. بنابراین در این پژوهش این جنبه‌ها مطالعه شده‌اند.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ مواد اولیه

نمونه‌های تازه‌ی زعفران از سه منطقه‌ی استان خراسان (قائنات، تربت حیدریه و کلات) هر کدام به وزن ۵۰ g خریداری شد. استاندارد کامفرول، کرونین، سافرانال و استاندارد داخلی ۲-نیتروانیلین از شرکت سیگمای آمریکا، استونیتریل و متانول از شرکت مرک آلمان تهیه شد. محیط کشت پلیت کانت آگار، ویولت رد بایل آگار، دی کلران گلیسرول آگار و آگار اندو از شرکت مرک، آلمان خریداری شد.

۲.۲ آماده‌سازی نمونه

پس از جمع‌آوری نمونه‌ها از استان خراسان، کلاله گل‌ها جدا شده و درون گرمخانه در دمای ۵۰°C حدود ۲۴ h خشک شدند. تمام نمونه‌ها به دو دسته‌ی شاهد و تیمار پرتو دیده (۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ kGy) تقسیم شدند. هر دسته از نمونه‌ها به سه بخش مساوی

به دست آمده نشان می‌دهند که با به‌کارگیری تکنیک پرتو فرآوری و دز ۳ kGy، زمان انبارمانی زعفران افزایش می‌یابد [۱۱].

در مطالعه‌ی دیگری، نمونه‌های زعفران از ۱۱ منطقه‌ی استان خراسان شامل طبس، تربت حیدریه، قائن، فردوس، بیرجند، گنبد، بردسکن، ششتمد، خور، بیجورد، کاشمر، سبزواری و باجستان برداشت، و روی ترکیبات پیکروکروسین، کرونین و سافرانال با دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج‌های ۱۲۵، ۲۵۵ و ۴۴۰ nm اندازه‌گیری شده است. حداکثر جذب با اسپکتروفتومتری برای ترکیبات پیکروکروسین و کرونین ۱/۹۲۸ و ۲/۷۶۰ در منطقه‌ی تربت حیدریه، و برای سافرانال ۱/۰۰۸ در منطقه‌ی ششتمد سبزواری گزارش شده است [۱۲].

ترکیب دو روش پرتو دهی گاما در دزهای ۱، ۲، ۳ و ۴ kGy در روز اول و پس از ۳۰ d، و بسته‌بندی با نانو نقره با روش طیف‌سنجی، میزان سافرانال و کرونین زعفران را افزایش داده است [۱۳].

پژوهشی در جهت افزایش و توسعه‌ی طعمی زعفران انجام شد. این مطالعه در مورد تکامل تدریجی ترکیبات فرار و غیرفرار تولید شده طی عمل‌آوری کلاله‌های زعفران بوده است و نشان می‌دهد که در مراحل اولیه، افزایش ترکیبات بیش‌تر از مراحل نهایی است [۱۴].

پژوهش دیگری با هدف تعیین کیفیت زعفران (کرونین، پیکروکروسین و سافرانال) در شرایط مختلف آب و هوایی انجام گرفت. برای این کار از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارآیی بالا (HPLC) استفاده شد. نتایج نشان داد که کرونین و پیکروکروسین ثابت بوده‌اند و تغییرات عمده‌ای در سافرانال مشاهده شده است [۱۵].

پژوهشی روی ترکیبات فرار پوشال و گل زعفران به وسیله‌ی دستگاه (GC-O-MS) انجام شده است. نتایج نشان داد که ترکیبات 2(5H)-furanone nonanal، 1-octen-3-ol، safranal، phenylacetaldehyde، (E)-2-methyl-2-butenal در کلاله‌ی زعفران شدت بیش‌تری دارد [۱۶].

در پژوهشی در منطقه‌ی تربت حیدریه‌ی استان خراسان، چهار شیوه‌ی مختلف نمونه‌برداری به صورت، نمونه‌برداری



شاخص‌های L^* جهت سنجش تقریبی روشنایی، a^* برای قرمزی و b^* برای زردی محاسبه شد تا بتوان براساس این عوامل، شاخص اختلاف رنگ کلی $(\Delta E)^{(\text{f})}$ را بر مبنای رابطه‌ی $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$ برآورد کرد [۱۵، ۱۷، ۲۱-۲۶].

۶.۲ تجزیه‌ی میکروبی

برای تهیه رقت، از محیط کشت مایع آب پپتونه^(۵) استفاده شد. مقدار ۱ g از زعفران با ۹ ml آب پپتونه مخلوط (۱:۱۰) و پس از هم‌زدن، معلقه‌ی حاصل به منظور رقت 10^{-2} به کار گرفته شد. رقت‌های به دست آمده با محیط‌های کشت متفاوت به صورت پور پلیت^(۶) آمیخته شد. در نمونه‌های شاهد و پرتودیده، از محیط‌های کشت آگار پلیت کانت^(۷) برای شمارش کلی با رقت‌های 10^{-1} و 10^{-2} ، از دی کلران گلیسرول آگار^(۸) برای شمارش قارچ‌ها (مخمرها و کپک‌ها) با رقت‌های 10^{-2} و 10^{-3} ، از آگار ویولت رد بایل آگار^(۹) برای شناسایی و شمارش کلی فرم با رقت‌های 10^{-1} و 10^{-2} ، از محیط کشت مایع ایسی‌سی^(۱۰) برای شناسایی آنتروباکتری‌های مولد گاز رقت 10^{-1} ، و در صورت مثبت بودن محیط کشت مذکور، برای شناسایی ایشرشیاکلی^(۱۱) از محیط کشت آگار اِندو^(۱۲) استفاده شد. پس از کشت، پلیت‌های VRB و PCA به ترتیب بعد از ۲۴ h و ۷۲ h نگره‌داری در دمای 30°C ، از نظر احتمال وجود کلنی بررسی شدند. پلیت‌های DG₁₈ در دمای 25°C انتقال یافته و پس از ۷ d شمارش نهایی شد [۲۷].

۷.۲ تجزیه آماری

این پژوهش توسط آزمایش فاکتوریل (۲ فاکتور منطقه و زمان هر یک در ۳ سطح) و در قالب طرح پایه‌ی کاملاً تصادفی با ۳ تکرار، تجزیه‌ی آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS17 و Minitab16، و مقایسه‌ی میانگین توسط آزمون LSD و در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شدند.

۳. نتایج و بحث

۱.۳ تأثیر تابش گاما بر ترکیبات زیست فعال

از آن جایی که HPLC یکی از دقیق‌ترین و بهترین روش‌های جداسازی و شناسایی ترکیبات است و امروزه از این روش برای

برای انجام آزمایش‌های شیمیایی، رنگ‌سنجی و میکروبی تقسیم شدند. سپس کلاله‌ها به صورت پودر تا هنگام آزمایش شیمیایی و میکروبی درون شیشه‌های تیره‌رنگ و در دمای 4°C نگره‌داری شدند [۱۹].

۳.۲ پرتودهی

نمونه‌ها در بسته‌های پلی‌اتیلنی با درجه‌ی مواد غذایی^(۲) به وزن ۱ g بسته‌بندی و در گاماسل Nordion GC-220 تا دزهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ kGy با نرخ دز 2.56 Gy/s و قدرت منبع 666 TBq در دمای محیط پرتودهی شدند [۲۰].

۴.۲ تعیین ترکیبات زیست فعال

به منظور تعیین ترکیبات زیست فعال در اندازه‌گیری مهم‌ترین ترکیبات زعفران شامل کروسین، سافرانال و کامفرول، از دستگاه HPLC استفاده شد [۲۱].

نمونه‌های زعفران پرتودیده به همراه شاهد ۰/۱ g انتخاب و سپس ۱۰ ml حلال متانول-آب (۵۰٪ حجمی) به آن اضافه شد و در 4°C در تاریکی با هم‌زن به مدت ۲۴ h هم‌زده شد. سپس همه‌ی نمونه‌ها به مدت ۲۰ min در 30000 rpm سانتریفیوژ شدند. به این ترتیب، بخش محلول و نامحلول زعفران از یک‌دیگر جدا شد. سپس نمونه‌ها با صافی آکرودیسک ۱۳، $45\ \mu\text{m}$ صاف شد. فاز متحرک از دو جزء A محلول ۱۵٪ استونیتریل در آب و B اتانول تشکیل شد. از روش حلال متغیر^(۳) برای تجزیه‌ی نمونه استفاده شد. ترکیب ۲-نیتروآنیلین به عنوان استاندارد داخلی در غلظت ۲ ppm برای هر یک از ترکیبات مورد نظر به کار رفت. منحنی درجه‌بندی استاندارد ترکیبات کامفرول، کروسین و سافرانال با غلظت‌های ۱، ۲، ۵ و ۱۰ ppm رسم شد. طول موج‌های مورد استفاده برای تجزیه‌ی ترکیبات کامفرول ۲۵۰، سافرانال ۳۱۰ و کروسین ۴۴۰ nm بود [۲۲]. اندازه‌گیری کمی براساس میلی‌گرم در گرم (mg/g) نمونه‌های زعفران محاسبه می‌شود [۱۷].

۵.۲ بررسی تغییر رنگ نمونه‌های زعفران به وسیله‌ی هانتربل

رنگ نمونه‌های زعفران، قبل و بعد از فرآوری، با استفاده از دستگاه هانتربل (Colorflex، Virginia، USA) بررسی، و



غذایی تأثیر به سزایی بر کیفیت مواد غذایی دارد و می توان بر اساس همبستگی رنگ با ویژگی های کیفی از قبیل عیوب حسی، تغذیه ای و چشمی یا غیر چشمی به کنترل فوری این عیوب کمک کرد. مختصات L^* ، a^* و b^* هانترلب به طور معمول در صنعت مواد غذایی استفاده می شوند. هم چنین می توان بزرگی تفاوت رنگ بین نمونه های فرآوری شده و شاهد را با معیار اختلاف رنگ کلی (ΔE) بیان نمود. تفاوت های قابل درک در رنگ را می توان به صورت تجزیه ای در سطوح بسیار مشخص ($\Delta E > 3$)، مشخص ($1.5 < \Delta E < 3$)، و اختلاف کم ($\Delta E > 1.5$) طبقه بندی کرد [۲۹].

نتایج سایر پژوهشگران نیز بهبود رنگ نمونه های پرتو دهی شده ی عصاره ی زردچوبه را نشان می دهد. نتایج حاصل از بررسی حاضر با نمونه های زردچوبه ی آروماتیک، Curcuma (CA) aromatica و زردچوبه ی لونگا، Curcuma longa (CL)، نشان داد که زردچوبه ی آروماتیک پرتو دهی شده (CA)، در دز ۱۵ kGy بهبود رنگ مطلوب تری را نسبت به دز ۳۰ kGy و نمونه ی شاهد نتیجه می دهد. این فرایند تغییر معنی داری در عامل های رنگ نمونه ایجاد کرد و مقدار آن بیش تر از زردچوبه ی لونگا (CL) است که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است [۱۹].

بررسی نمایه های رنگ نشان داد که متغیرهای L^* ، a^* و b^* در نمونه ی تیمار شده نسبت به نمونه ی شاهد (تیمار پرتو ندیده) افزایش داشته است [۲۶].

بر اساس جدول ۳، روند تغییر این سه عامل سنجش رنگ به وسیله ی هانترلب، ارتباط مستقیمی با شدت دز پرتو دهی داشت و با توجه به در نظر گرفتن آثار هر سه زمان صفر، نگه داری بعد از یک و دو ماه بر شاخص های رنگ L^* ، a^* و b^* ، می توان گفت که برای زعفران منطقه ی قائنات نسبت به دو منطقه ی دیگر، شدت رنگ با شدت دز افزایش داشته و پس از دو ماه آن را حفظ کرده است. هم چنین در این بررسی، با افزایش دز پرتو ΔEh در منطقه ی قائنات در سطح اختلاف کم، در منطقه ی تربت حیدریه در سطح اختلاف کم، مشخص و بسیار مشخص، و در منطقه ی کلات در سطح مشخص و بسیار محسوس بود.

اندازه گیری کمی و کیفی مواد شیمیایی، زیستی، دارویی و صنعتی حتی با غلظت های بسیار ناچیز هم استفاده می شود، در مرحله ی اول، حضور اجزای مورد نظر در ۳ نمونه ی متفاوت زعفران به این روش بررسی شد. نتایج نشان داد که تمام نمونه ها، حاوی ترکیب های مورد نظر کروسین، سافرانال و کامفرول است. در کروماتوگرام های نمونه های متفاوت، هر چند که باند و عرض قله ها متفاوت بود، ولی کروسین، کامفرول و سافرانال بیش ترین مقدار را در نمونه ی زعفران منطقه ی قائنات پس از پرتو دهی داشت. در مرحله ی دوم با استفاده از کروماتوگرام های رسم شده و مشاهده ی قله ها در طول موج های مربوط به هر جزء زعفران، سطح زیر منحنی هر قله توسط نرم افزار دستگاه HPLC محاسبه شد. سپس با استفاده از منحنی استاندارد رسم شده با ماده ی خالص، غلظت هر جزء محاسبه شد و میانگین داده ها به دست آمد. جدول ۱، میانگین اطلاعات کمی میزان هر یک از اجزای مورد بررسی را در هر گرم از نمونه های مختلف زعفران بیان می کند. همان طور که مشاهده می شود، عصاره ی زعفران منطقه ی قائنات دز ده های ۴ تا ۶ kGy و منطقه ی کلات در دز ۴ kGy پس از ۲ ماه حاوی بیش ترین مقدار کروسین و نمونه ی منطقه ی قائنات پس از یک ماه در دز ۶ kGy غلظت بالاتری نسبت به سایر نمونه ها داشته است. هم چنین در میان این نمونه ها، عصاره ی زعفران منطقه ی قائنات در دز ۴ kGy پس از یک ماه، بیش ترین غلظت سافرانال را داشت [۲۸].

تجزیه و تحلیل آماری داده ها، اختلاف معنی داری را بین اکثر اجزای نمونه ها (جدول ۱) نشان نداده است. اختلاف بین تمام گروه ها در مورد کروسین، کامفرول و سافرانال در سطح $p < 0.01$ ، معنی دار بود. بر اساس نتایج جدول ۲ (تجزیه واریانس)، متغیر مستقل زمان بر محتوای کروسین، کامفرول و سافرانال، و متغیرهای مستقل منطقه و دز پرتو دهی، بر محتوای کروسین و سافرانال، اثر معنی دار داشته اند. اثر متقابل دز و زمان بر محتوای کروسین و اثر متقابل منطقه و زمان بر محتوای هر سه ترکیب معنی دار بوده است.

۲.۳ بررسی تغییر عامل های رنگی هانترلب در اثر پرتو دهی

شکل ظاهر، یکی از مهم ترین ویژگی های کیفی در بازاریابی مواد غذایی تازه و فرآوری شده است. از نظر مشتری، رنگ مواد



جدول ۱. مقادیر تشکیل دهنده‌های ترکیبات زیست فعال زعفران در ۲۱ نمونه‌ی مختلف زعفران ایران برحسب منطقه

منطقه	دز	کروسین (میلی گرم در گرم نمونه)			کامفرول (میلی گرم در گرم نمونه)			سافراناال (میلی گرم در گرم نمونه)		
		پس از پرتودهی	پس از ۱ ماه	پس از ۲ ماه	پس از پرتودهی	پس از ۱ ماه	پس از ۲ ماه	پس از پرتودهی	پس از ۱ ماه	پس از ۲ ماه
قائنات	۰	۰.۰۳±۰.۰۰ ^{c*}	۰.۶۳±۰.۰۰ ^{a*}	۰.۷۰±۰.۰۰ ^{a*}	۰.۰۱±۰.۰۰ ^c	۰.۶۵±۰.۰۰ ^a	۰.۳۲±۰.۰۰ ^a	۰.۰۴±۰.۰۰ ^d	۱.۵۸±۰.۰۰ ^b	۰.۷۸±۰.۰۰ ^b
	۱	۰.۷۲±۰.۰۱ ^a	۰.۶۶±۰.۰۰ ^a	۰.۶۳±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۰۳±۰.۰۰ ^a	۰.۶۰±۰.۰۰ ^a	۰.۲۱±۰.۰۰ ^b	۰.۸۳±۰.۰۰ ^b	۱.۷۴±۰.۰۰ ^a	۰.۸۹±۰.۰۰ ^a
	۲	۰.۶۹±۰.۰۱ ^a	۰.۵۸±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۶۵±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۰۳±۰.۰۱ ^a	۰.۵۷±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۱۴±۰.۰۰ ^c	۱.۴۴±۰.۰۰ ^a	۱.۵۲±۰.۰۰ ^b	۰.۹۶±۰.۰۰ ^a
	۳	۰.۶۸±۰.۰۱ ^a	۰.۶۶±۰.۰۰ ^a	۰.۶۹±۰.۰۰ ^a	۰.۰۳±۰.۰۱ ^a	۰.۵۸±۰.۰۰ ^a	۰.۱۹±۰.۰۰ ^b	۱.۰۱±۰.۰۰ ^b	۱.۶۷±۰.۰۰ ^a	۰.۸۷±۰.۰۰ ^a
	۴	۰.۶۱±۰.۰۱ ^{ab}	۰.۵۱±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۶۹±۰.۰۰ ^a	۰.۰۲±۰.۰۰ ^b	۰.۶۰±۰.۰۰ ^a	۰.۲۲±۰.۰۰ ^b	۱.۲۱±۰.۰۰ ^a	۱.۶۹±۰.۰۰ ^a	۰.۷۱±۰.۰۰ ^b
	۵	۰.۶۰±۰.۰۲ ^{ab}	۰.۵۹±۰.۰۰ ^a	۰.۷۳±۰.۰۰ ^a	۰.۰۲±۰.۰۰ ^b	۰.۶۱±۰.۰۰ ^a	۰.۱۸±۰.۰۰ ^b	۰.۸۷±۰.۰۰ ^b	۱.۶۲±۰.۰۰ ^a	۰.۹۷±۰.۰۰ ^a
تربت	۰	۰.۳۱±۰.۰۲ ^b	۰.۳۰±۰.۰۰ ^a	۰.۳۱±۰.۰۰ ^a	۰.۳۵±۰.۰۰ ^a	۰.۳۵±۰.۰۰ ^a	۰.۰۹±۰.۰۰ ^a	۰.۵۵±۰.۰۰ ^a	۱.۳۹±۰.۰۰ ^c	۰.۸۸±۰.۰۰ ^a
	۱	۰.۳۴±۰.۰۰ ^b	۰.۳۵±۰.۰۰ ^a	۰.۳۷±۰.۰۰ ^a	۰.۲۶±۰.۰۰ ^{bc}	۰.۳۶±۰.۰۰ ^a	۰.۱۲±۰.۰۰ ^a	۰.۳۵±۰.۰۰ ^b	۱.۱۹±۰.۰۰ ^b	۰.۴۳±۰.۰۰ ^{ab}
	۲	۰.۳۴±۰.۰۰ ^b	۰.۴۰±۰.۰۰ ^a	۰.۳۷±۰.۰۰ ^a	۰.۳۴±۰.۰۰ ^a	۰.۴۰±۰.۰۰ ^a	۰.۰۸±۰.۰۰ ^a	۰.۳۳±۰.۰۰ ^b	۲.۱۱±۰.۰۰ ^a	۰.۶۰±۰.۰۰ ^{ab}
	۳	۰.۴۰±۰.۰۱ ^a	۰.۳۶±۰.۰۰ ^a	۰.۲۸±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۲۵±۰.۰۰ ^c	۰.۳۰±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۰۷±۰.۰۰ ^a	۰.۳۲±۰.۰۰ ^b	۱.۲۰±۰.۰۰ ^b	۰.۲۶±۰.۰۰ ^c
	۴	۰.۳۳±۰.۰۲ ^b	۰.۳۹±۰.۰۰ ^a	۰.۳۱±۰.۰۰ ^a	۰.۲۹±۰.۰۰ ^b	۰.۳۰±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۰۹±۰.۰۰ ^a	۰.۳۴±۰.۰۰ ^b	۱.۳۰±۰.۰۰ ^b	۰.۲۲±۰.۰۰ ^c
	۵	۰.۳۰±۰.۰۲ ^b	۰.۳۱±۰.۰۰ ^a	۰.۲۹±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۳۵±۰.۰۰ ^a	۰.۳۱±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۰۲±۰.۰۰ ^b	۰.۲۷±۰.۰۰ ^c	۱.۲۴±۰.۰۰ ^b	۰.۳۴±۰.۰۰ ^b
کلات	۰	۰.۵۰±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۵۴±۰.۰۰ ^a	۰.۵۶±۰.۰۰ ^c	۰.۵۵±۰.۰۰ ^a	۰.۳۲±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۱۰±۰.۰۰ ^d	۰.۶۷±۰.۰۰ ^a	۰.۵۲±۰.۰۰ ^a	۰.۱۲±۰.۰۰ ^d
	۱	۰.۴۸±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۴۶±۰.۰۰ ^a	۰.۷۱±۰.۰۰ ^a	۰.۲۶±۰.۰۰ ^b	۰.۴۲±۰.۰۰ ^a	۰.۲۹±۰.۰۰ ^b	۰.۶۵±۰.۰۰ ^a	۰.۶۲±۰.۰۰ ^a	۰.۳۲±۰.۰۰ ^c
	۲	۰.۴۹±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۵۰±۰.۰۰ ^a	۰.۷۶±۰.۰۰ ^a	۰.۲۲±۰.۰۰ ^b	۰.۲۹±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۲۷±۰.۰۰ ^b	۰.۶۴±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۶۲±۰.۰۰ ^a	۰.۶۲±۰.۰۰ ^b
	۳	۰.۶۰±۰.۰۰ ^a	۰.۵۲±۰.۰۰ ^a	۰.۶۵±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۲۹±۰.۰۰ ^b	۰.۳۰±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۳۷±۰.۰۰ ^a	۰.۶۴±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۵۹±۰.۰۰ ^a	۰.۹۶±۰.۰۰ ^a
	۴	۰.۵۱±۰.۰۰ ^a	۰.۵۰±۰.۰۰ ^a	۰.۷۰±۰.۰۰ ^a	۰.۱۴±۰.۰۰ ^c	۰.۲۹±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۳۷±۰.۰۰ ^a	۰.۶۷±۰.۰۰ ^a	۰.۶۱±۰.۰۰ ^a	۰.۹۱±۰.۰۰ ^a
	۵	۰.۵۱±۰.۰۱ ^a	۰.۵۱±۰.۰۰ ^a	۰.۶۱±۰.۰۰ ^b	۰.۱۶±۰.۰۰ ^c	۰.۳۱±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۱۸±۰.۰۰ ^c	۰.۶۶±۰.۰۰ ^a	۰.۶۰±۰.۰۰ ^a	۰.۳۹±۰.۰۰ ^c
۶	۰.۵۲±۰.۰۰ ^a	۰.۵۰±۰.۰۰ ^a	۰.۶۴±۰.۰۰ ^{ab}	۰.۲۸±۰.۰۰ ^b	۰.۲۱±۰.۰۰ ^c	۰.۱۹±۰.۰۰ ^c	۰.۶۶±۰.۰۰ ^a	۰.۶۰±۰.۰۰ ^a	۰.۹۷±۰.۰۰ ^a	

* حروف لاتین متفاوت در هر منطقه برای هر یک از نمایه‌های رنگ تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0.01$) را نشان می‌دهند.

جدول ۲. تجزیه‌ی واریانس پس از پرتودهی

منابع تغییرات	درجه‌ی آزادی	میانگین مربع‌ها	سافراناال
		کامفرول	کروسین
منطقه	۲	۴۸.۲۹***	۱۸.۰۳***
دز پرتودهی	۶	۱.۴۶**	۳.۱۵***
زمان	۲	۱.۷۹**	۸.۴۹***
دز پرتودهی × زمان	۱۲	۰.۷۸*	۰.۱۶ ^{ns}
دز پرتودهی × مکان	۱۲	۰.۵۸ ^{ns}	۰.۴۳ ^{ns}
مکان × زمان	۴	۰.۸۲*	۲.۹۲**
خطا	۱۵۰	۰.۳۸	۰.۶۳
کل	۱۸۸		

* وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۰.۰۵/

** وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۰.۰۱/

*** وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۰.۰۰۱/



جدول ۳. مقادیر تشکیل دهنده رنگ در ۲۱ نمونه‌ی مختلف زعفران ایران برحسب منطقه

منطقه	دز	a*		b*		L*	
		پس از ۱ ماه	پس از ۲ ماه	پس از ۱ ماه	پس از ۲ ماه	پس از ۱ ماه	پس از ۲ ماه
قائنات	۰	۲۳,۲۵±۰,۴۱ ^{ab}	۲۳,۹۸±۰,۶۸ ^{ab}	۱۸,۱۵±۰,۱۹ ^a	۱۹,۸۳±۲,۶۹ ^a	۲۵,۹۰±۰,۶۳ ^{ab}	۲۵,۶۶±۱,۷۵ ^a
	۱	۲۲,۶۹±۱,۶۶ ^a	۲۴,۱۶±۱,۰۳ ^a	۱۸,۳۴±۳,۸۸ ^a	۲۰,۸۴±۳,۳۲ ^a	۲۵,۷۲±۲,۸۵ ^a	۲۶,۴۳±۲,۷ ^a
	۲	۲۲,۸۰±۰,۵۴ ^a	۲۳,۷۶±۱,۰۸ ^a	۱۸,۰۹±۱,۴۶ ^a	۲۰,۶۴±۲,۶۹ ^a	۲۵,۸۱±۰,۸۰ ^{ab}	۲۶,۳۹±۲,۰۹ ^a
	۳	۲۲,۹۵±۰,۹۸ ^a	۲۳,۵۱±۰,۵۰ ^a	۱۷,۶۵±۱,۸۱ ^a	۱۹,۴۶±۱,۳۲ ^a	۲۵,۶۸±۰,۱۳ ^{ab}	۲۵,۵۴±۱,۰۳ ^a
	۴	۲۲,۹۷±۰,۴۹ ^a	۲۳,۹۵±۱,۲۰ ^a	۱۸,۳۷±۱,۴۶ ^a	۲۱,۵۳±۳,۲۵ ^a	۲۶,۰۳±۱,۱۱ ^a	۲۶,۹۵±۲,۱۰ ^a
	۵	۲۳,۲۵±۰,۸۴ ^a	۲۳,۶۹±۱,۲۵ ^a	۱۸,۲۱±۲,۲۲ ^a	۱۹,۵۹±۲,۹۵ ^a	۲۵,۹۶±۰,۴۷ ^{ab}	۲۵,۷۷±۱,۹۴ ^a
کلات	۰	۲۳,۵۸±۱,۰۱ ^a	۲۳,۱۹±۱,۱۴ ^a	۱۸,۵۶±۲,۷۰ ^a	۱۹,۱۷±۱,۶۲ ^a	۲۶,۰۴±۱,۳۲ ^a	۲۵,۳۲±۱,۰۹ ^a
	۱	۲۲,۴۵±۳,۷۵ ^a	۲۵,۴۹±۰,۷۲ ^a	۱۶,۶۸±۱,۱۳ ^a	۲۲,۴۴±۱,۱۴ ^a	۲۹,۶۷±۰,۴۲ ^a	۲۵,۱۵±۰,۷۵ ^a
	۲	۲۰,۲۵±۲,۶۴ ^a	۲۴,۶۷±۲,۹۲ ^a	۱۵,۰۶±۲,۴۴ ^a	۲۲,۰۸±۳,۶۵ ^a	۲۹,۳۷±۰,۲۷ ^a	۲۳,۷۴±۳,۰۴ ^a
	۳	۲۳,۶۹±۰,۴۴ ^a	۲۵,۵۲±۲,۴۷ ^a	۱۷,۸۸±۰,۴۹ ^a	۲۳,۰۸±۲,۴۸ ^a	۲۹,۵۲±۰,۲۶ ^a	۲۴,۷۵±۳,۰۴ ^a
	۴	۲۲,۴۲±۲,۰۰ ^a	۲۳,۷۵±۰,۷۸ ^a	۱۶,۷۱±۱,۸۸ ^a	۲۱,۸۴±۰,۴۴ ^a	۲۹,۷۵±۰,۶۴ ^a	۲۲,۳۰±۰,۶۱ ^a
	۵	۲۱,۶۲±۱,۳۶ ^a	۲۶,۲۹±۲,۱۶ ^a	۱۵,۹۷±۱,۳۵ ^a	۲۴,۲۹±۲,۷۰ ^a	۲۹,۷۸±۰,۵۵ ^a	۲۵,۳۱±۲,۶۳ ^a
تربت	۰	۲۲,۹۷±۰,۶۹ ^{ab}	۲۲,۲۹±۰,۶۹ ^{ab}	۱۵,۶۸±۱,۰۵ ^a	۲۲,۷۸±۱,۲۷ ^a	۳۰,۶۶±۰,۶۳ ^a	۲۶,۱۵±۰,۴۲ ^a
	۱	۱۹,۵۲±۳,۳۵ ^{bc}	۱۹,۵۲±۳,۳۵ ^{bc}	۱۳,۱۷±۳,۰۶ ^b	۲۲,۳۴±۲,۶۳ ^a	۲۹,۹۹±۰,۷۱ ^{ab}	۲۶,۴۱±۳,۸۳ ^a
	۲	۲۱,۴۴±۰,۶۳ ^{abc}	۲۳,۹۷±۱,۱۲ ^{ab}	۱۵,۱۳±۰,۶۴ ^{ab}	۲۲,۸۵±۰,۹۶ ^a	۳۰,۲۱±۱,۰۰ ^{ab}	۲۷,۲۶±۰,۸۰ ^a
	۳	۲۰,۷۰±۰,۵۶ ^{abc}	۲۲,۶۵±۰,۷۱ ^b	۱۴,۳۷±۰,۴۸ ^{ab}	۲۰,۴۹±۱,۴۵ ^a	۲۹,۹۷±۰,۵۵ ^{ab}	۲۴,۴۳±۲,۲۹ ^a
	۴	۲۲,۷۳±۱,۳۹ ^a	۲۳,۶۱±۱,۶۹ ^{ab}	۱۷,۰۲±۲,۰۹ ^a	۲۱,۱۲±۰,۷۵ ^a	۲۹,۷۸±۰,۱۳ ^{ab}	۲۵,۶۲±۱,۲۱ ^a
	۵	۲۰,۴۳±۰,۰۹ ^{abc}	۲۳,۵۰±۱,۸۸ ^{ab}	۱۳,۹۶±۰,۱۵ ^{ab}	۲۰,۸۰±۲,۴۴ ^a	۲۹,۱۴±۰,۴۹ ^b	۲۴,۹۸±۲,۴۹ ^a
۶	۱۹,۶۴±۰,۵۸ ^c	۲۳,۵۷±۰,۶۸ ^b	۱۳,۴۸±۰,۶۰ ^b	۲۰,۹۴±۱,۹۹ ^a	۲۹,۴۹±۰,۱۸ ^b	۲۴,۱۰±۲,۵۳ ^a	

* حرف لاتین متفاوت در هر منطقه برای هر یک از نمایه‌های رنگ تفاوت معنی‌دار آماری ($p < 0,01$) را نشان می‌دهند.

مختلف در دز ۴ kGy متفاوت است و بیش‌ترین اثر پرتو دهی در از بین بردن باکتری‌ها، در میان کلیفرم‌ها مشاهده می‌شود ($p < 0,05$). براساس نتایج جدول ۶، تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های مختلف مشاهده نمی‌شود. بین دزهای پرتو در هر سه مورد فوق تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۱٪ وجود دارد. بین مناطق مختلف PCA، تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود. در خصوص DG و VRB تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۱٪ مشاهده می‌شود.

هم‌چنین نتایج نشان داد که به طور مشخصی تفاوت معنی‌دار میکروبی بین شیوه‌های مختلف نمونه‌برداری [۱۷] و دز ۴ kGy به منظور کاهش میکروبی مناسب وجود دارد. مطابق داده‌های مندرج در جدول ۵، کم‌ترین بار میکروبی کلی، در کپک و مخمر و کلیفرم زعفران منطقه قائنات و سپس کلات و تربت حیدریه مشاهده شد، ولی ایشرشیاکلی در زعفران سه منطقه مشاهده نگردید. این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران تطابق دارد [۱۷، ۳۰، ۳۱].

براساس نتایج جدول ۴، متغیرهای مستقل منطقه و زمان بر نمایه‌های رنگ اثر معنی‌دار داشته است. هم‌چنین اثر متقابل منطقه و زمان بر این سه نمایه معنی‌دار بوده است.

۳.۳ تأثیر پرتو گاما بر فعالیت میکروبی

جدول ۵ نشان‌دهنده محتوای میکروبی نمونه‌های شاهد و تیمار دیده در محیط‌های کشت مختلف و میانگین آنها است. تعداد کلنی‌ها با واحد ایجاد کلنی در یک گرم از نمونه، سنجیده می‌شود که این میزان در نمونه‌ی زعفران مورد آزمایش، بالا بوده و آلودگی میکروبی نسبتاً شدیدی را نشان می‌دهد. براساس اطلاعات جدول ۵، پس از پرتو دهی تا دز ۴ kGy، باکتری‌های اسپوردار کاملاً حذف و تعداد مزوفیل‌های هوازی، کلیفرم‌ها و قارچ‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافته است ($p < 0,05$). با توجه به این که مقاومت باکتری‌ها، مخمرها و کپک‌ها در مقابل پرتو متفاوت است، دز مورد نیاز برای از بین بردن آنها نیز متفاوت است [۱۷]. نتایج این مطالعه نیز نشان می‌دهد که با توجه به میزان آلودگی اولیه‌ی محصول، پاسخ میکروارگانیزم‌های



جدول ۴. تجزیه‌ی واریانس پس از پرتودهی

میانگین مربعات*		درجه‌ی آزادی		منابع تغییرات
b*	a*	L*		
۶۰٫۹۱***	۳۹٫۲۶***	۱۵٫۴۵***	۲	منطقه
ns _{۱٫۴۳}	ns _{۳٫۶۶}	ns _{۰٫۰۴}	۶	دز پرتودهی
۴۳٫۸۲***	۸۲٫۲۲***	۳۰٫۹۲***	۲	زمان
ns _{۳٫۴۵}	ns _{۰٫۱۸}	ns _{۰٫۳۱}	۱۲	دز پرتودهی × زمان
ns _{۳٫۳۱}	ns _{۲٫۶۸}	ns _{۰٫۳۰}	۱۲	دز پرتودهی × مکان
۴۳٫۸۲***	۱۹٫۹۸***	۹٫۲۴***	۴	مکان × زمان
۳٫۶۴	۲٫۰۳	۰٫۳۲	۱۵۰	خطا
			۱۸۸	کل

* وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۵٪

** وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۱٪

*** وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۰٫۱٪

جدول ۵. مقایسه‌ی میانگین شمارش کلی، کپک، مخمر، کلیفرم در ۲۱ نمونه‌ی مختلف زعفران ایران برحسب منطقه

منطقه	دز	شمارش کلی (cfu)			کپک و مخمر (cfu)			شمارش کلیفرم (cfu)		
		پس از ۱ ماه	پس از ۲ ماه	پس از پرتودهی	پس از ۱ ماه	پس از ۲ ماه	پس از پرتودهی	پس از ۱ ماه	پس از ۲ ماه	پس از پرتودهی
قائنات	۰	۱٫۱×۱۰ ^{۱±۶۵٫۶} a	۱٫۲×۱۰ ^{۱±۸۱٫۰} a	۱٫۹×۱۰ ^{۱±۹۹} a	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۵۰٫۳} a	۲/۲ × ۱۰ ^{۱±۳۹٫۳} a	۸٫۰ × ۱۰ ^{۱±۱۳٫۳} a	۱٫۱×۱۰ ^{۱±۱۹٫۷} a	۱٫۴×۱۰ ^{۱±۲۵٫۸} a	۹٫۲
	۱	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۲۴٫۹} a	۵٫۸×۱۰ ^{۱±۲۲٫۱} a	۵٫۹×۱۰ ^{۱±۳۵٫۸} b	۱٫۳×۱۰ ^{۱±۱۳٫۶} b	۱٫۰ × ۱۰ ^{۱±۱۳٫۵} b	۱٫۱×۱۰ ^{۱±۱۶٫۵} b	۱٫۰ × ۱۰ ^{۱±۱۳٫۵} b	۲٫۰±۰٫۴ ^b	۲٫۰±۰٫۴ ^b
	۲	۱٫۵×۱۰ ^{۱±۱۲٫۲} b	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۱۰٫۸} b	۲٫۱×۱۰ ^{۱±۲۲٫۰} c	۸٫۰×۱۰ ^{۱±۱۳٫۷} b	۹٫۰×۱۰ ^{۱±۸٫۲} b	۹٫۰×۱۰ ^{۱±۸٫۲} b	۹٫۰×۱۰ ^{۱±۳٫۰} b	۰٫۰ ^b	۰٫۰ ^{eb}
	۳	۶٫۰×۱۰ ^{۱±۴٫۲} b	۷٫۰×۱۰ ^{۱±۳٫۲} b	۷٫۰×۱۰ ^{۱±۱۱٫۷} d	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۲۴٫۸} bc	۴٫۰×۱۰ ^{۱±۰٫۱} c	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۵٫۲} cd	۴٫۰×۱۰ ^{۱±۰٫۱} c	۰٫۰ ^b	۰٫۰ ^b
	۴	۵٫۰±۰٫۵ ^c	۳٫۰±۰٫۵ ^c	۳٫۰±۰٫۴ ^e	۳٫۰×۱۰ ^{۱±۲۸٫۶} cd	۲٫۰±۰٫۵ ^d	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۰٫۷} de	۲٫۰±۰٫۵ ^d	۰٫۰ ^b	۰٫۰ ^b
	۵	۳٫۰±۰٫۵ ^c	۵٫۰±۰٫۵ ^c	۲٫۰±۰٫۴ ^e	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۸٫۹} de	۲٫۰±۰٫۱ ^{de}	۲٫۰±۰٫۱ ^{de}	۲٫۰±۰٫۳ ^d	۰٫۰ ^b	۰٫۰ ^b
تربت	۰	۵٫۱×۱۰ ^{۱±۳۲٫۰} a	۹٫۵×۱۰ ^{۱±۳۳٫۷} a	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۲۲٫۱} a	۶٫۰×۱۰ ^{۱±۲۷٫۲} a	۶٫۰×۱۰ ^{۱±۲۰٫۱} a	۶٫۵×۱۰ ^{۱±۲۹٫۱} a	۸٫۲ × ۱۰ ^{۱±۸٫۹} a	۱٫۲×۱۰ ^{۱±۳۱٫۱} a	۱٫۳×۱۰ ^{۱±۲۸٫۴} a
	۱	۳٫۲×۱۰ ^{۱±۲۸٫۰} b	۳٫۸×۱۰ ^{۱±۲۳٫۸} b	۳٫۶×۱۰ ^{۱±۲۱٫۰} b	۲٫۴×۱۰ ^{۱±۲۱٫۰} b	۳٫۰×۱۰ ^{۱±۱۶٫۹} b	۳٫۰×۱۰ ^{۱±۱۶٫۹} b	۳٫۱×۱۰ ^{۱±۱۲٫۵} b	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۰٫۶} b	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۰٫۳} b
	۲	۸٫۰×۱۰ ^{۱±۵٫۴} b	۷٫۵×۱۰ ^{۱±۳٫۳} c	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۵٫۶} cd	۱٫۲×۱۰ ^{۱±۹٫۸} c	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۶٫۳} d	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۶٫۳} d	۱٫۱×۱۰ ^{۱±۴٫۳} d	۰٫۰ ^c	۱٫۰±۰٫۴ ^c
	۳	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۱٫۲} c	۳٫۵×۱۰ ^{۱±۱٫۹} c	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۳٫۲} c	۱٫۲×۱۰ ^{۱±۱۴٫۷} cd	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۷٫۸} c	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۷٫۸} c	۱٫۸×۱۰ ^{۱±۵٫۸} c	۵٫۰±۰٫۵ ^c	۵٫۰±۰٫۹ ^c
	۴	۳٫۰±۰٫۵ ^c	۷٫۰±۸٫۲ ^d	۵٫۰±۱٫۲ ^d	۷٫۰×۱۰ ^{۱±۱۲٫۲} d	۷٫۰×۱۰ ^{۱±۳٫۹} d	۷٫۰×۱۰ ^{۱±۳٫۹} d	۷٫۰×۱۰ ^{۱±۳٫۱} d	۰٫۰ ^c	۰٫۰ ^c
	۵	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۱٫۷} c	۰٫۰ ^e	۱٫۰±۰٫۸ ^d	۰٫۰ ^e	۰٫۰ ^e	۰٫۰ ^e	۰٫۰ ^e	۰٫۰ ^d	۰٫۰ ^c
کلات	۰	۵٫۱×۱۰ ^{۱±۳۲٫۰} a	۴٫۹×۱۰ ^{۱±۱۹٫۴} a	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۲۲٫۱} a	۳٫۲×۱۰ ^{۱±۲۱٫۸} a	۳٫۲×۱۰ ^{۱±۱۱٫۸} a	۳٫۳×۱۰ ^{۱±۲۲٫۱} a	۳٫۳×۱۰ ^{۱±۲۲٫۱} a	۱٫۲×۱۰ ^{۱±۳٫۳} a	۱٫۳×۱۰ ^{۱±۱۰٫۱} a
	۱	۳٫۲×۱۰ ^{۱±۲۸٫۰} b	۳٫۶×۱۰ ^{۱±۲۷٫۸} b	۳٫۶×۱۰ ^{۱±۳۴٫۷} b	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۶۲٫۱} b	۹٫۰×۱۰ ^{۱±۱۵٫۶} b	۹٫۰×۱۰ ^{۱±۱۵٫۶} b	۹٫۰×۱۰ ^{۱±۴٫۴} b	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۱۴٫۷} b	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۱۴٫۷} b
	۲	۸٫۰×۱۰ ^{۱±۵٫۴} b	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۲٫۸} c	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۵٫۶} cd	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۲٫۰} b	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۵٫۶} cd	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۵٫۶} cd	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۵٫۶} cd	۲٫۰±۰٫۴ ^c	۱٫۰±۰٫۴ ^b
	۳	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۱٫۲} c	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۱٫۲} d	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۳٫۲} c	۶٫۰×۱۰ ^{۱±۴۷٫۶} b	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۲٫۵} bc	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۲٫۵} bc	۵٫۰×۱۰ ^{۱±۳٫۲} bc	۰٫۰ ^c	۱٫۰±۰٫۴ ^b
	۴	۳٫۰±۰٫۵ ^c	۵٫۰±۰٫۸ ^e	۵٫۰±۱٫۲ ^d	۷٫۰×۱۰ ^{۱±۳۱٫۳} b	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۱٫۵} e	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۱٫۵} e	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۰٫۱} cd	۰٫۰ ^c	۱٫۰±۰٫۴ ^b
	۵	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۱٫۷} c	۰٫۰ ^e	۱٫۰±۰٫۸ ^d	۶٫۰×۱۰ ^{۱±۶۰٫۷} c	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۱٫۸} de	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۱٫۸} de	۲٫۰×۱۰ ^{۱±۰٫۸} cd	۰٫۰ ^c	۱٫۰±۰٫۴ ^b
۶	۳٫۰±۰٫۵ ^c	۰٫۰ ^e	۱٫۰±۰٫۱ ^d	۱٫۰×۱۰ ^{۱±۱۳٫۷} c	۷٫۰±۱٫۲ ^f	۷٫۰±۱٫۲ ^f	۷٫۰±۰٫۱ ^d	۰٫۰ ^c	۱٫۰±۰٫۴ ^b	



جدول ۶. تجزیه‌ی واریانس پس از پرتودهی

میانگین مربع‌ها*			درجه‌ی آزادی	منابع تغییرات
VRB	DG	PCA		
۳,۱۴***	۷,۳۸***	ns, ۰,۱۱	۲	منطقه
۲۰۸,۱۳***	۳۸,۵۷***	۴۳,۳۶***	۶	دز پرتودهی
ns, ۰,۰۴	ns, ۰,۳۲	ns, ۰,۲۴	۲	زمان
ns, ۰,۱۱	ns, ۰,۱۸	۰,۲۳*	۱۲	دز پرتودهی × زمان
۰,۹۷***	۲,۴۹***	۰,۸۶***	۱۲	دز پرتودهی × مکان
ns, ۰,۰۳	ns, ۰,۳۶	۰,۷۵***	۴	مکان × زمان
۰,۰۹	۰,۱۵	۰,۰۹	۳۳۹	خطا
			۳۷۸	کل

* وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۰,۰۵/

** وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۰,۰۱/

*** وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۰,۰۰۱/

مرجع‌ها

- [1] T.K. Lim, Edible Medicinal and Non Medicinal Plants, Springer Science & Business Press, (2014).
- [2] Kh. Bouzarjomehri, F. Sheikhhahmadi, The role of climate changes on the development of saffron cultivation in the city Bakharz. 2nd National Conference on The Newest Scientific and Research Findings on Saffron, (2013) 86.
- [3] M.H. Abrishami, Saffron (spice). Astanprint Press, (2000).
- [4] F.I. Abdullaev, Cancer chemopreventive and tumoricidal properties of saffron (*Crocus sativus* L.). *Exp. Biol. M.* (2002) 20-25.
- [5] J.I. Choi, Srinivasan, P. Srinivasan, H.D. Park, decontamination of *Withania somnifera* by gamma irradiation and its effect on antioxidant activities, *J. Food Quality*. **38(3)** (2015) 213-220.
- [6] N. Khazaei, M. Jouki, A. Kalbasi, H. Tavakolpour, S. Rajabifar, F. Motamedi Sedeh, A. Jouki, Study of Microbial Critical Points of Saffron from Farm to Factory in Iran, *Int. J. Biol. Biomol. Agri. Food Biotechnol. Eng.* **5(5)** (2011) 293-296.
- [7] M. Mokhtari, Saffron decontamination by fumigation process. Thesis of Iranian Research Organization for Science and Technology, Khorasan Institute, Mashad (1995) 3-33.

۴. نتیجه‌گیری

براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که پرتودهی زعفران با پرتو گاما در محدوده‌ی دز ۴ تا ۶ kGy، سبب تغییر معنی‌دار ترکیبات زیست فعال (کروسین، سافرانال، کامفرول) نمونه‌ها نشد. هم‌چنین عامل‌های رنگی مورد ارزیابی گرفته با هائترلب، تغییرات معنی‌دار را نشان نداد. به علاوه، با توجه به شرایط مختلف کاشت، برداشت، نگهداری زعفران و آلودگی‌های متنوع این گیاه، افزایش دز پرتو گاما منجر به کاهش قابل توجه کل میکروبی، کپک، مخمر و کلیفرم در نمونه‌های زعفران می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1. High-Performance Liquid Chromatography
2. Food Grade
3. Gradient
4. Total Colour Difference
5. Pepton Water
6. Pour Plate
7. Plate Count Agar (PCA)
8. Dicholoran-Glycerol Agar (DG18)
9. Violet Red Bile Agar (VRB)
10. EC Broth
11. Escherichia Coli Broth (EC)
12. ENDO Agar



- [8] GAO, Food irradiation :FDA could improve its documentation of key decisions on food irradiation petition, Washington, D.C. GAO-10-309R (2010).
- [9] M.N.C. Harder, V. Arthur, The Effects of Gamma Radiation in Nectar of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*), In: Feriz Adrovic, Gamma Radiation, Publisher: In Tech, Rijeka, Croatia, Brazil (2012).
- [10] S.N. Mahindru, Food Preservation and irradiation, New Delhi (2005).
- [11] M. Jouki, N. Khazaei, H. Tavakolipour, S. Rajabifar, F. Motamedi, A. Kalbasi, Determination of Chemical Characteristics of Saffron in Different Area of Iran, *J. Biol. Sci.* **4** (1) (2012) 71-74.
- [12] E.H. Sales, F. Motamedi, S. Rajabifar, Effects of gamma irradiation and silver nano part particles on microbiological characteristics of Saffron, using hunden technology. *Indian J. Microbiol.* **52** (1) (2012) 66-69.
- [13] K. Jae Kyung, J. Cheorun, H. Hwang, H. Park, K. Byu. M. Woo, Color improvement by irradiation of Curcuma aromatic extract for industrial application, *Radiat. Phys. Chem.* **75** (2006) 449-542.
- [14] N. Moraga, L. Rambla, O. Ahrazem, A. Granell, L. Gmez, Metabolite and target transcript analysis during crocus sativus stigma development. *Phytochemistry.* **110** (2009) 751-765.
- [15] T.K. Lim, Edible Medicinal and Non Medicinal plants, 8 Flowers. (2009) 89-130.
- [16] T.K. Lim, Edible Medicinal and Non Medicinal plants, 8 Flowers. (2009) 77-137.
- [17] M. Jouki, A. Kalbasi, H. Tavakolpour, S. Rajabifar, F. Motamedi. Sedeh, A. Jouki, Study of Gamma Irradiation and Storage Time on Microbial Load and Chemical Quality of Persian Saffron, World Academy of Science, *Engineering and Technology* **5** (2011) 05-23.
- [18] S. Vedadi, B. Naserian, Determination of suitable doses of gamma radiation for reducing microbial contamination of saffron (*crocus sativus L.*) *Pajouhesh va Sazandegi* **65** (2005) 33-57.
- [19] 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 Sci. Technol.* **42** (2009) 101-105.
- [20] J. Iborra, M.R. Castellar, M. Canovas, A. Manjon, TLC preparative purification of picrocrocin, HTCC and crocin from saffron. *J. Food Sci.* **57** (3) (1992) 714-731.
- [21] M.S. Lee, C.T. Kim, Y. Kim, Supplemental Methods, Figures, Tables and References. *Supplemental Methods*, (2009).
- [22] Ortega. Heriberto Caballero, *Food Chem.* **100** (3) (2007) 1126-1131.
- [23] A.O. Adekunte, B.K. Tiwari, P.J. Cullen, A.G.M. Scannell, C.P. Odonnell, Effect of snication on colour, ascorbic acid and yeast in activation in tomato juice, *Food Chem.* **122** (3) (2010) 500-507.
- [24] P.B. Pathare, U.L. Opera, F.A.J. Al-Said, Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food Bioprocess Technol.* (2012) 1-25.
- [25] A. Anonymous, International Color Consortium, Specification ICC.1:2004-10 (Profile version 4.2.0.0.) Image technology colour management, Architecture, profile format and data structure, (2006) 1-10.
- [26] J.K. Kim, C. Jo, H.J. Hwang, H.J. Park, Y.J. Kim, M.W. Byun, Color improvement by irradiation of Curcuma aromatic extract for industrial application, *Radiat. Phys. Chem.* **75** (2006) 449-452.
- [27] B. Anonymous, Microbiology manual, (12th Edition). Darmstadt: Merck (2010) 688.
- [28] A. Zareena, V. Variyar, S. Gholap, A.S, D.R. Bongirwar, Chemical investigation of Gamma Irradiated saffron (*Crocus sativus L.*), *J. Agri. Food Chem.* **49** (2001) 687-69.
- [29] E. Arjeh, M. Barzegar, M.A. Sahari, Effects of gamma irradiation on physicochemical properties, antioxidant and microbial activities of sour cherry juice, *Radiat. Phys. Chem.* **114** (2015) 18-24.
- [30] W. Song, H. Sung, S. Kim, K. Kim, S. Ryu, D. Kang, Inactivation of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella Typhimurium in black pepper and red pepper by Gamma Irradiation, *Int. J. Food Microbiol.* **172** (2014) 125-129.
- [31] Sh. Zaman, Kh. Alam, F. Mortuza, L. Bari, Effectiveness of irradiation treatment in eliminating E. coli O157:H7 and Salmonella in dried organic herb samples intended for use in dried tea. *J. Food and Nutr. Sci.* **3**(1-2) (2015) 165-170.