اثر پرتودهی گاما تحت اتمسفرهای مختلف بسته‌بندی بر بار میکروبی، محتوای فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر زردچوبه

اسماعیلی، سعیده [۱] – برنجی اردستانی، سمیرا * [۲]

[۱]. دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، گروه تحقیقات علوم و صنایع غذایی

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

چکیده

تأثیر پرتودهی گاما (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ kGy) در محیط‌های مختلف بسته‌بندی (هوا، N_2 و خلاء) بر بار میکروبی و خصوصیات شیمیایی پودر زردچوبه، از جمله، محتوای فنول کل (TPC) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، بررسی شد. کارایی پرتودهی در کاهش آلودگی میکروبی نمونه‌ها حتی در پایین‌ترین دُز مشاهده شد. با افزایش دُز پرتودهی، بار میکربی قابل تشخیص نبود. پرتودهی در حضور اکسیژن اثرات سینرژیک بر استخراج TPC و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره متانولی داشت و بیشترین فعالیت در ۱۵ kGy بود. پرتودهی گاما تا دُز ۱۰ kGy تحت اتمسفر هوا، ایمنی میکروبی و مطلوبیت پودر زردچوبه را تضمین می‌کند، استخراج ترکیبات زیست فعال و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را بهبود می‌بخشد.

کلمات کلیدی: *پرتودهی گاما، زردچوبه، بار میکروبی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول کل*

Effect of gamma irradiation under various atmospheres of packaging on microbial load, total phenol content and antioxidant activity of turmeric powder

Esmaeili, Saeideh [1], Berenji Ardestani, Samira [2*]

[1] AEOI, Nuclear Science and Technology Research Institute, Research School of Radiation Applications, P.B.: 14399-51113

2 Shahid Beheshti University of Medical Sciences, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Department of Food Technology Research

Abstract

The effect of gamma irradiation (0, 5, 10, and 15 kGy) under various atmospheres of packaging (air, N_2, and vacuum) on the microbial load and some chemical properties of turmeric powder, including total phenolic content (TPC)and antioxidant activities, was investigated. The efficiency of irradiation in reducing microbial contamination was observed even at the lowest dose. By increasing the irradiation dose, the microbial load was not detectable. Irradiation in the presence of oxygen had synergistic effects on the extraction of TPC, and increased the antioxidant activity of the methanolic extracts: highest activity was at 15 kGy. Generally, gamma irradiation up to the dose of 10 kGy under air atmosphere ensures the microbial safety and desirability of turmeric powder, improves the extraction yield of bioactive compounds and, antioxidant activities.

Keywords: Gamma irradiation, Turmeric, Microbial load, Antioxidant activity, Total phenolic content

مقدمه

زردچوبه (*Curcuma longa L.*) ادویه فراسودمند بسیار معروف هندی (زعفران هندی) با کاربرد زیادی در صنایع غذایی و دارویی است. خواص ضد سرطانی، ضد دیابتی، حفاظت کبدی، ضداکسایشی، ضدالتهابی، ضد میکروبی و فعالیت ضد ویروس ایدز[۱] زردچوبه ثابت شده‌است [۱]. ایران بزرگترین واردکننده (سالانه حدود ۵ هزار تن زردچوبه) و مصرف‌کننده زردچوبه در خاورمیانه می‌باشد [۲و۳]. اقلیم گرم و مرطوب کشت، شرایط بهداشتی ضعیف تولید، برداشت، ذخیره سازی، حمل‌ونقل و طولانی شدن مدت زمان خشک شدن و اقدامات نامناسب کشاورزان سبب بروز مشکلات کیفی و بهداشتی فراوان می‌شود [٤]. به‌دلیل طبیعت حساس به گرمای بسیاری از اجزای اسانس زردچوبه، تیمار گندزدایی حرارتی، مناسب نیست. با توجه به قدرت نفوذ کم، پرتو فرابنفش، در گندزدایی حجم زیادی از ادویه‌ها موثر نیست. گازدهی با گازهای متیل برماید، اتیلن‌اکساید و اکسیدپروپیلن برای کاهش آلودگی میکروبی در ادویه‌ها هم اخیرا به‌طور گسترده در سراسر جهان، به‌دلیل سمیت و سرطان‌زایی و همچنین ایمنی و حفاظت از محیط زیست ممنوع شده‌است [۵]. پرتودهی با پرتوهای یون‌ساز به‌عنوان روش پاستوریزه کردن سرد شناخته شده که در آن حرارتی تولید نمی‌شود. پرتودهی گاما روش مناسب برای کاهش آلودگی و ضایعات مواد غذایی پس از برداشت، اطمینان از سلامتی کیفیت و تسهیل تجارت مواد غذایی است. پژوهش‌های گسترده درباره اثر آن بر خواص فیزیکوشیمیایی ادویه‌ها ضروری است [٦و۷]. اثرات نامطلوب پرتو گاما بر محصولات غذایی به‌طور معنی‌داری با بسته‌بندی اصلاح شده، کاهش می‌یابد [۸]. نظر به خواص تغذیه‌ای و فراسودمند فراوان زردچوبه همچون خواص ضداکسایشی، ضدالتهابی و اثرات ضدسرطانی که به سبب ترکیبات پلی‌فنلی موجود در این گیاه می‌باشد و کاربرد گسترده آن در صنایع غذایی، دارویی و سرانه مصرف بالای آن، تاکنون مطالعه‌ای در خصوص اثر پرتودهی تحت اتمسفرهای مختلف بر ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی و میکروبی این ادویه انجام نشده‌است. از این‌رو با توجه به بررسی مطالعات پیشین و فقدان اطلاعات درباره این موضوع، در این پژوهش برای اولین بار اثر توام پرتو یون‌ساز گاما در دُزهای kGy ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ با اتمسفرهای مختلف (هوا، خلا و ازت) بسته‌بندی بر بار میکروبی (باکتری‌های مزوفیل هوازی، باکتری‌های اسپورزا، کلی‌فرم‌ها، کپک و مخمر و هم‌چنین *اشریشیاکلی*)، خاصیت ضداکسایشی با آزمون رادیکال آزاد دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل[۲] هم‌چنین محتوای ترکیبات فنولی کل عصاره پودر زردچوبه بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

---

[۱] HIV
[۲] DPPH

مواد

ریزوم های زردچوبه (*Curcuma longa L.*) از بازار محلی و فیلم بسته‌بندی چند لایه با ممانعت کنندگی بالا (Pet/EVOH–PA/LDPE) با ضخامت ۱۱۰ µm از شرکت پلاستیک ماشین الوان (تهران) خریداری شدند. محیط‌های کشت میکروبی و مواد شیمیایی از مرک آلمان و سیگما تهیه شدند. سانتریفیوژ (Hettich, D- ROTINA 35R 78532 Tuttlingen) ساخت کشور آلمان، دستگاه طیف‌سنج نوری Agilent، UV-Vis مدل Cary 60 ساخت آمریکا، حمام اولتراسونیک TECO GAZ ساخت کشور ایتالیا، ترازو با دقت یک ده هزارم گرم Sartorius ساخت کشور سوئد، حمام آب گرم (بن ماری) ممرت مدل DIN 40050-IP20 مدل WNB14 ساخت کشور آلمان استفاده شدند.

تهیه نمونه و آماده‌سازی عصاره‌ها

ریزوم‌های زردچوبه پس از تایید گونه (*Curcuma longa L.*) با بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و تشریحی در پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه شهید بهشتی، از بازار خریداری شدند. ریزوم‌ها به کمک آسیاب چکشی صنعتی خرد و از الک با مش ۶۰ (اندازه ذرات ۲۵۰ mm) عبورداده شدند [۹] . سپس بسته‌بندی ۵۰ گرم پودر زردچوبه با دستگاه هنکل‌من ساخت کشور آلمان[۳] به‌منظور اعمال شرایط اتمسفر اصلاح شده خلا و ازت و هم‌چنین هوای معمولی با پوشش موردنظر انجام شد. بسته‌ها به صورت تصادفی در ۳ کارتن جهت پرتودهی با دُزهای ۵، ۱۰و ۱۵ kGy گذاشته شدند. در هر کارتن، به‌منظور تعیین متوسط دُز پرتودهی، ۳ دُزیمتر[۴] در سطح، مرکز و انتهای کارتن مماس با بسته‌ها قرار داده شد. پرتودهی با چشمه کبالت ۶۰ در سامانه تجاری پرتودهی تهران انجام شد. نمونه‌ها بعد از پرتودهی برای هر دوره نگهداری (۰، ٤، ۸ و ۱۲ ماه) در دمای محیط نگهداری و پس از سر رسید هر دوره نگهداری تا انجام کلیه آزمون‌ها نمونه‌های مربوط، درون یخچال، در دمای ٤ °C نگهداری شدند. برای استخراج عصاره، ۱ گرم پودر زردچوبه به نسبت ۱به ۲۵ با حلال متانول مخلوط شد و به‌مدت ۱۵ دقیقه در حمام اولتراسونیک (دمای ۲۵ °C) قرار داده شد. سپس به‌مدت ۱۵ min سانتریفیوژ (13304×g) شد و پس از صاف کردن، در آون تحت خلا خشک شد و وزن خشک عصاره به‌دست آمد [۹]. در این مقاله نتایج آزمون‌های اولین دوره (دوره نگهداری ۰) ارایه می‌شود.

آزمون‌های میکروبی

[۳] HENKELMAN -200Germany-A
[۴] HARWELL PERSPEX-UK

بررسی‌های میکروبی شامل شمارش کلی میکروبی [۱۰ و ۱۱]، شمارش باکتری‌های اسپورزا [۱۲]، شمارش کلی‌فرم‌ها [۱۳]، شمارش کلی کپک و مخمر [۱٤]، و جستجوی *اشریشیاکلی* [۱۵] انجام می‌شوند.

بررسی میزان ترکیبات فنولی کل[۵]

برای تعیین مقدار ترکیبات فنولی، ۲۰ µl از هر عصاره با ۱/۱٦ ml آب مقطر و ۱۰۰ µl معرف فولین- سیوکالتو مخلوط شد. پس از ۵ دقیقه به آن ۳۰۰ µl محلول (w/v) ٪۲۰ سدیم کربنات اضافه و مخلوط خوب هم زده شد. در نهایت بعد از ۳۰ دقیقه نگهداری در بن‌ماری ٤۰ °C، جذب محلول در ۷٦۰ nm با دستگاه طیف سنج نوری خوانده شد [۱٦و۱۷]. ترکیبات فنولی کل بر اساس میلی‌گرم استاندارد گالیک اسید بر گرم وزن خشک عصاره بیان شد (mg GAE/gdw) [۱۸].

بررسی خاصیت ضد اکسایشی با آزمون ۲ و '۲- دی‌فنیل-۱- پیکریل هیدرازیل(DPPH°)

بررسی فعالیت ضداکسایشی عصاره‌ها، با استفاده از رادیکال‌های پایدار DPPH و خواندن جذب محلول‌ها در طول موج ۵۱۷ nm با طیف سنج نوری انجام شد. درصد بازدارندگی رادیکال DPPH° توسط عصاره (میزان فعالیت ضد رادیکالی)، مطابق فرمول زیر، محاسبه و میزان IC_{50} هر عصاره گزارش شد (در این فرمول A_0= جذب کنترل و A_1 = جذب نمونه) [۱۹].

$$\text{Inhibition of DPPH}^{\circ}\ (\%) = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100 \qquad (۱)$$

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری نتایج (میانگین ± انحراف استاندارد در سه تکرار) به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ (IBM, USA) و روش تجزیه واریانس ANOVA و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن[٦] در سطح احتمال ($p < 0.05$) صورت گرفت. به‌منظور تعیین اثر متقابل متغیرهای مستقل آزمون، از نرم افزر SAS نسخه ۹,۱ استفاده شد. طرح آماری کاملا تصادفی، مورد استفاده قرار گرفت و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

---

[۵] Total phenolics contents (TPCs)
[٦] Duncan's Multiple Range Test

نتایج و بحث

اثر پرتودهی در کاهش بار میکروبی پودر زردچوبه

پیش از پرتودهی، بار میکروبی اولیه باکتری‌های مزوفیل هوازی و باکتری‌های اسپورزا حدود 10^{7} cfu/g (۷ log cfu/g) و آلودگی اولیه کلی‌فرم‌ها، کپک و مخمر حدود 10^{4} cfu/g (٤ log cfu/g) بود و هم‌چنین *اشریشیاکلی* در نمونه‌ها مشاهده شد. مطابق استاندارد ملی ایران (شماره ۳٦۷۷) حداکثر حدود مجاز آلودگی میکروبی ادویه‌ها برای شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها 5×10^{5}، باکتری‌های اسپورزا 10^{2} ، کپک مخمر 5×10^{3} کلی‌فرم‌ها 10^{3} و اشریشیاکلی منفی می‌باشد. پرتودهی گاما اثر کاملا موثری در کاهش آلودگی میکروبی پودر زردچوبه در دُزهای مختلف داشت ($p<0/05$). با افزایش دُز پرتودهی از ۰ تا ۱۵ kGy، بار میکروبی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و در دُز ۱۵ kGy به حد غیر قابل تشخیص رسید و سترون شد (جدول۱). در دُز ۵ kGy، بار میکروبی پودر زردچوبه از لحاظ آلودگی باکتری‌های مزوفیل هوازی، کلی‌فرم، *اشریشیاکلی*، کپک و مخمر به حد مطلوب استاندارد رسید ولی آلودگی باکتری‌های اسپورزا هم‌چنان بیش از حد استاندارد بود و پرتودهی در دُز زیر ۱۰kGy برای حفظ کیفیت بهداشتی پودر زردچوبه مورد آزمون، مناسب بود. اتمسفر بسته‌بندی اثر معنی‌داری در محتوای بار میکروبی نمونه‌ها نداشت ($p\geq0/05$). هم‌چنین اثر دوگانه پرتودهی تحت اتمسفرهای مختلف نیز در کاهش بار میکروبی پودر زردچوبه معنی‌دار نبود ($p\geq0/05$). سازوکار اثر پرتودهی بر میکروارگانیسم‌ها می‌تواند به اثرات مستقیم و غیر مستقیم تقسیم شود. در اثرات مستقیم، با تخریب عناصر حیاتی در سلول، اغلب مواد ژنتیکی، را غیر فعال می‌کنند و مانع از تکثیر میکروارگانیسم‌ها می‌شوند. اثر کشندگی پرتو می‌تواند سبب شکستن پیوندهای شیمیایی میکرومولکول‌های ضروری همچون داکسی‌نوکلئیک اسید[۷] و تخریب آن شوند و هم‌چنین سبب آسیب غشای سلولی و آنزیم‌ها و سوخت و ساز انرژی سلول و درنهایت مرگ سلول گردند و یا از طریق پرتوکافت مولکول آب (اثرات غیر مستقیم) سبب تشکیل رادیکال‌های آزاد همچون H°، OH° و گونه‌های اکسیژن فعال می‌شوند [۲۰]. این رادیکال‌های آزاد پیوندهای کربنی میکرومولکولی میکروارگانیسم‌ها را از بین برده و بنابراین سبب مرگ سلول می‌شوند.

[۷] DNA

جدول (۱) مقایسه میانگین اثر پرتودهی تحت اتمسفرهای مختلف بر کاهش بار میکروبی پودر زردچوبه

آلودگی میکروبی (log cfu/g)	اتمسفر	دُز پرتودهی(kGy)			
		۰	۵	۱۰	۱۵
باکتری‌های مزوفیل هوازی	هوا	٦/٩٨±٠/٠٢ a	٤/٣٩±٠/٣٦ b	٢/١±٠/١٧ c	ND
	خلا	٧/٠٨±٠/٠٧ a	٤/٢٤±٠/٠٦ b	٢/٠٣±٠/٠٥ c	ND
	ازت	٧/٠٣±٠/٠٢ a	٤/٠٣±٠/٠٥ b	٢/٠١±٠/٠٢ c	ND
باکتری‌های اسپورزا	هوا	٦/٩٠±٠/٠٢ a	٣/٨٤±٠/٠٦ b	١/٦٠±٠/٥٢ c	ND
	خلا	٦/٩٢±٠/٠٨ a	٣/٩٥±٠/٠٣ b	١/٤٨±٠/٤٣ c	ND
	ازت	٦/٩٣±٠/٠٣ a	٣/٨١±٠/٠٣ b	١/٤٦±٠/٤١ c	ND
کلی فرم‌ها	هوا	٤/١٢±٠/١١ a	ND	ND	ND
	خلا	٤/٠٩±٠/٠٨ a	ND	ND	ND
	ازت	٤/٠٢±٠/٠٨ a	ND	ND	ND
کپک مخمر	هوا	٤/٠٥±٠/٠٧ a	ND	ND	ND
	خلا	٤/٠٢±٠/٠١ a	ND	ND	ND
	ازت	٤/٠٦±٠/١٨ a	ND	ND	ND
اشریشیاکلی	هوا	+	–	-	–
	خلا	+	-	-	-
	ازت	+	-	-	-

*در تمام جداول این متن، نتایج، میانگین سه تکرار±انحراف استاندارد می‌باشند. حروف کوچک یکسان در هر سطر و ستون نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد (هر ریزاندام به‌طور جداگانه مقایسه شده است). ND= غیر قابل تشخیص< ۱ log cfu/g

بررسی اثر پرتودهی تحت اتمسفرهای مختلف بر میزان ترکیبات فنولی کل

مطابق جدول ۲، اثر پرتودهی و اتمسفر بسته‌بندی و هم‌چنین اثر متقابل دوجانبه بر محتوای TPCs عصاره‌ها معنی‌دار بود ($p<0/05$). نتایج نشان داد، پرتودهی تحت اتمسفرهای مختلف ممکن است سبب القای واکنش‌های شیمیایی شده که نهایتا تغییرات معنی‌دار در محتوای TPCs عصاره‌ها ایجاد می‌شود ($p<0/05$). میزان TPCs در نمونه‌های تحت اتمسفر هوا در دُزهای مختلف نسبت به سایر اتمسفرها بیشتر بود. افزایش محتوای TPCs در عصاره‌ها در اثر فرآیند پرتودهی ممکن است به‌دلیل دپلیمریزه شدن پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی و تغییر در یکپارچگی غشا و افزایش

استخراج‌پذیری ترکیبات و شکستن ترکیبات فنولی پیچیده و درشت‌تر به شکل‌های کوچک‌تر با حلالیت بیشتر در اثر فرآیندهای اکسایشی و پرتوکافت ناشی از پرتودهی باشد و درنتیجه بازده استخراج افزایش می‌یابد. همچنین پرتودهی سبب کاهش یون مس در محل فعال آنزیم پلی فنول اکسیداز (PPO[۸]) می شود و گونه‌های اکسیژن فعال ایجاد شده در اثر پرتودهی با اثر بر جایگاه فعال آنزیم پروکسیداز (POD[۹]) و تغییر شکل آن، سبب کاهش فعالیت آنزیم شده و ازاین رو اکسایش پلی‌فنول‌ها کاهش می‌یابد [۲۱].

جدول (۲) مقایسه میانگین اثر پرتودهی تحت اتمسفرهای مختلف بر **TPCs** (**mg GAE/gdw**)

دُز پرتودهی (kGy)	اتمسفر		
	هوا	خلا	ازت
۰	۱۱۷/۳±۱/٤^{cd}	۱۰۸/۲±۲/۳^{fg}	۱۱۲/۱±۱/۰^{cde}
۵	۱۲۰/٦±۱/٤^{ab}	۱۰۷/۷±۲/۲^{g}	۱۰۹/۹±۰/۸^{efg}
۱۰	۱۱۸/۵±۰/۷^{bc}	۱۰۵/۲±۰/۳^{h}	۱۱۰/۲±۰/۲^{efg}
۱۵	۱۲۱/۳±۰/٦^{a}	۱۱۰/۷±۱/۵^{def}	۱۲۰/۹±۱/٤^{a}

بررسی خاصیت ضداکسایشی با آزمون ۲ و ۲'- دی‌فنیل-۱- پیکریل هیدرازیل

مطابق جدول ۳ میزان IC_{50} عصاره‌ها در محدوده ۷/۷ µg/ml-۳/۰±۵/۲۰۷-۲٤٤/۱ به دست آمد. دُز پرتودهی و یا نوع اتمسفر بسته‌بندی اثر معنی‌داری بر فعالیت ضداکسایشی مهار رادیکال DPPH° داشتند ($p<۰/۰۵$). هم‌چنین اثر متقابل دوجانبه نیز معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). بیشترین فعالیت ضداکسایشی در نمونه‌های تحت اتمسفر هوا مشاهده شد. میزان IC_{50} عصاره‌ها تحت اتمسفرهای مختلف در دُز ۵ kGy کاهش یافت و سپس با افزایش دُز پرتودهی روند افزایشی در مقادیر IC_{50} عصاره‌ها مشاهده شد که دلیل آن ممکن است ناشی از تشکیل ترکیبات اکسید کننده در اثر پرتودهی مانند ایجاد رادیکال‌های آزاد از جمله رادیکال آزاد هیدروکسیل (OH°) و یا القای گونه‌های اکسیژن فعال و شکل‌گیری محصولات تخریبی حاصل از پرتو باشد که سبب کاهش فعالیت ضداکسایشی عصاره‌های گیاهی می‌شوند [۲۲].

[۸] polyphenol oxidase (PPO)
[۹] peroxidase (POD)

جدول (۳) مقایسه میانگین اثر پرتودهی تحت اتمسفرهای مختلف بر فعالیت ضد اکسایشی عصاره‌ها

فعالیت ضداکسایشی (µg/ml)	اتمسفر	دُز پرتودهی(kGy)			
		۰	۵	۱۰	۱۵
IC_{50} DPPH·	هوا	^{d}۰/۷±۲۲۰/۷	^{f}۱/۲±۲۰۷/۷	^{e}۰/۲±۲۰۹/٤	^{b}۰/۳±۲۳۳/۲
	خلا	^{c}۰/۷±۲۲۳/۹	^{e}۰/٦±۲۱۵/۷	^{d}۱/۳±۲۱۹/۵	^{b}۰/۳±۲٤۲/۱
	ازت	^{c}۰/۹±۲۲۳/۳	^{d}۰/۵±۲۱۹/٦	^{d}۰/۰±۲۲۳/۹	^{a}۱/۳±۲٤٤/۵

بحث و نتیجه‌گیری

اثربخشی پرتودهی گاما بر آلودگی‌زدایی میکروبی نمونه‌ها در دُز پرتودهی ۵ kGy به‌ترتیب ۳، ۳، ٤ و ٤ log cfu/g برای کل باکتری‌های هوازی، باکتری‌های تشکیل دهنده اسپور، کلی‌فرم‌ها و کپک/ مخمر بود. با افزایش دُز تا ۱۵ kGy، بار میکروبی تا حدود صفر کاهش یافت. پرتودهی گاما تا دُز ۱۰ kGy (دُز مجاز برای ضدعفونی میکروبی گیاهان معطر، ادویه‌ها و چاشنی‌های گیاهی) ایمنی و مطلوبیت میکروبی نمونه‌ها را فراهم کرد. با افزایش دُز پرتودهی در حضور اکسیژن، محتوای فنول کل و خواص آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بر طبق راهنمای شماره 1999/3/EC دُز کلی جذب شده پرتوی گاما برای گیاهان دارویی معطر، ادویه‌ها و چاشنی‌های گیاهی تا ۱۰ kGy مجاز می‌باشد. بر این اساس پرتودهی گاما با دُزهای مجاز ایمنی و مطلوبیت پودر زردچوبه را با کاهش آلودگی‌های میکروبی، بهبود عملکرد استخراج ترکیبات زیست فعال و در نتیجه افزایش خواص آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های پرتودهی شده در بسته‌بندی حاوی هوا را افزایش می‌دهد. باید توجه داشت که علی‌رغم اثرات مثبت پرتودهی گاما بر محتوای ترکیبات زیست فعال زردچوبه، دُز انتخابی پرتودهی برای مقاصد تجاری به منظور مصرف توسط افراد مختلف جامعه نباید از حدود مجاز (۱۰kGy) افزایش یابد.

منابع

[1]. Prasad, S. and Aggarwal, B.B. (2011). Turmeric, the Golden Spice: From Traditional Medicine to Modern Medicine. In I. F. F. Benzie & S. Wachtel-Galor (Eds.), *Herbal Medicine: Biomolecular .and Clinical Aspects* Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis Llc.

[2] Asghari, G., Mostajeran, A. and Shebli, M. (2010). Curcuminoid and essential oil components of turmeric at different stages of growth cultivated in Iran. *Research in pharmaceutical Sciences,* 4(1): 55-61.

[3]. Weiss, E.A. (2002). *Spice crops*: CABI.

[4]. Hudson, J. and Hasell, S. (1998). The bacteriological quality of herbs and spices imported into New Zealand. *J New Zealand Environ Health*, 8: 25-26.

[5]. Schweiggert, U., Carle, R. and Schieber, A. (2007). Conventional and alternative processes for spice production–a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(5): 260-268.

[6]. SádeCká, J. (2010). Influence of Two Sterilisation Ways, Gamma-Irradiation and Heat Treatment, on the Volatiles of Black Pepper. *Czech Journal of Food Science*, 28(1): 44-52.

[7]. SádECká, J. (2007). Irradiation of spices-a review. *Czech Journal of Food Science*, 25: 231-242.

[8]. Jung, K., Song, B.-S., Kim, M.J., Moon, B.-G., Go, S.-M., Kim, J.-K., Lee, Y.-J. and Park, J.-H. (2015). Effect of X-ray, gamma ray, and electron beam irradiation on the hygienic and physicochemical qualities of red pepper powder. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2): 846-851.

[9]. Mudge, E., Chan, M., Venkataraman, S. and Brown, P.N. (2016). Curcuminoids in turmeric roots and supplements: method optimization and validation. *Food Analytical Methods*, **9**(5): 1428-1435.

[۱۰] استاندارد ملی ایران شماره ۷۲۵۲-۱. (۱۳۹۳). میکروبیولوژی زنجیره غذایی -روش جامع برای شمارش میکروارگانیسم ها-قسمت ۱- شمارش کلنی در ۳۰درجه سانتی گراد با استفاده از روش کشت آمیخته.

[۱۱] استاندارد ملی ایران شماره ۷۲۵۲-۲. (۱۳۹۳). میکروبیولوژی زنجیره غذایی -روش جامع برای شمارش میکروارگانیسم ها-قسمت ۲- شمارش کلنی در ۳۰درجه سانتی گراد با استفاده از روش کشت سطحی

[۱۲] استاندارد ملی ایران شماره ۳٦۷۷. (۱۳۷٤). میکروبیولوژی انواع ادویه – ویژگی‌ها.

[۱۳] استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۱٦٦ (۱۳۸۷). میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام -روش جامع برای شناسایی و شمارش کلی فرمها

[۱٤] استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۸۹۹-۱. (۱۳۸۷). میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام -روش جامع برای شمارش کپک‌ها و مخمرها-قسمت اول -روش شمارش کلنی در فرآورده های با فعالیت آبی (AW) بیشتر از ۰/۹۵

[۱۵] استاندارد ملی ایران شماره ۲۹٤٦. (۱۳۸٤). میکروبیولوژی مواد غذایی و خوراک دام- روش جستجو و شمارش *اشریشیاکلی* با استفاده از روش بیشترین تعداد احتمالی

[16]. Singleton, V. and Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3): 144-158.

[17]. Slinkard, K. and Singleton, V.L. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1): 49-55.

[18]. Nisar, T., Iqbal, M., Raza, A., Safdar, M., Iftikhar, F. and Waheed, M. (2015). Estimation of Total Phenolics and Free Radical Scavenging of Turmeric (*Curcuma longa*). *American-Eurasian Journal of Agricalture & Environtal Science*, 15 (7): 1272-1277.

[19]. Oliveira, I., Sousa, A., Ferreira, I.C., Bento, A., Estevinho, L. and Pereira, J.A. (2008). Total phenols, antioxidant potential and antimicrobial activity of walnut (*Juglans regia L*.) green husks. *Food and chemical toxicology*, **46**(7): 2326-2331.

[20]. Da Silva Aquino, K.A. (2012). Sterilization by gamma irradiation. In F. Adrovic (Ed), *Gamma Radiation* (Chapter 9, pp:172–202), INTECH Open Access Publisher.

[21]. Shams Najafabadi, N., Sahari, M.A., Barzegar, M. and Esfahani, Z.H. (2017). Effect of gamma irradiation on some physicochemical properties and bioactive compounds of jujube (*Ziziphus jujuba var vulgaris*) fruit. *Radiation Physics and Chemistry*, 130: 62-68.

[22]. Alothman, M., Bhat, R. and Karim, A. (2009). Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plant produce. *Trends in Food Science & Technology*, **20** (5): 201-212.