

مقاله پژوهشی

تأثیر پرتودهی گاما و نوع ماده بسته‌بندی بر ماندگاری قارچ خوراکی دکمه‌ای

احسان فرتاش نعیمی^۱، محمد هادی خوش تقاضا^{۲*}، سلیمان عباسی^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

۲. استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس

۳. استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۴/۱۴، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۷)

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثرات دز پرتودهی و نوع بسته‌بندی بر ماندگاری قارچ خوراکی دکمه‌ای انجام شد. برای این منظور، ابتدا نمونه‌ها در دو نوع بسته‌بندی پلی اتیلن و نانو کامپوزیت قرار گرفتند. سپس تحت دزهای ۰ kGy (شاهد)، ۱، ۲ و ۳ کیلوگری پرتودهی شده و در دمای °C ۴-۵ نگهداری شدند. تأثیر عوامل مذکور روی برخی ویژگی‌های کیفی قارچ (درصد افت جرمی، قطر کلاهک، pH، درصد مواد جامد محلول، سفتی بافت و شاخص روشنایی) در طول مدت انبارمانی در پنج مرحله، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز پس از پرتودهی بررسی شدند. نتایج نشان داد اثر متقابل دز پرتودهی و بسته‌بندی، همچنین دز و زمان نگهداری برای همه‌ی صفات اندازه‌گیری شده بجز سفتی بافت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند. براساس یافته‌های این بررسی، استفاده از پرتودهی در دزهای ۱-۲ kGy به همراه بسته‌بندی نانو کامپوزیتی به طور معنی‌داری در افزایش ماندگاری قارچ خوراکی به مدت ۲۰ روز مؤثر بود.

واژه‌های کلیدی: پلی اتیلن، قارچ، نانو کامپوزیت، ویژگی‌های کیفی

* نویسنده مسئول: khoshtag@modares.ac.ir

۱. مقدمه

تا دز ۱۰ kGy مجاز بوده و در فرآورده‌های پرتودهی شده مشکل میکروبی و تغذیه‌ای خاصی گزارش نشده است [۷]. نکته قابل اهمیت این است که در محدوده‌ی انرژی‌های بکار گرفته شده در این روش، به هیچ وجه ماده غذایی رادیولیز نمی‌شود و صرفاً ایمنی بیولوژیکی و یا پایداری ماده در فرآیند ذخیره‌سازی افزایش می‌یابد [۸].

نوع و جنس مواد بسته‌بندی مواد غذایی از منظر محیط زیستی حائز اهمیت می‌باشد و یکی از مهم‌ترین معضلات جهان، مقابله با ضایعات مربوط به این مواد است. بر این اساس فیلم‌های بسته‌بندی که از مواد قابل بازیافت تولید می‌شوند، نقش مهمی در کاهش این ضایعات و میزان آسیب‌های ناشی از آنها دارند [۹]. در این خصوص استفاده از ترکیبات نانو پرکننده و تولید نانوکامپوزیت است که سبب بهبود کیفیت و کارایی مواد بسته‌بندی و در نتیجه اطمینان از ایمنی غذایی می‌گردد [۱۰]. به همین دلیل امروزه استفاده از فناوری‌های جدید مانند پرتودهی و بسته‌بندی‌های مناسب به منظور بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات کشاورزی و مواد غذایی به طور وسیعی مورد توجه قرار گرفته است.

در یک بررسی اثر دز پایین پرتودهی (۱ kGy) به همراه بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح‌شده و نگهداری در دمای ۴ °C روی سفتی، پوسیدگی و برخی ویژگی‌های حسی توت فرنگی در روزهای ۱، ۷، ۱۴ و ۲۱ انبارمانی بررسی شد. نتایج نشان داد که در نمونه‌ی تحت تیمار با پرتودهی در طول ۷ روز انبارمانی، هیچگونه پوسیدگی رخ نداد. در ضمن، اعمال بسته‌بندی روی نمونه پرتودهی شده ماندگاری محصول را تا ۱۴ روز افزایش داد [۱۱]. در بررسی دیگری، پرتو باریکه‌ی الکترونی (۱/۵ و ۲/۵ kGy) و بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح شده در مدت ۴۲ روز انبارمانی در دمای ۴ °C سبب کاهش بار میکروبی یک نوع قارچ خوراکی شد. پرتودهی تأثیر معنی‌داری روی شاخص‌های حسی مورد مطالعه نداشت. نتایج بررسی عمر مفید قارچ در دزهای ۱/۵ و ۲/۵ kGy نشانگر افزایش ماندگاری به مدت ۲۸ و ۴۲ روز بود. در حالی که میزان ماندگاری نمونه‌های شاهد ۲۱ روز گزارش شد [۱۲]. تحقیقات مشابهی نیز به وسیله‌ی اشعه گاما در شرایط

روند رو به رشد جمعیت جهان تأمین غذا را به عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل روز دنیا تبدیل کرده است. همچنین افزایش جمعیت و افزایش قیمت مواد غذایی به خصوص منابع پروتئینی با کیفیت بالا سبب گردیده تا در سال‌های اخیر توجه خاصی به منابع غذایی کشاورزی مبدول گردد. امروزه پرورش انواع قارچ‌های خوراکی با کسب اهمیت بسزا در دنیا، از پیشرفت‌های قابل توجه و چشمگیری برخوردار است. طبق آمار سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) در سال ۲۰۲۰، تولید قارچ جهان در مجموع حدود ۱۱ میلیون تن بوده که از این میزان، ۱۸۰ هزار تن سهم ایران می‌باشد [۱]. قارچ فرآورده‌ای به شدت فاسد شدنی است و عمر مفید آن محدود و غالباً ۳-۱ روز در دمای اتاق می‌باشد. افت کیفیت این محصول با تغییراتی مانند قهوه‌ای شدن، کشش ساقه، کاهش وزن و باز شدن کلاهک همراه است [۲]. ماندگاری پایین این محصول مانعی بزرگ برای توزیع و بازاریابی آن به شمار می‌رود [۳].

پرتودهی یک روش فیزیکی فرآوری مواد غذایی محسوب می‌شود که شامل قرار دادن مواد غذایی در برابر پرتوهای گاما، ایکس و الکترون می‌باشد. پرتو گاما بخشی از تابش‌های الکترومغناطیسی می‌باشد که انرژی بیشتری در مقایسه با دیگر پرتوها دارد. این پرتوها به طور طبیعی از فروپاشی خود به خودی رادیوایزوتوپ‌ها تولید می‌شوند [۴]. از آن‌جا که عناصر تولیدکننده این پرتو، فرآورده‌ی تجزیه‌ی اتمی بوده و جزو ضایعات اتمی محسوب می‌شود، اشعه مذکور از ارزان‌ترین شکل اشعه برای نگهداری مواد غذایی بوده و از قدرت نفوذ بسیار خوبی برخوردار است [۵]. اصولاً روش پرتودهی در کنار سایر روش‌های مرسوم می‌تواند به عنوان یک روش کمکی در حل مؤثر و سریع بسیاری از مسائل مرتبط با حفظ و نگهداری فرآورده‌های کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار گیرد. لازم به توضیح است که دمای ماده غذایی در طول این فرآیند کمتر از دماهایی است که به طور متداول در فرآیندهای حرارتی استفاده می‌شود. به همین دلیل، میزان کاهش کیفیت در فرآیندهای غیرحرارتی به مراتب کمتر از فرآوری‌های حرارتی در دماهای بالا می‌باشد [۶].

طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی، پرتودهی مواد غذایی

محیط انجام شد. کلیه تیمارها بلافاصله به آزمایشگاه خواص بیوفیزیک گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس منتقل و در دمای °C ۵-۴ با رطوبت نسبی $5 \pm 80\%$ نگهداری شدند.

۲.۲. اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های کیفی

برای هر تیمار تغییرات ویژگی‌های کیفی محصول در طول مدت انبارمانی در پنج زمان (روز اول، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز پس از اعمال تیمار پرتو دهی) مطالعه شد. بدین منظور، برای هر تیمار دز پرتو دهی و بسته‌بندی سه تکرار در روزهای مورد نظر برای اندازه‌گیری درصد افت جرمی، تغییرات قطر کلاهک، درصد مواد جامد محلول، pH، میزان سفتی بافت و شاخص روشنایی انجام شد و میانگین سه تکرار به عنوان داده نهایی سطوح تیمارهای مختلف و گروه شاهد گزارش گردید.

جرم هر تیمار توسط ترازوی دیجیتال (GF-600, AND, Japan) با دقت $0.01 \pm$ g ثبت و درصد افت جرمی طبق رابطه (۱) محاسبه شد [۱۵].

$$MR = \frac{M_0 - M_f}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، MR = درصد افت جرمی، M_0 و M_f به ترتیب جرم نمونه در روز اول (g) و جرم در پایان روز انبارمانی (g) می‌باشد.

برای اندازه‌گیری تغییرات قطر کلاهک قارچ‌های هر تیمار در پایان روز انبارمانی نسبت به روز اول، از یک کولیس دیجیتالی با دقت $0.1 \pm$ mm استفاده شد. اندازه‌گیری درصد مواد جامد محلول نیز توسط دستگاه رفاکتومتر دستی (Erma-optical, works, LTD, Japan) صورت گرفت. برای این منظور 20 g از هر تیمار به مدت 20 min در داخل مخلوط‌کن به شدت همزده شد و مخلوط حاصل از صافی عبور داده شد، سپس چند قطره از عصاره صاف شده‌ی قارچ در دمای اتاق روی چشمی رفاکتومتر ریخته و عدد مربوطه برحسب بریکس اندازه‌گیری شد. میزان pH عصاره قارچ‌ها هم توسط دستگاه pH متر دیجیتالی (Metrohm 827, USA) و کالیبره شده با بافرهای ۴ و ۷ اندازه‌گیری شد [۱۶].

مختلف به دست آمده که در بیشتر آن‌ها ماندگاری قارچ از لحاظ شیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱۳، ۱۴].

در طی سال‌های اخیر از روش‌های مختلفی برای افزایش ماندگاری قارچ‌های خوراکی استفاده شده است که در این بین می‌توان به روش‌های پرتو دهی، بلانچینگ، خشک کردن و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده اشاره کرد. اگرچه تمامی روش‌های اشاره شده دارای معایبی مانند از دست رفتن رنگ قارچ، تولید طعم نامطلوب، مشکلات ایمنی و آلودگی با میکرو ارگانیسم‌های بیماری‌زا می‌باشند که آنها را نامناسب برای استفاده در مقیاس‌های صنعتی می‌نماید. با توجه به تحقیقات انجام شده به نظر می‌رسد که روش پرتو دهی همراه با انتخاب بسته بندی مناسب می‌تواند در حفظ کیفیت ماندگاری قارچ خوراکی نقش موثری داشته باشد. لذا در این تحقیق تأثیر توام دزهای مختلف پرتو دهی گاما و نوع ماده بسته‌بندی (پلی اتیلن و نانو کامپوزیت بر پایه‌ی نانو امولسیون سیلیکونی) بر ماندگاری و تغییرات ویژگی‌های کیفی و فیزیکی قارچ دکمه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد آزمایشی و آماده سازی تیمارها

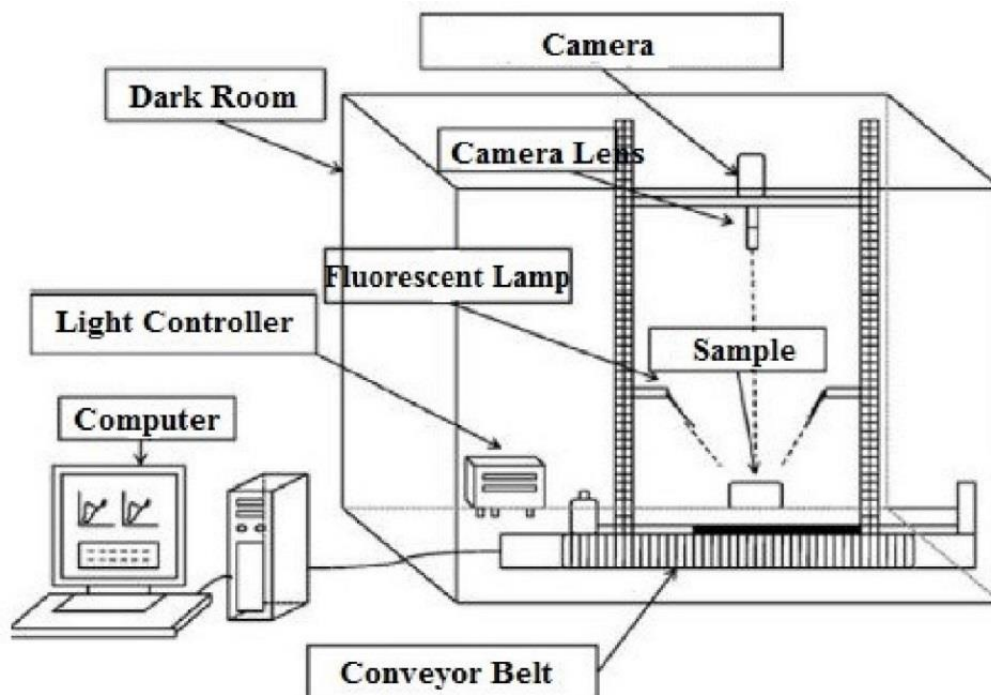
نمونه های قارچ خوراکی دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) مورد استفاده در این تحقیق از کارخانه‌ی قارچ ملارد (ملارد، کرج، ایران) خریداری شدند. نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت بصورت تصادفی در دسته‌های ۱ kg گروه‌بندی شدند. در این تحقیق تأثیر دزهای مختلف پرتو دهی گاما (در چهار سطح ۰، ۱، ۲ و ۳)، نوع ماده بسته‌بندی (در دو سطح شامل بسته‌بندی پلی اتیلن (PE-کیسه‌های زیپ کیپ به ابعاد 35×25 cm) و نانو کامپوزیت بر پایه‌ی نانو امولسیون سیلیکونی (NC-کیسه‌های زیپ کیپ و به ابعاد 35×25 cm) و دوره انبارداری (در ۵ سطح ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز پس از اعمال تیمار پرتو دهی) بر درصد افت جرمی، تغییرات قطر کلاهک، درصد مواد جامد محلول، pH، میزان سفتی بافت و شاخص روشنایی نمونه‌های قارچ خوراکی مطالعه شد. عملیات پرتو دهی نمونه‌ها در سازمان انرژی اتمی تهران توسط سل گاما (Nordion, GC-220, Canada) با سرعت $1/98$ گری در ثانیه و قدرت منبع 8302 کوری در دمای

برای اندازه‌گیری سفتی بافت نمونه‌های قارچ، از دستگاه آزمون مواد (H50 K-S, Hunsfield, England) مجهز به لودسل با قابلیت اندازه‌گیری نیرو در گستره‌ی ۰ تا ۱۰۰ N نیوتن استفاده شد. بارگذاری نمونه‌ها توسط پانچ استوانه‌ای به قطر ۳/۲ mm و سرعت ۹۰ mm/min با عمق نفوذ ۵ mm صورت گرفت. حداکثر نیروی مورد نیاز برای فشردن قارچ به عنوان سفتی گزارش شد [۱۷]. در همه‌ی آزمایشات قبل از اعمال نیرو، ساقه‌ی قارچ جدا گردید.

۳.۲. ارزیابی شاخص روشنایی قارچ‌های تیمار شده

شاخص روشنایی نمونه‌های قارچ با استفاده از روش پردازش تصویر به صورت شاخص رنگی L^* به دست آمد. طبق استاندارد ایکلارج (Eclairage)، دامنه تغییرات روشنایی یا L^* از صفر (رنگ سیاه) تا صد (رنگ سفید) می‌باشد [۱۸]. سیستم تصویربرداری یک سطح مستطیلی با ابعاد

۷۰×۴۰ cm و رنگ پس زمینه سیاه بود که نمونه‌ها بر روی آن قرار می‌گرفتند (شکل ۱). دوربین مورد استفاده در این تحقیق شامل یک دوربین دیجیتال ۱۳ مگاپیکسل (Samsung, J500F) با ابعاد تصویر ۳۰۹۶×۴۱۲۸ پیکسل بود. سیستم نورپردازی از دو لامپ فلورسنت به رنگ سفید تشکیل شده بود که در دو طرف سکو قرار داشتند. برای تبدیل مقادیر رنگی به دست آمده از روش پردازش تصویر به مقادیر واقعی، یک چارت رنگی از رنگ‌های مختلف تهیه شد و مقادیر L^* آن‌ها توسط دستگاه رنگ‌سنج (Hunterlab, Coloorflex, USA) استخراج و با داده‌هایی که از روش پردازش تصویر به دست آمده بودند، اصلاح شد [۱۹]. همچنین کلیه‌ی پردازش‌های انجام شده روی تصویر با نرم افزار MATLAB 2015 انجام شد.



شکل (۱) تصویر شماتیک از سکوی تصویربرداری

Fig 1. Schematic of the imaging platform

توسط نرم افزار SPSS و مقایسه‌ی میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام گرفت.

۴.۲. تجزیه و تحلیل آماری

طرح آزمایش این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. تجزیه واریانس

جدول (۱) آنالیز واریانس اثر دز پرتو دهی گاما، نوع ماده بسته بندی و زمان نگهداری بر شاخص های کیفی قارچ خوراکی

Table 1. Analysis of variance for the effect of gamma irradiation dose, type of packaging and storage time on quality indicators of mushrooms

| میانگین مربعات Mean of squares | | | | | | درجه آزادی df | منابع تغییرات Sources of variation |
|-----------------------------------|---------------------|--------------------------|---------|---------------------------|------------------------------------|---------------------|---|
| شاخص L* L* index | سفتی Firmness | مواد جامد محلول (TSS) | pH | قطر کلاهک Cap diameter | درصد افت جرمی Mass reduction | | |
| 503.48** | 0.38** | 1** | 0.017** | 0.43** | 45.33** | 3 | دز پرتو دهی Irradiation dose |
| 4320** | 16.77** | 3.10** | 0.084** | 0.18** | 315.60** | 1 | بسته بندی Packaging |
| 2492.4** | 9.23** | 14.74** | 0.599** | 6.69** | 987.09** | 4 | زمان Time |
| 7.62** | 0.07 ^{ns} | 0.116** | 0.005** | 0.07** | 0.55** | 3 | دز × بسته dose×packaging |
| 322.10** | 1.39** | 1.06** | 0.007** | 0.03** | 64.43** | 4 | بسته × زمان time×packaging |
| 40.71** | 0.11 ^{ns} | 0.17** | 0.084** | 1.17** | 8.25** | 12 | دز × زمان time×dose |
| 4.67** | 0.087 ^{ns} | 0.089** | 0.002** | 0.013** | 0.29** | 12 | دز × بسته × زمان dose×packaging×time |

ns, * و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی دار بودن در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns, * and ** non-significant and significant at 5% and 1% levels, respectively

جدول (۲) مقایسه میانگین دز پرتو دهی گاما و زمان نگهداری روی شاخص های کیفی قارچ خوراکی

Table 2. Comparison of the average gamma irradiation dose and storage time on quality indicators of mushrooms

| شاخص L* L* index | مواد جامد محلول (%) TSS (%) | pH | قطر کلاهک Cap diameter (mm) | کاهش جرمی Mass reduction (%) | دز پرتو Irradiation dose | زمان نگهداری Storage time |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 90.00 ^a | 6.05 ^a | 6.20 ^j | 40.00 ^c | 0.00 ^a | 0 | |
| 90.83 ^a | 6.05 ^a | 6.15 ^j | 40.00 ^c | 0.00 ^a | 1 | |
| 90.16 ^a | 5.90 ^a | 6.17 ^j | 40.00 ^c | 0.00 ^a | 2 | 1 |
| 89.50 ^a | 5.90 ^a | 6.17 ^j | 40.00 ^c | 0.00 ^a | 3 | |
| 78.00 ^{bcde} | 5.75 ^{ab} | 6.53 ^c | 40.26 ^b | 3.12 ^{ab} | 0 | |
| 85.50 ^{ab} | 6.03 ^a | 6.26 ⁱ | 39.92 ^{cd} | 2.92 ^{ab} | 1 | |
| 82.66 ^{abc} | 6.00 ^a | 6.34 ^{gh} | 39.88 ^{de} | 2.85 ^{ab} | 2 | 5 |
| 79.50 ^{bcd} | 5.93 ^a | 6.37 ^{fg} | 39.88 ^{de} | 3.12 ^{ab} | 3 | |
| 71.66 ^{def} | 5.40 ^b | 6.67 ^a | 40.67 ^a | 8.57 ^{cd} | 0 | |
| 81.00 ^{abcd} | 5.90 ^a | 6.50 ^d | 39.80 ^e | 5.95 ^{bc} | 1 | |
| 77.50 ^{bcde} | 5.80 ^a | 6.57 ^c | 39.47 ^g | 5.93 ^{bc} | 2 | 10 |
| 74.50 ^{cdef} | 5.41 ^b | 6.61 ^{bc} | 39.29 ^{hi} | 7.10 ^c | 3 | |
| 61.00 ^{hi} | 4.43 ^{de} | 6.30 ^{hi} | 38.51 ⁱ | 14.97 ^{fg} | 0 | |
| 75.33 ^{cdef} | 5.05 ^c | 6.64 ^{ab} | 39.62 ^f | 10.22 ^{de} | 1 | |
| 73.50 ^{cdef} | 5.00 ^c | 6.64 ^{ab} | 39.34 ^h | 10.27 ^{de} | 2 | 15 |
| 68.00 ^{efgh} | 4.70 ^{cd} | 6.45 ^c | 39.20 ^j | 12.40 ^{ef} | 3 | |
| 56.00 ⁱ | 3.55 ^f | 6.26 ⁱ | 38.18 ^m | 19.24 ^h | 0 | |
| 71.00 ^{defg} | 4.25 ^c | 6.52 ^c | 39.30 ^{hi} | 13.84 ^{fg} | 1 | |
| 67.00 ^{fgh} | 4.20 ^c | 6.50 ^{de} | 39.00 ^j | 13.90 ^{fg} | 2 | 20 |
| 62.00 ^{ghi} | 3.80 ^f | 6.39 ^f | 38.85 ^k | 15.92 ^g | 3 | |

*در هر ستون، تفاوت بین میانگین های دارای حروف متفاوت طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ معنی دار است.

*Non-consecutive letters in each column indicate a significant difference at the 5% level

جدول (۳) مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع ماده بسته‌بندی و زمان نگهداری روی شاخص‌های کیفی قارچ خوراکی
 Table 3. Comparison of the average type of packaging and storage time on quality indicators of mushrooms

| شاخص L* L* index | سفتی (N) Firmness | مواد جامد محلول TSS (%) | pH | قطر کلاهک Cap diameter (mm) | کاهش جرمی Mass reduction (%) | نوع بسته Type of packaging | زمان نگهداری Storage time |
|---------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 89.58 ^{ab} | 6.40 ^a | 6.05 ^a | 6.17 ^f | 40.00 ^a | 0.00 ^a | PE | |
| 90.66 ^a | 6.42 ^a | 5.80 ^b | 6.17 ^f | 40.00 ^a | 0.00 ^a | NC | 1 |
| 76.50 ^d | 5.74 ^c | 5.93 ^{ab} | 6.33 ^e | 39.98 ^a | 3.34 ^b | PE | |
| 86.33 ^b | 6.23 ^{ab} | 5.92 ^{ab} | 6.42 ^{cd} | 39.99 ^a | 2.66 ^b | NC | 5 |
| 69.58 | 5.09 ^e | 5.32 ^c | 6.57 ^a | 39.75 ^a | 7.98 ^d | PE | |
| 82.75 ^c | 6.07 ^b | 5.93 ^{ab} | 6.60 ^a | 39.87 ^a | 5.80 ^c | NC | 10 |
| 62.00 ^f | 4.53 ^f | 4.46 ^e | 6.48 ^{bc} | 39.09 ^{bc} | 14.91 ^f | PE | |
| 76.91 ^d | 5.73 ^c | 5.12 ^d | 6.53 ^{ab} | 39.24 ^b | 9.02 ^d | NC | 15 |
| 53.50 ^e | 4.37 ^f | 3.65 ^e | 6.38 ^{de} | 38.77 ^d | 19.46 ^e | PE | |
| 74.50 ^d | 5.40 ^d | 4.25 ^f | 6.46 ^{bcd} | 38.90 ^{cd} | 11.99 ^e | NC | 20 |

*در هر ستون، تفاوت بین میانگین‌های دارای حروف متفاوت طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار است.

*Non-consecutive letters in each column indicate a significant difference at the 5% level

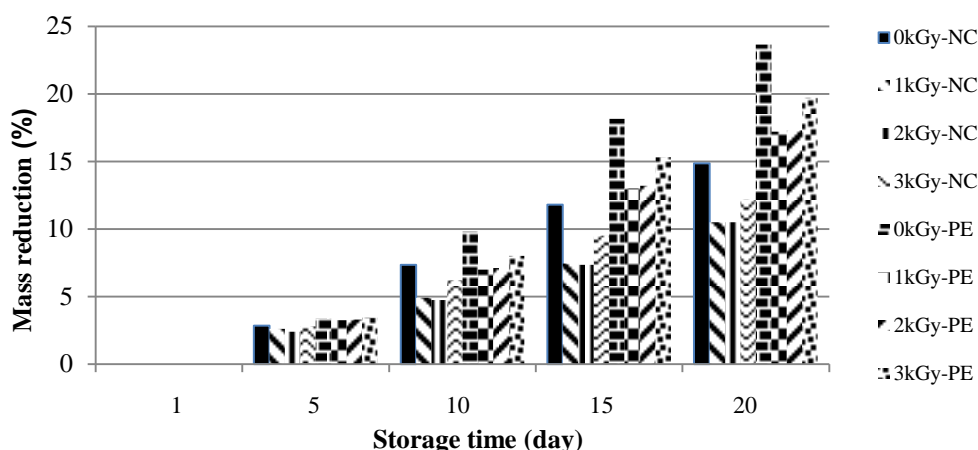
۳. نتایج و بحث

بسته‌بندی نانو کامپوزیتی کمتر از بقیه (۵/۱۰٪) برای هر دو (دز) بود. افزایش درصد افت جرمی نمونه‌ها در بسته‌بندی پلی اتیلن، احتمالاً به خاطر عدم توانایی این نوع بسته در کنترل ورود اکسیژن و خروج دی اکسید کربن می‌باشد. به عبارتی خروج رطوبت محصول به محیط بیرون در اثر تعرق و نفوذپذیری زیاد بسته باعث کاهش بیش از حد جرم قارچ‌ها شده است [۲۰]. مطابق جدول (۲)، اثر متقابل دز پرتودهی و زمان نگهداری تا روز پنجم روی درصد افت جرمی نمونه‌ها معنی‌دار نبود و از آن روز به بعد اختلاف‌ها افزایش یافت. نتایج اثر نوع ماده بسته‌بندی و زمان نگهداری مشابه بود (جدول ۳). این یافته‌ها با نتایج Rivera و همکاران برای قارچ خوراکی دنبلان تیمار شده در دزهای ۰، ۱/۵ و ۲/۵ kGy و بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح شده متفاوت است [۲۱]. Oliveira و همکاران هم گزارش کردند که درصد افت جرمی ورقه‌های قارچ که در بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح شده به مدت ۷ روز در شرایط مختلف قرار داشتند با افزایش همراه بود [۲۲]. این گزارش با نتیجه‌ای که برای بسته‌بندی‌های پی وی سی و پلی پروپیلن به دست آمده، مطابقت دارد [۲۳].

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر دز پرتودهی، بسته‌بندی و زمان نگهداری بر همه ویژگی‌های کیفی مورد مطالعه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. طبق این نتایج اثرات متقابل دز و نوع ماده بسته‌بندی، دز و زمان انبارداری و اثر متقابل سه گانه دز، نوع ماده بسته‌بندی و زمان انبارداری بر سفتی بافت معنی‌دار نبودند (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین اثر دز پرتودهی و زمان نگهداری و اثر نوع ماده بسته‌بندی و زمان نگهداری روی شاخص‌های مورد مطالعه به ترتیب در جداول (۲ و ۳) آورده شده است.

۱.۳. درصد افت جرمی

میزان کاهش جرم نمونه‌های قارچ تیمار شده در دزها و بسته‌بندی‌های مختلف در شکل (۲) آورده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود با افزایش زمان نگهداری جرم نمونه‌ها کاهش یافت. این کاهش در نمونه‌های پرتودهی نشده در بسته‌بندی پلی اتیلن بیشتر (۲۳/۶۵٪ در روز آخر) و در نمونه‌های پرتودهی شده با دزهای ۱ و ۲ kGy در



شکل (۲) تأثیر دز پرتو دهی گاما، نوع ماده بسته بندی و مدت زمان انبارمانی بر تغییرات جرمی قارچ خوراکی
 Fig 2. Effect of gamma irradiation dose, type of packaging and storage time on mass reduction of mushrooms

۲.۳. تغییرات قطر کلاهک

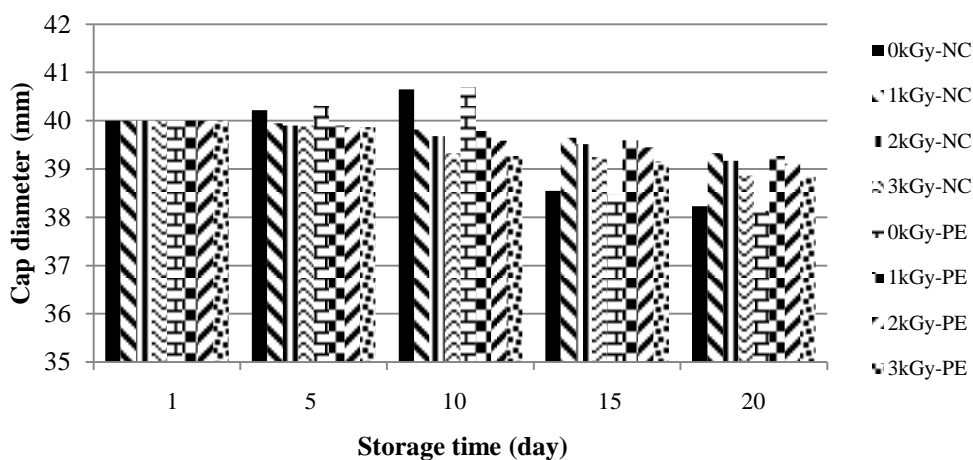
تغییرات قطر کلاهک قارچ در نمونه های شاهد در مقایسه با نمونه های پرتو دهی شده با اشعه گاما دارای تغییرات نوسانی بود (شکل ۳). در همه ی بسته ها از روز اول تا دهم نگهداری، قطر کلاهک نمونه ی پرتو دهی نشده با افزایش همراه بود و از روز دهم با شدت بیشتری نسبت به نمونه های پرتو دهی شده کاهش یافت (شکل ۴، الف). به طوری که قطر کلاهک در نمونه های پرتو دهی نشده از روز اول تا دهم در بسته بندی پلی اتیلن و نانو کامپوزیت به ترتیب از ۴۰ mm به ۴۰/۷۰ mm و ۴۰/۶۵ mm افزایش یافت و در روز آخر به ترتیب به ۳۸/۲۳ و ۳۸/۱۴ mm رسید. ولی در نمونه های پرتو دهی شده با دز ۱ و ۲ kGy میزان تغییرات قطر کلاهک با گذشت زمان تغییرات چندانی نداشت و همواره با شیب ملایمی کاهش یافت. به طوری که قطر کلاهک در نمونه های پرتو دهی شده با دز ۱ kGy در بسته بندی پلی اتیلن و نانو کامپوزیت به ترتیب از ۴۰ mm در روز اول به ۳۹/۲۷ و ۳۹/۳۳ در روز آخر رسید. این تغییرات برای نمونه های پرتو دهی شده با دز ۲ kGy به ترتیب از ۴۰ mm در روز اول به ۳۹/۱۷ و ۳۹/۱۱ در روز آخر بدست آمده است. همچنین، اختلاف بین تیمارها از روز پنجم در اثر اعمال دزهای مختلف معنی دار بود (جدول ۲). نتایج نشان می دهند که پرتو دهی محصول با دز مناسب باعث جلوگیری از باز شدن قطر کلاهک و فساد و زوال آن می شود. در حالیکه در

نمونه های پرتو دهی نشده، افزایش سریع قطر کلاهک محصول در روزهای اول نگهداری مشاهده شد و در روزهای بعد کاهش رطوبت و شروع فساد محصول باعث کاهش آن گردید. همچنین به ازای دز معین پرتو در هر زمان از نگهداری، در نمونه های بسته بندی شده از جنس نانو کامپوزیت تغییرات قطر کلاهک کمتر بود ولی اثر متقابل نوع بسته بندی و زمان نگهداری روی قطر کلاهک تا روز دهم معنی دار نبود (جدول ۳).

۳.۳. pH عصاره

با افزایش زمان نگهداری، pH عصاره در تمامی نمونه ها دارای تغییرات نوسانی بود. مقدار pH نمونه ی پرتو دهی نشده و پرتو دهی شده با دز ۳ kGy در هر دو نوع ماده بسته بندی از روز اول تا دهم افزایش و از روز دهم به بعد کاهش یافت (شکل ۵). به طوری که مقدار pH در نمونه های پرتو دهی نشده از روز اول تا دهم در بسته بندی پلی اتیلن و نانو کامپوزیت به ترتیب از ۶/۲ (در هر دو بسته) به ۶/۶۲ و ۶/۷۲ افزایش و در روز بیستم به ۶/۲۱ و ۶/۳۱ کاهش یافت. این نتایج برای نمونه های پرتو دهی شده در دز ۳ kGy از روز اول تا دهم به ترتیب از ۶/۱۶ و ۶/۱۸ به ۶/۶۰ و ۶/۲۲ افزایش یافته و در روز آخر به ۶/۳۵ و ۶/۴۴ رسیده است. به نظر می رسد با افزایش دز پرتو دهی به بالای ۲ kGy و در نتیجه ی آن آسیب به بافت گیاهی، میزان تنفس، کاهش قندها و

افزایش اسیدهای آلی رخ داده و باعث کاهش pH در دز ۳ kGy شده است.



شکل (۳) تأثیر دز پرتو دهی گاما، نوع ماده بسته‌بندی و مدت زمان انبارداری بر تغییرات قطر کلاهک قارچ خوراکی
 Fig 3. Effect of gamma irradiation dose, type of packaging and storage time on cap diameter of mushrooms



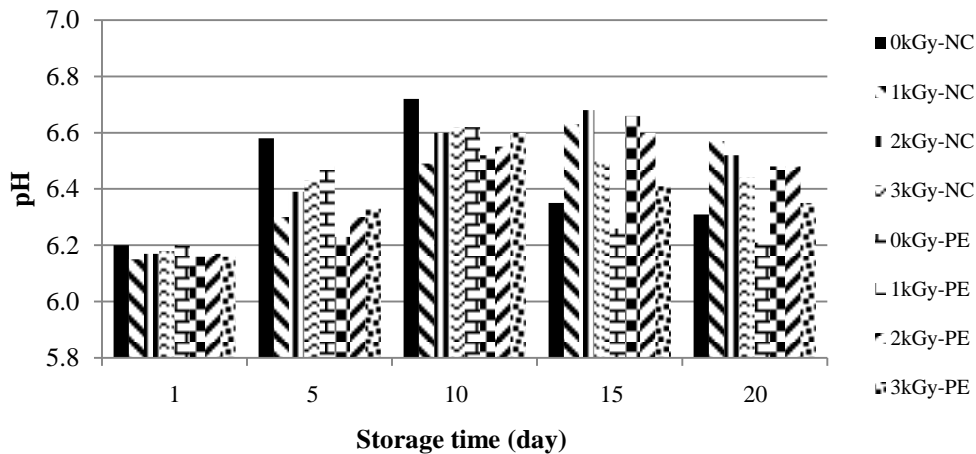
شکل (۴) نمونه‌های قارچ خوراکی در روز بیستم نگهداری در بسته‌بندی نانو کامپوزیت: الف) ۰kGy ب) ۳kGy ج) ۲kGy د) ۱kGy
 Fig 4. The samples of mushrooms on the 20th day of storage in nanocomposite packaging: a) 0kGy b) 3kGy c) 2kGy d) 1kGy

باکتری‌ها، کپک‌ها، فعالیت آنزیمی (عمدتاً پلی فنل اکسیداز) و تغییرات بیوشیمیایی می‌تواند باعث فساد نمونه‌های شاهد و در نتیجه تغییرات سریع اسیدیته در طول مدت نگهداری شوند [۲۴]. پرتو گاما قادر است با به تأخیر انداختن فرآیندهای فیزیولوژیکی، تغییرات اسیدیته را از طریق کاهش تنفس و افت رطوبت کنترل کند [۲۵]. مطابق نتایج به دست آمده، اختلاف میزان pH بین تیمارهای پرتو دهی شده از روز پنجم معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین در زمان‌ها و دزهای معین، مقدار pH عصاره نمونه‌های بسته‌بندی شده در نانو کامپوزیت بر پایه‌ی نانو امولسیون سیلیکونی بیشتر از

همچنین، در نمونه‌ی پرتو دهی نشده، شروع فساد و زوال محصول از روز دهم و پدید آمدن عوامل ذکر شده علت اصلی کاهش میزان pH از روز دهم بود. برای نمونه‌های پرتو دهی شده در دزهای ۱ و ۲ مقدار pH تا روز ۱۵ افزایش، سپس با کاهش بسیار جزئی همراه بود. به عبارت دیگر، مقدار pH نمونه‌های پرتو دیده در دزهای ۱ و ۲ در روز آخر نگهداری به طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌ی شاهد و نمونه‌ی پرتو دیده در دز ۳ kGy بود (به ترتیب ۶/۵۷ و ۶/۵۲ برای بسته بندی نانو کامپوزیت) که این تغییر نشانگر تأثیر دز مناسب در ایجاد تأخیر در رسیدگی محصول می‌باشد.

دز مناسب پرتو دهی ذکر شده بود. در تحقیقی دیگر مقادیر pH قارچ در همه‌ی تیمارها پس از ۱۲ روز نگهداری کاهش یافت [۱۶]. Oliveira و همکاران بر این اعتقادند که تولید اسید آلی توسط میکروارگانیسم‌ها عامل اصلی کاهش pH قارچ می‌باشد [۲۱].

بسته‌ی دیگر بود، ولی تأثیر نوع ماده بسته‌بندی تنها در روز دهم نگهداری بر میزان pH قارچ‌ها معنی‌دار بود (جدول ۳). Narvaiz گزارش کرد که مقدار اسیدیته‌ی قارچ خوراکی در نمونه‌ی شاهد و پرتو دهی شده با دز ۳ kGy تفاوت معنی داری نداشت [۲۶]. عامل اصلی این نتیجه، عدم استفاده از

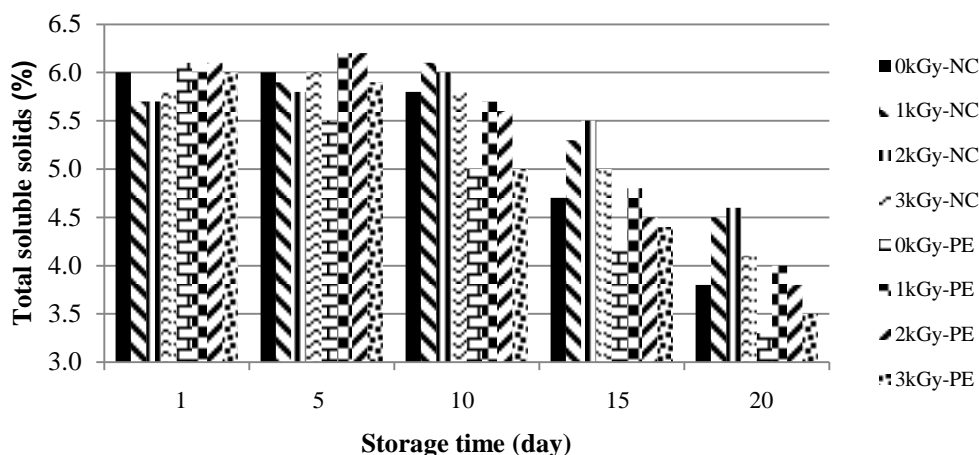


شکل (۵) تأثیر دز پرتو دهی گاما، نوع ماده بسته‌بندی و مدت زمان انبارداری بر pH قارچ خوراکی
Fig 5. Effect of gamma irradiation dose, type of packaging and storage time on pH of mushrooms

محلول نقش اساسی ایفا کرد، به طوری که بیشترین درصد مربوط به دزهای ۱ و ۲ kGy (به ترتیب ۴/۵ و ۴/۶٪) در این نوع بسته‌بندی بود. همچنین، اثر نوع ماده بسته‌بندی در همه‌ی روزهای نگهداری به غیر از روز پنجم بر میزان مواد جامد محلول معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش مواد جامد محلول در اکثر محصولات کشاورزی در طول رسیدن و نیز کاهش آن در محصولات بالغ به علت تنفس رخ می‌دهد. به نظر می‌رسد دز مناسب پرتو با حذف میکروارگانیسم‌های قارچ، رسیدگی آن را به تأخیر انداخته به همین دلیل میزان کاهش بریکس در دزهای ۱ و ۲ کمتر بوده است. در این تحقیق نمونه‌هایی که در دزهای ۱ و ۲ پرتو دهی و در بسته‌های نانویی قرار داشتند تا روز دهم با افزایش میزان مواد جامد محلول مواجه بودند و پس از آن تا روز آخر نگهداری میزان این شاخص کاهش یافت. نتایج مشابهی برای محصول آناناس تیمار شده با پرتوی فرابنفش [۲۷]، توت فرنگی [۲۸] و گوجه فرنگی [۲۲] گزارش شده است.

۴.۳ درصد مواد جامد محلول

میزان مواد جامد محلول در طول ۲۰ روز نگهداری با تیمارهای مختلف دارای نوسان بود، اما گروه‌های پرتو دهی شده نسبت به گروه شاهد در حفظ میزان مواد جامد محلول در طول زمان نگهداری مؤثر بودند (شکل ۶). با اینکه در روز آخر نگهداری میزان مواد جامد محلول کمتر از روز اول بود ولی در هر دو نوع ماده بسته‌بندی مورد استفاده، نمونه‌هایی که با دز ۱ و ۲ پرتو دهی شده بودند از میزان مواد جامد محلول بیشتری برخوردار بودند. به طوری که درصد مواد جامد محلول در نمونه‌های پرتو دهی نشده در بسته بندی پلی اتیلن و نانو کامپوزیت به ترتیب برابر ۳/۳ و ۳/۸٪ و در نمونه‌های پرتو دهی شده با دز ۱ و ۲ به ترتیب برابر ۴ و ۳/۸ درصد (بسته بندی پلی اتیلن) بود. همچنین اثر دز پرتو دهی از روز دهم بر میزان مواد جامد محلول نمونه‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). به ازای دز معین پرتو در روز آخر نگهداری، ماده بسته‌بندی نانویی در حفظ میزان مواد جامد

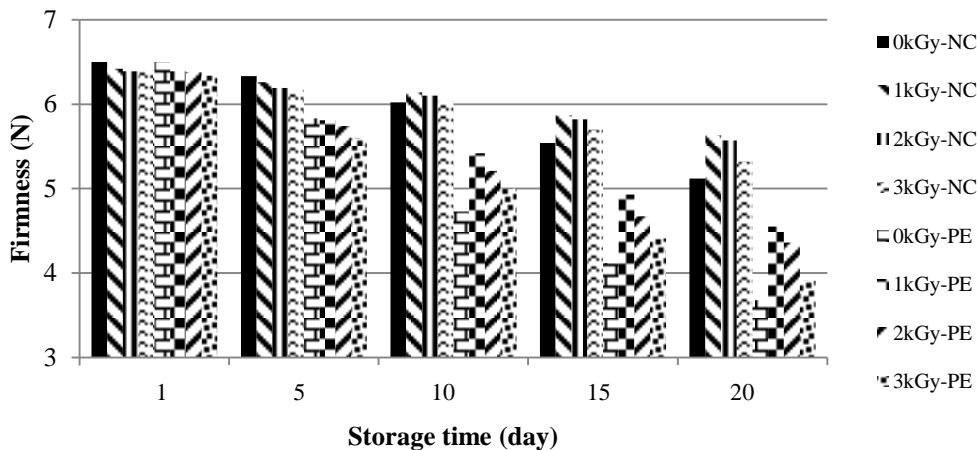


شکل (۶) تأثیر دز پرتو دهی گاما، نوع ماده بسته‌بندی و مدت زمان انبارداری بر مواد جامد محلول قارچ خوراکی
 Fig 6. Effect of gamma irradiation dose, type of packaging and storage time on total soluble solids of mushrooms

۵.۳. سفتی بافت

میزان سفتی بافت نمونه‌ها در طول دوره‌ی نگهداری به طور کلی روند کاهشی را طی کرد (شکل ۷). سفتی بافت نمونه‌های تیمار شده با اشعه‌ی گاما در مقایسه با نمونه‌های شاهد در طول دوره نگهداری بیشتر بود. در روز اول بعد از پرتو دهی، نمونه‌ی شاهد سفتی بیشتری نسبت به گروه پرتو دهی شده در هر دو نوع ماده بسته‌بندی داشت. ولی به تدریج از روز پنجم به بعد سفتی نمونه‌های پرتو دهی شده افزایش یافت (شکل ۷). به طوری که سفتی بافت نمونه‌های پرتو دهی نشده در بسته بندی پلی اتیلن و نانو کامپوزیت به ترتیب از $5/83$ N و $6/33$ در روز پنجم به $3/68$ N و $5/12$ در روز آخر رسید. در حالی که برای نمونه‌های پرتو دهی شده در دزهای 1 و 2 kGy به ترتیب از $5/83$ N و $5/74$ در روز پنجم به $4/55$ N و $4/36$ در روز آخر (بسته بندی پلی اتیلن) و از $6/26$ N و $6/19$ به $5/63$ N و $5/57$ (بسته بندی نانو کامپوزیت) رسید. نرمی بافت قارچ عمدتاً به خاطر تخریب پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها، شکستن واکوئل‌ها و گسترش فضای بین سلولی اتفاق می‌افتد [۲۹، ۳۰]. همچنین می‌تواند به دلیل فعالیت آنزیم‌های باکتریایی و افزایش فعالیت اتولیزین‌ها رخ دهد [۳۱]. به نظر می‌رسد دز مناسب پرتو گاما در جلوگیری از تخریب پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها و کاهش فعالیت‌های باکتریایی مؤثر واقع شده است. همچنین، میزان سفتی نمونه‌های تیمار شده با دز

3 kGy کمتر از 1 و 2 kGy بود. به طوری که سفتی بافت نمونه‌های پرتو دهی شده در دز 3 kGy در بسته بندی پلی اتیلن و نانو کامپوزیت در روز آخر نگهداری به ترتیب $3/91$ و $5/32$ بود. قدرت اشعه‌ی گاما در دز بالاتر از 2 kGy در تخریب دیواره‌ی سلولی قارچ مؤثر واقع شده و باعث کاهش سفتی در طول مدت نگهداری شده است (شکل ۴، ب). همچنین به ازای دز معین پرتو در هر زمان از نگهداری، سفتی بافت نمونه‌ها در بسته‌بندی نانویی بیشتر از بسته‌بندی پلی اتیلنی بود. بنابراین، نمونه‌های پرتو دهی شده با دز 1 kGy در بسته‌بندی نانویی و نمونه‌های شاهد در بسته‌بندی پلی اتیلنی به ترتیب بیشترین ($5/63$ N) و کمترین ($3/68$ N) سفتی را به خود اختصاص دادند. اثر متقابل نوع بسته و زمان نگهداری از روز پنجم بر میزان سفتی بافت معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مشابهی برای قارچ در 7 و 12 روز نگهداری [۲۲] همچنین 8 روز نگهداری در بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح شده [۱۷] گزارش شده است که در همه‌ی آن‌ها با گذشت زمان، بافت محصول نرم‌تر شده است. همچنین در بسیاری از مطالعات انجام شده، پرتو دهی با اشعه‌ی گاما تأثیری روی نرم شدن بافت قارچ نداشته است [۲۴، ۳۲]. Xiong و همکاران گزارش کردند که پرتو گاما باعث استحکام بافت یک نوع قارچ و تأخیر در نرم شدن آن می‌شود [۳۳].

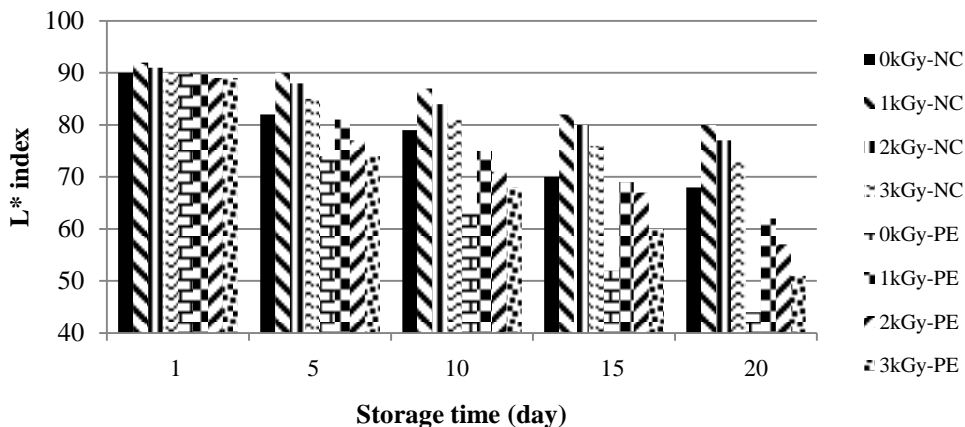


شکل (۷) تأثیر دز پرتو دهی گاما، نوع ماده بسته بندی و مدت زمان انبارداری بر میزان سفتی قارچ خوراکی
 Fig 7. Effect of gamma irradiation dose, type of packaging and storage time on firmness of mushrooms

استفاده از پوشش مناسب و پرتو دهی در دزهای کمتر از ۱ kGy می باشد. همچنین از روز پنجم به بعد، اختلاف بین تیمارهای دز پرتو دهی بر میزان روشنایی معنی دار بود (جدول ۲). صحت این مطلب در شکل (۸) قابل مشاهده است. به طوری که میزان روشنایی در روز پنجم برای نمونه های پرتو دهی نشده که در بسته بندی پلی اتیلنی قرار داشتند برابر ۷۴ و برای نمونه های پرتو دهی شده در دز ۱ kGy که در بسته بندی نانو قرار داشتند برابر ۹۰ بود که این امر نشان می دهد اختلاف معنی داری بین تیمارها در روز پنجم و روزهای بعد از نظر میزان روشنایی وجود دارد. نتیجه ای مشابهی به ازای نوع مواد بسته بندی بر میزان روشنایی محصول در جدول (۳) آورده شده است. به ازای دز معین پرتو در هر زمان از نگهداری، میزان روشنایی (شاخص L^*) نمونه ها در بسته بندی نانوئی بیشتر از بسته ی پلی اتیلنی بود. حفظ رطوبت بیشتر و کاهش ورود اکسیژن و خروج دی اکسید کربن در بسته های نانو سبب حفظ ویژگی های ظاهری قارچ از جمله رنگ آن در مدت زمان نگهداری شده است. تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین نشان داد که با افزایش زمان نگهداری قارچ خوراکی دکمه ای، شاخص L^* در گروه های شاهد و تیمار شده همواره کاهش یافته است [۳۷،۱].

۶.۳. میزان روشنایی (شاخص L^*)

همان گونه که در شکل (۸) نشان داده شده با افزایش زمان نگهداری، میزان روشنایی (شاخص L^*) در تمامی دزها کاهش یافت و میزان این کاهش در هر زمان برای نمونه ی شاهد بیشتر از گروه پرتو دهی شده بود. به طوری که میزان روشنایی نمونه های پرتو دهی نشده در بسته بندی پلی اتیلن و نانو کامپوزیت در روز آخر نگهداری به ترتیب برابر ۴۴ و ۶۸ بود. این نتیجه برای نمونه های پرتو دهی شده در دزهای ۱، ۲ و ۳ kGy به ترتیب برابر ۶۲، ۵۷ و ۵۱ برای بسته بندی پلی اتیلن و ۸۰، ۷۷ و ۷۳ برای بسته بندی نانو کامپوزیت بدست آمده است. به نظر می رسد دز مناسب پرتو با حذف میکروارگانیزم های قارچ باعث افزایش ماندگاری آن گردیده، بنابراین میزان این شاخص در نمونه های پرتو دهی شده بیشتر بوده است (شکل ۴، ج و د). همچنین فعالیت آنزیم هایی مانند پلی فنل اکسیداز، فنیل آلانین آمونیاک لیاز و پراکسیداز باعث توسعه ی رنگدانه های قهوه ای رنگ می شود که در صورت پرتو دهی محصول قارچ این تغییرات به تعویق می افتد [۳۴]. این مطلب شامل باکتری سودوموناس تولاسی به عنوان جزئی طبیعی از باکتری های موجود در قارچ هم می شود [۳۵]. این نتیجه با یافته های Fernandes و همکاران برای یک نوع قارچ خوراکی وحشی متفاوت است [۳۶]. احتمالاً عامل اصلی این تفاوت در تحقیق ذکر شده، عدم



شکل (۸) تأثیر دز پرتو دهی گاما، نوع ماده بسته‌بندی و مدت زمان انبارداری بر شاخص L^* قارچ خوراکی
Fig 8. Effect of gamma irradiation dose, type of packaging and storage time on L^* index of mushrooms

۴. نتیجه‌گیری

شده بجز سفتی بافت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. به نظر می‌رسد استفاده از دز مناسب پرتو با حذف میکروارگانسیم‌های موجود در قارچ و تأخیر در عمل فیزیولوژیکی باعث افزایش ماندگاری آن گردیده و استفاده از بسته‌بندی‌های نانو کامپوزیتی علاوه بر زیست تخریب‌پذیر بودن، باعث حفظ رطوبت بیشتر و کاهش ورود اکسیژن و خروج دی‌اکسید کربن در محصول شده است. لذا، برای افزایش ماندگاری قارچ خوراکی که در حالت معمول ۱-۳ روز در شرایط خاص می‌باشد، پیشنهاد می‌شود قبل از ورود این محصول به بازار تکنولوژی‌های جدید همچون پرتو دهی در دز مناسب (۱ و ۲ kGy) و استفاده از بسته‌بندی‌های نانو کامپوزیتی جایگزین روش‌هایی نظیر بلانچینگ و بسته‌بندی‌های نامناسب همچون سلوفان گردد.

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که در طی ۲۰ روز نگهداری در تمامی تیمارها، جرم نمونه‌های قارچ، قطر کلاهک، pH، درصد مواد جامد محلول، سفتی بافت و شاخص L^* روند کاهشی داشتند و میزان این کاهش در نمونه‌هایی که تحت تیمار پرتو دهی و در بسته‌بندی نانو کامپوزیتی بر پایه‌ی نانو امولسیون سیلیکونی قرار داشتند کمتر بود. به طوری که میزان تغییرات پارامترها نسبت به روز اول در نمونه‌های پرتو دهی شده در دز ۱ kGy و بسته بندی نانو کامپوزیت برای پارامترهای اشاره شده به ترتیب ۱۰/۵٪، ۰/۶۷، ۰/۴۲، ۰/۱۲٪، ۰/۷۹ و ۱۲٪، همچنین در نمونه‌های پرتو دهی نشده که در بسته بندی پلی اتیلن قرار داشتند به ترتیب ۲۳/۶۵٪، ۱/۸۶، ۰/۰۱، ۰/۲۸٪، N و ۲/۸۲ و ۴۶ بدست آمده است. همچنین، اثر متقابل دز پرتو دهی و نوع ماده بسته‌بندی در همه‌ی خواص اندازه‌گیری

منابع

- [1] Canton, H. (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations—FAO. In: *The Europa Directory of International Organizations 2021*.
- [2] Singh, P., Langowski, H. C., Wani, A. A., & Saengerlaub, S. (2010). Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus* mushrooms: a review. *J. Sci. Food Agric.*, 90(9), 1393-1402.
- [3] Akram, K., & Kwon, J. H. (2010). Food irradiation for mushrooms: a review. *Korean J Food Sci Technol*, 53(3), 257-265.
- [4] Jamshidi, M. (2012). Effect of gamma irradiation and microwave on antioxidant and antimicrobial activities of *cinnamum zeylanicum*, *hyssopus officinalis* and *echinacea purpurea*. M.Sc. dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. [In Persian]

- [5] Lester, G. E., Hallman, G. J. & Perez, J. A. (2010). γ -Irradiation dose: effects on baby-leaf spinach ascorbic acid, carotenoids, folate, α -tocopherol, and phyloquinone concentrations. *J. Agric. Food. Chem.*, 58(8), 4901-4906.
- [6] Mortazavi, A., Motamedzadegan, A., & Ziyaolhag, H. (2007). Non-thermal methods of food storage (Translation). (pp. 387). Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian]
- [7] Harder, M. N. C., Arthur, V., & Arthur, P. B. (2016). Irradiation of Foods: Processing technology and effects on nutrients: effect of ionizing radiation on food components encyclopedia of food and health. (pp. 476-481).
- [8] Raeisi, M., Razdari, M. A., & Ebrahimi, R. (2014). A Study of gamma irradiation method on storage apple. 21th National Congress of Food Science and Technology, Shiraz University, Shiraz, Iran. [In Persian]
- [9] Conte, A., Cappelletti, G., Nicoletti, G., Russo, C., & Del Nobile, M. (2015). Environmental implications of food loss probability in packaging design. *Food Res. Int.*, 78, 11-17.
- [10] Kumar, P., Sandeep, K., Alavi, S., Truong, V. D., & Gorga, R. (2010). Preparation and characterization of bio-nanocomposite films based on soy protein isolate and montmorillonite using melt extrusion. *J. Food Eng.*, 100(3), 480-489.
- [11] Jouki, M., & Khazaei, N. (2014). Effect of low-dose gamma irradiation and active equilibrium modified atmosphere packaging on shelf life extension of fresh strawberry fruits. *Food Packag. Shelf Life.*, 1, 49-55.
- [12] Rivera, C.S., Blanco, D., Marco, P., Oria, R., & Venturini, M. A. E. (2011). Effects of electron-beam irradiation on the shelf life, microbial populations and sensory characteristics of summer truffles (*Tuber aestivum*) packaged under modified atmospheres. *Food Microbiol.*, 28(1), 141-148.
- [13] Fernandes, A., Barreira, J. O. C., Antonio, A. L., Oliveira, M. B. P., Martins, A., & Ferreira, I. C. (2016). Extended use of gamma irradiation in wild mushrooms conservation: validation of 2 kGy dose to preserve their chemical characteristics. *LWT Food Sci. Technol.*, 67, 99-105.
- [14] Fernandes, A., Barreira, J. C., Gunaydi, T., Alkan, H., Antonio, A. L., Oliveira, M. B. P., & Ferreira, I. C. (2017). Effect of gamma irradiation and extended storage on selected chemical constituents and antioxidant activities of sliced mushroom. *Food Control.*, 72, 328-337.
- [15] Caleb, O. J., Opara, U. L., Mahajan, P. V., Manley, M., Mokwena, L., & Tredoux, A. G. (2013). Effect of modified atmosphere packaging and storage temperature on volatile composition and postharvest life of minimally-processed pomegranate arils (cvs. 'Acco' and 'Herskowitz'). *Postharvest Biol. Technol.*, 79, 54-61.
- [16] Aday, M. S. (2016). Application of electrolyzed water for improving postharvest quality of mushroom. *LWT Food Sci. Technol.*, 68, 44-51.
- [17] Dhalsamant, K., Dash, S. K., Bal, L. M., & Panda, M. K. (2015). Effect of perforation mediated MAP on shelf life of mushroom (*Volvariella volvacea*). *Sci. Hort.*, 189, 41-50.
- [18] Amami, E., Khezami, W., Mezrigui, S., Badwaik, L. S., Bejar, A. K., Perez, C. T., & Kechaou, N. (2017). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of strawberry. *Ultrason. Sonochem.*, 36, 286-300.
- [19] Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., & Leon, J. (2006). Color measurement in L* a* b* units from RGB digital images. *Food Res. Int.*, 39(10), 1084-1091.
- [20] Montanez, J. C. Rodriguez, F. A., Mahajan, P. V., & Frias, J. M. (2010). Modelling the gas exchange rate in perforation-mediated modified atmosphere packaging: Effect of the external air movement and tube dimensions. *J. Food Eng.*, 97(1), 79-86.
- [21] Oliveira, F., Sousa-Gallagher, M., Mahajan, P., & Teixeira, J. (2012). Evaluation of MAP engineering design parameters on quality of fresh-sliced mushrooms. *J. Food Eng.*, 108(4), 507-514.
- [22] Oliveira, F., Sousa-Gallagher, M., Mahajan, P., & Teixeira, J. (2012). Development of shelf-life kinetic model for modified atmosphere packaging of fresh sliced mushrooms. *J. Food Eng.*, 111, 466-473.
- [23] Taghizadeh, M., Gowen, A., Ward, P., & O'Donnell, C. P. (2010). Use of hyperspectral imaging for evaluation of the shelf-life of fresh white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored in different packaging films. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.*, 11(3), 423-431.
- [24] Jiang, T., Luo, S., Chen, Q., Shen, L., & Ying, T. (2010). Effect of integrated application of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on physicochemical and microbiological properties of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Food Chem.*, 122(3), 761-767.
- [25] Ajlouni, S., Beelmen, R., & Thompson, D. (1996). Influence of gamma irradiation on quality characteristic, sugar content, and respiration rate of mushrooms during post harvest storage. *Aalam Al-Zarra*, 89-95.
- [26] Narvaiz, P. (1994). Some physicochemical measurements on mushrooms (*Agaricus campestris*) irradiated to extend shelf-life. *LWT Food Sci. Technol.*, 27(1), 7-10.

- [27] Sari, L. K., Seta, S., & Naradisorn, M. (2016). Effect of UV-C irradiation on postharvest quality of 'Phulae'pineapple. *Sci. Hortic.*, 213, 314-320.
- [28] Cote, S., Rodoni, L., Miceli, E., Concell, A. A., Civello, P. M., & Vicente, A. R. (2013). Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments. *Postharvest Biol. Technol.*, 83, 83-89.
- [29] Eskin, N., & Robinson, D. (2000). *Biotechnology to improve shelf life and quality traits of foods. Food Shelf Life Stability: Chemical, Biochemical, and Microbiological Changes*. CRC Press.
- [30] Gimenez, M., Olarte, C., Sanz, S., Lomas, C., Echavarri, J., & Ayala, F. (2003). Influence of packaging films on the sensory and microbiological evolution of minimally processed borage (*Borrigo officinalis*). *J. Food Sci.*, 68(3), 1051-1058.
- [31] Zivanovic, S., Busher, R., & Kim, K. (2000). Textural changes in mushrooms (*Agaricus bisporus*) associated with tissue ultrastructure and composition. *J. Food Sci.*, 65(8), 1404-1408.
- [32] Xing, Z., Wang, Y., Feng, Z., Zhao, Z., & Liu, X. (2007). Effect of 60 Co-irradiation on postharvest quality and selected enzyme activities of *Hypsizygus marmoreus* fruit bodies. *J. Agric. Food. Chem.*, 55(20), 8126-8132.
- [33] Xiong, Q. L., Xing, Z. T., Feng, Z., Tan, Q., & Bian, Y. b. (2009). Effect of 60Co γ -irradiation on postharvest quality and selected enzyme activities of *Pleurotus nebrodensis*. *LWT Food Sci. Technol.*, 42(1), 157-161.
- [34] Benoit, M., D'Aprano, G., & Lacroix, M. (2000). Effect of γ -irradiation on phenylalanine ammonia-lyase activity, total phenolic content, and respiration of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *J. Agric. Food. Chem.*, 48(12), 6312-6316.
- [35] Beaulieu, M., D'Aprano, G., & Lacroix, M. (2002). Effect of dose rate of gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushrooms *Agaricus bisporus*. *Radiat. Phys. Chem.*, 63(3), 311-315.
- [36] Fernandes, A., Antonio, A. L., Barreira, J. C., Oliveira, M. B. P., Martins, A., & Ferreira, I. C. (2012). Effects of gamma irradiation on physical parameters of *Lactarius deliciosus* Wild edible mushrooms. *Postharvest Biol. Technol.*, 74, 79-84.
- [37] Khan, Z. U., Aisikaer, G., Khan, R. U., Bu, J., Jiang, Z., Ni, Z., & Ying, T. (2014). Effects of composite chemical pretreatment on maintaining quality in button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.*, 95, 36-41.

Research Article
Effect of Gamma Irradiation and Different Packagings on the Shelf Life of Edible Mushrooms (*Agaricus bisporus*)

Ehsan Fartash Naeimi¹, Mohammad Hadi Khoshtaghaza^{2*}, Soleiman Abbasi³

1. Former MSc student, Department of Mechanical and Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University

2. Professor, Department of Mechanical and Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University

3. Professor, Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University

Abstract

This study was conducted to evaluate the influence of gamma irradiation doses and type of packaging materials on the shelf life of edible button mushroom (*Agaricus bisporus*). To do so, the fresh mushrooms were packed in two different packages: (polyethylene and nanocomposite) and immediately irradiated (0, 1, 2 and 3 kGy) then stored (2–3°C). The effect of these parameters on some qualitative characteristics of mushrooms (mass reduction, cap diameter, pH, total soluble solids, firmness, and L^* index) during storage (1, 5, 10, 15 and 20 days after irradiation) was evaluated. Our findings showed that the mutual interaction of irradiation dose and packaging material, also irradiation dose and storage time were significant ($p < 0.01$) in all measured properties except firmness. It can be concluded that using proper doses of irradiation (1-2 kGy) and appropriate packaging material (nanocomposite) could significantly increase the shelf life of edible button mushrooms for 20 days.

Keywords: Polyethylene, Mushroom, Nanocomposite, Qualitative characteristics

* Corresponding author: khoshtag@modares.ac.ir