مجموعه مقالات
چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹٤، پژوهشکده کشاورزی هسته ای)
The 4th National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

اثر پرتودهی بر مواد بسته‌بندی محصولات غذایی

غلامرضا مصباحی
عضو هیأت علمی بخش علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
E-mail: mesbahi@shirazu.ac.ir

چکیده: انرژی تشعشعی به صورت گسترده‌ای برای پرتودهی مواد غذایی و استریل‌کردن فرآورده‌های پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به علاوه کاربرد پرتودهی به عنوان روشی پذیرفته شده برای استریل کردن مواد بسته‌بندی محصولات غذایی و دارویی مطرح شده است. بنابراین، اثر پرتودهی بر مواد بسته‌بندی در فرآیند تولید محصولات غذایی و دارویی اهمیت زیادی دارد. پدیدآمدن مواد در اثر پرتودهی، مهاجرت ذرات، تغییر در خصوصیات حسی و تغییر در خصوصیات مکانیکی مواد بسته‌بندی به شدت می‌تواند کیفیت محصولات بسته‌بندی شده و سلامت مصرف‌کنندگان را تحت تأثیر قرار دهد. در این مقاله برخی از مطالعات و تحقیقات سایر محققان در زمینه اثر اشعه‌های یونیزه کننده بر مواد بسته‌بندی پلی‌مری و سینتتیک اصلی مانند پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن ترفتالات، پلی استیرن و پلی ونیل کلرید مرور شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که مواد بسته‌بندی مانند پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌ونیل کلرید مقاومت کمتری در برابر اشعه‌های یونیزه کننده در مقایسه با پلی استیرن و پلی اتیلن ترفتالات دارند.

واژه‌های کلیدی: پرتودهی، مواد بسته‌بندی، پلی‌مرهای مصنوعی، ترکیبات حاصل از پرتودهی، مهاجرت.

The impact of irradiation on food packaging materials

Gholamreza Mesbahi
Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University
E-mail: mesbahi@shirazu.ac.ir

Abstract: Radiant energy is widely used for food irradiation and medical products sterilization. Moreover, the use of irradiation has become an accepted method to sterilize packing materials of foods and pharmaceuticals. Therefore, the effect of irradiation on the packaging materials is crucial for food and medical products processing. Radiolysis products formation, migration, sensory changes and mechanical properties changes of packaging materials strongly affect the quality of packaged goods and consumer safety. In this paper some studies and investigations of other researchers about the effect of ionizing radiations on major synthetic and polymeric packing materials such as polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyethylene terephthalate (PET), polystyrene (PS) and polyvinylchloride (PVC) are reviewed. The obtained results were indicated that the packaging materials such as PE, PP, and PVC are less resistant to ionizing radiations than PS and PET.

Keywords: Irradiation, Packaging materials, Synthetic polymers, Radiolysis products, Migration

مقدمه

فرایند پرتودهی[۱] امروزه در سطح وسیعی با اهداف مختلف برای محصولات دارویی و غذایی کاربرد دارد. بویژه در زمینه استریل کردن مواد بسته‌بندی، پرتودهی به عنوان یک تیمار استاندارد[۲] در فرآیندهای اسپتیک[۳] (کاملاً استریل) محصولات غذایی و دارویی، پذیرفته شده است. پلاستیک‌های طبیعی و مصنوعی از جمله مواد بسته‌بندی برای غذاها به حساب می‌آیند که تأثیر اشعه بر آنها از مسائل مهم مورد توجه در بسته‌بندی و صنایع غذایی است [۱ و ۲].

اشعه‌دهی با اشعه‌های یونیزه (اشعه گاما[۴]، اشعه الکترونی[۵]) به عنوان روشی برای نگهداری مواد غذایی مطرح است و جزء روش‌های نگهداری غیرحرارتی[۶] برای غذا طبقه‌بندی می‌شود[۳]، زیرا عملیات از بین بردن میکروارگانیسم‌ها در غذا، در دمای محیط انجام شده، لذا صدمات حرارتی به غذا وارد نمی‌شود. این فناوری تحت عنوان استریلیزاسیون سرد[۷] یا پاستوریزاسیون سرد[۸] با مقادیر مختلف اشعه (دوز) به شیوه موفقیت‌آمیزی برای نگهداری غذاهایی مانند مرغ، گوشت قرمز، ماهی و میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده شده است. برخی از کارخانه‌های تولید محصولات لبنی (خامه، کره)، محصولات غذایی فرآیند شده (سس‌ها، محصولات گوشتی ،آوری شده)، ژل های میوه ای، نوشیدنی ها (آب میوه ها) از جمله کارخانه هایی هستند که ممکن است مواد بسته‌بندی را قبل از پرکردن محصول در آنها، با اشعه‌دهی استریل کنند[۳]. البته در مواردی هم، ممکن است که پس از بسته‌بندی، محصول و بسته‌بندی را به صورت همزمان و با هم توسط اشعه‌دهی، استریل می‌کنند. یعنی غذا ابتدا بسته‌بندی شده و سپس اشعه‌دهی می‌شود، تا دچار آلودگی پس از فرآیند نشود، لذا تأثیر احتمالی اشعه‌دهی بر مواد بسته‌بندی موضوع پراهمیتی است[۴].

از عمده‌ترین تغییراتی که در پلی‌مرهای مورد استفاده برای بسته‌بندی، پس از قرار گرفتن در معرض اشعه‌های یونیزه کننده ممکن است بروز کند، شامل:

- بروز برش و شکستگی و نیز اتصالات عرضی در زنجیره پلی‌مری

[۱] Radiation processing, irradiation

[۲] Standard treatment

[۳] Aseptic processing

[۴] γ-radiation

[۵] Electron beam

[۶] Non-Thermal technology

[۷] Cold sterilization

[۸] Cold pasteurization

- تولید مواد گازی و محصولات حاصل از تجزیه در اثر اشعه[۱] به صورت مواد فرار با وزن مولکولی کم

- پدیدآمدن اتصالات غیراشباع[۲]، رادیکال‌های آزاد[۳] و محصولات حاصل از اکسیداسیون در حضور اکسیژن

در سالهای اخیر بخش عمده‌ای از تحقیقات، بررسی مواد بسته‌بندی به قابلیت مهاجرت مونومری‌های باقی‌مانده، مواد افزودنی به پلاستیک‌ها، پلاستیسیزرها[۴] (نرم‌کننده‌ها)، ثبات‌دهنده‌ها[۵]، مواد ضد اکسیداسیون از مواد بسته‌بندی به مواد غذایی اختصاص یافته است [۴].

بروز تغییر در مواد پلی‌مری از دو راه مشخص می‌شود: ۱- بر اساس افزایش ایجاد شده در وزن ملکولی (برای مثال در اثر پدیدآمدن اتصالات عرضی[۶] بین رشته‌های پلی‌مری) ۲- بر اساس کاهش ایجاد شده در وزن مولکولی (برای مثال در اثر برش پدیدآمده در زنجیره پلی‌مری و تجزیه آن) [۱].

مقدار مواد غذایی که در دنیا از اشعه‌دهی برای فرآیند آن برای اهداف مختلف استفاده شد، در سال ۲۰۰۵ ، بیش از ۴۰۰ هزار تن تخمین زده شده است که حدود ۴۶ درصد مربوط به ضدعفونی کردن و حشره‌زدایی ادویه‌ها و سبزی‌های خشک، حدود ۲۰ درصد مربوط به ضدعفونی کردن و حشره‌زدایی دانه‌ها و میوه‌ها، حدود ۸ درصد برای از بین بردن آلودگی و ضدعفونی کردن گوشت قرمز و ماهی، حدود ۲۲ درصد برای جلوگیری کردن از جوانه‌زدن[۷] سیر و سیب‌زمینی و بقیه (حدود ۴ درصد) برای سایر موادغذایی بوده است [۵ و ۶]. در سال‌های اخیر کاربرد فناوری اشعه‌دهی به صورت تکنولوژی ترکیبی[۸] مطرح شده است که سبب رسیدن به هدف افزایش عمر ماندگاری محصولات غذایی، با استفاده از دوزهای پایین‌تر اشعه، می‌شودکه برای مثال به استفاده از ترکیب اشعه‌دهی و بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح شده (MAP)[۹] برای محصولات غذایی می توان اشاره کرد[۷]. پلاستیک‌هایی مانند پلی‌اتیلن (PE)[۱۰] ، پلی‌پروپیلن (PP)[۱] و پلی استیرن (PS)[۲] که کاربرد گسترده‌ای در

[۱] Radiolysis products

[۲] Unsaturated bonds

[۳] Free radical

[۴] Plasticizers

[۵] Stabilizers

[۶] Cross link

[۷] Sporout inhibition

[۸] Hurdle technology

[۹] Modified atmosphere packaging

[۱۰] Polyethylene

بسته‌بندی مواد غذایی دارند، در ضمن فرآیند پرتودهی دچار پدیده اتصالات عرضی می‌شوند. بروز اتصالات عرضی ساختار پلی‌مری پلاستیک‌های مذکور را تحت تأثیر قرار می‌دهد، از جمله کاهش درصد افزایش طول[۳](%E)، کاهش حالت کریستالی، کاهش حلالیت، همچنین افزایش استحکام کششی[۴](TS) پلی‌مر[۱]. در اینجا مثال‌هایی از تأثیر پرتوها بر برخی از مواد بسته‌بندی عمده و پر کاربرد در بسته بندی محصولات غذایی که توسط برخی محققین انجام شده، مرور می‌شود.

اثر اشعه‌دهی بر ماده بسته بندی پلی‌اتیلن

نتایج تحقیقی[۸] نشان داد که چنانچه فیلم دو لایه LDPE/PA (پلی‌آمید/پلی‌اتیلن با دانسیته کم) در معرض اشعه یونیزه کننده تا حد kGy ۱۰ قرار گیرد، در ساختار فیلم تغییری حاصل نمی‌شود. البته در صورتی که اشعه‌دهی تا حد kGy ۲۰ صورت گیرد، تغییراتی را در گروه‌های فعال مربوط به trans-cinnamaldehye پدید می‌آورد. در تحقیق دیگری [۹] اثر اشعه‌دهی با دوزهای مختلف بر فیلم‌های بسته‌بندی LDPE/PA که حاوی مواد ضد میکروبی مختلف شامل سوربیک اسید[۵]، تیمول[۶] بودند، بررسی شد و تأثیر اشعه بر خواص مکانیکی فیلم مانند درصد افزایش طول (E%) و استحکام کششی (TS) مشخص گردید (شکل۱). ملاحظه می‌شود که در فیلم حاوی تیمول با افزایش دوز اشعه‌دهی، درصد افزایش طول (E%) بیشتر می شود.

در تحقیق دیگری[۱۰] دو ترکیب ضد اکسیداسیون[۷] شامل tris-(2,4-di-tert-butylphenyl) phosphite و octadecyl-3-(3,5-di-tert-4-hydroxyphenyl) propionate را در ساختار فیلم بسته‌بندی از جنس پلی‌اتیلن با دانسیته کم خطی[۸] (LLDPE) وارد کرده و یک بسته‌بندی با خواص ضد اکسیداسیون تهیه کردند، سپس آنرا به شکل کیسه برای بسته‌بندی غذا بکار بردند و در مرحله بعد بسته‌ها تحت تأثیر اشعه گاما (γ) با دوز kGy ۲۰۰-۰ قرار داده شد. نتایج حاصل از این تحقیق مشخص کرد که پدیده مهاجرت[۹] مواد ضد اکسیداسیون مذکور از بسته‌بندی به غذا، با افزایش دوز اشعه، افزایش نمی‌یابد.

---

[۱] Polypropylene

[۲] Polystyrene

[۳] Elongation

[۴] Tensile strength

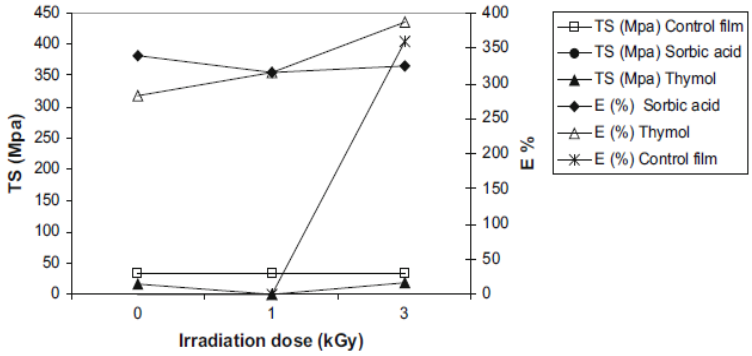
[۵] Sorbic acid

[۶] Thymol

[۷] Antioxidant

[۸] Linear low density polyethylene

[۹] Migration



شکل ۱- تأثیر اشعه یونیزه کننده و دوز آن بر خصوصیات مکانیکی (درصد افزایش طول (E%) و استحکام کششی (TS)) فیلم بسته بندی دو لایه LDPE/PA

اثر اشعه‌دهی بر ماده بسته‌بندی پلی استیرن

ماده بسته بندی پلی استیرن در ایران برای ظروف مورد استفاده در بسته بندی محصولات لبنی و همچنین تهیه ظروف یکبار مصرف، کاربرد فراوانی دارد. تحقیقات انجام شده[۱۱] نشان داده است که وقتی ماده بسته بندی پلی استیرن در معرض اشعه‌دهی با دوز پایین تا حد kGy ۱۰ قرار می‌گیرد، باقی‌مانده مونومری آن (استیرن) از مقدار ppm ۷۴۲ به ppm ۸۲۸ افزایش می‌یابد، در حالی که در دوزهای بالاتر اشعه‌دهی، باقی‌مانده استیرن به ppm ۷۳ کاهش می‌یابد. حضور گروه‌های اروماتیک[۱] در پلی‌استیرن، مقاومت و ثبات این ماده بسته‌بندی را در برابر اشعه‌دهی افزایش می‌دهد.

ماده بسته‌بندی پلی استیرن در مقایسه با پلی الفین‌ها[۲] (پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن) ثبات بیشتری در برابر اشعه‌دهی از خود نشان می‌دهد و مواد و محصولات حاصل از تجزیه و هیدرولیز توسط پرتودهی[۳]، تنها در حد اندکی در آن پدید می‌آید [۱].

اثر اشعه‌دهی بر ماده بسته‌بندی پلی پروپیلن

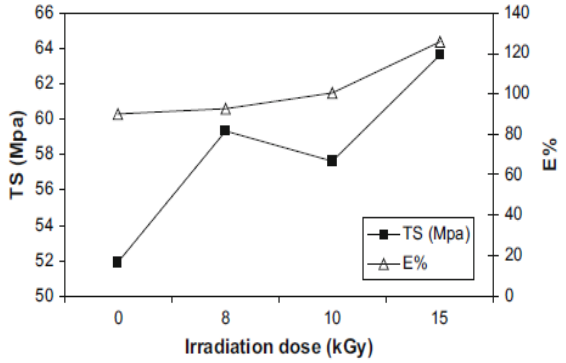
در تحقیقی[۱۲] گزارش شد که کاربرد اشعه با دوز kGy ۱۵-۰ بر فیلم مرکب پلی پروپیلن[۱] (BDPP/CPP) تغییری در استحکام کششی (TS) فیلم مذکور ایجاد نمی‌کند (شکل۲). همچنین از طرف این محققین بیان شد که تا دوز kGy ۱۰ تغییر

[۱] Aromatic groups

[۲] Polyolefines

[۳] Radiolysis products

معنی‌داری در درصد افزایش طول (E%) فیلم پلی‌پروپیلن رخ نمی‌دهد، اما اشعه‌دهی تا ۱۵ kGy سبب افزایش درصد افزایش طول فیلم تا حدود ۴۰ درصد نسبت به نمونه‌های کنترل می گردد (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر اشعه‌دهی بر استحکام کششی (TS) و درصد افزایش طول (E%) فیلم مرکب پلی پروپیلن (BOPP/CPP).

در پژوهشی، تأثیر اشعه گاما بر فیلم تجاری پلی‌پروپیلن که به صورت تک‌لایه[۲] و چند لایه[۳] برای بسته غذاهای قابل اتوکلاوکردن[۴] بکار رفته بود، مورد بررسی قرار گرفت [۱۳]. پلی‌پروپیلن مقاومت حرارتی خوبی دارد، لذا می‌توان از آن در بسته‌بندی‌های قابل اتوکلاوکردن استفاده کرد. در این تحقیق از دستگاه FTIR[۵] برای بررسی تغییرات پدید آمده در فیلم بسته بندی استفاده شد. اشعه‌دهی در دوزهای ۲/۵-۱۰ kGy صورت گرفت. نتایج نشان داد که اشعه‌دهی خصوصیات کیفی مکانیکی مانند استحکام کششی و درصد افزایش طول مواد بسته‌بندی مذکور را کاهش داد، در حالی که در عبورپذیری فیلم‌ها در برابر اکسیژن تغییر معنی‌داری حادث نشد. فیلم‌های چند لایه کوپلی‌مری مورد بررسی شامل PP/Nylon6/PP و PET/PP بودند که پس از اشعه‌دهی لایه Nylon 6 تغییر رنگ داده و متمایل به زرد شده. طیف‌های بدست آمده از دستگاه FTIR مربوط به ماده بسته‌بندی چند لایه PP/Nylon 6/PP در شکل ۳ آورده شده است. ملاحظه می‌شود که پس از اعمال اشعه‌دهی بر ماده بسته‌بندی و با افزایش دوز اشعه‌دهی، اتصالات تحت تأثیر اشعه‌دهی قرار گرفته‌اند، البته ماده پلاستیکی نایلون (Nylon) بیشتر از پلی‌پروپیلن (PP) تحت تأثیر قرار گرفته است. در شکل ۳، محدوده ۱۶۶۰cm^{-1} و ۱۶۲۰ مربوط به اتصالات پلی‌پروپیلن و محدوده ۱۵۴۳ cm^{-1} و ۳۲۹۸ مربوط به اتصالات پلی‌آمید (نایلون ۶) هستند.

---

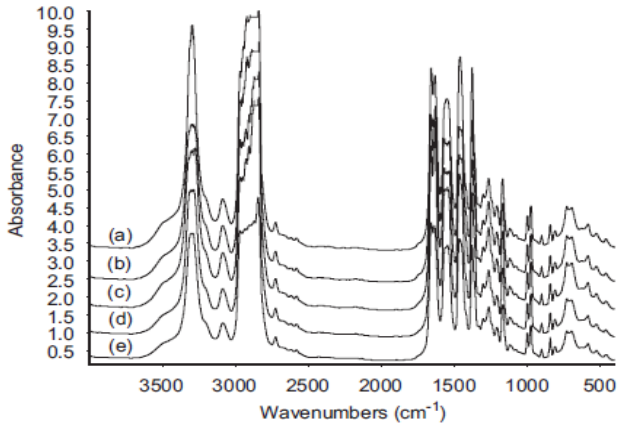
[۱] Bioxially oriented polypropylene/Cast polypropylene

[۲] Mono-Layer

[۳] Multi-Layer

[۴] Retortable Packaging

[۵] Fourier Transform infrared spectroscopy



شکل ۳- طیف‌های FTIR مربوط به ماده بسته‌بندی چند لایه PP/Nylon/PP قبل و بعد از اشعه‌دهی.

(a)کنترل (قبل از اشعه دهی)، (b) ۲/۵ kGy، (c) ۵ kGy، (d) ۷/۵ و (e) ۱۰ kGy.

برخی تحقیقات نشان داده است[۱۴] که اشعه‌دهی به ماده پلاستیکی پلی‌پروپیلن تا حدود ۴۴ kGy سبب پدیدآمدن مقدار زیادی ترکیبات با وزن ملکولی کم، می‌شود که نشانگر آن است که در اثر اشعه‌دهی، تعدادی از اتصالات در زنجیره پلی‌مری آن شکسته شده‌اند.

تأثیر اشعه‌دهی بر ماده بسته بندی پلی‌اتیلن ترفتالات[۱]

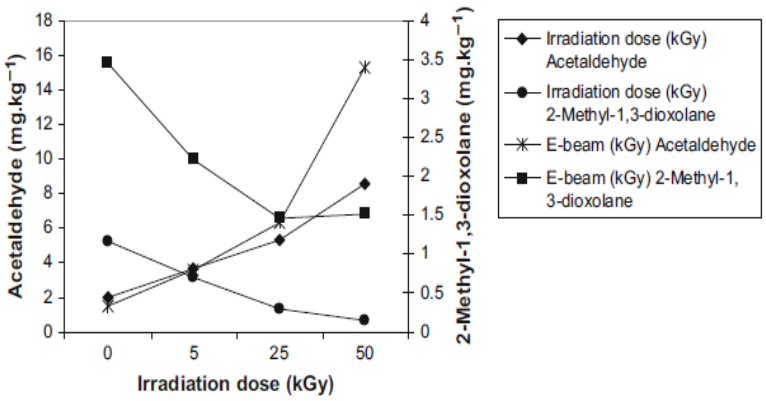
پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) کاربرد گسترده‌ای در تهیه بطری‌های مصرفی در بسته‌بندی نوشابه‌ها و روغن مایع دارد. نتایج حاصل از یک پژوهش[۱۵] مشخص ساخت که اشعه‌دهی به پلی‌اتیلن ترفتالات، مهاجرت فلزات سنگین مانند کبالت، کرم و روی را از ماده بسته‌بندی به غذا، تشدید نمی‌کند.

در تحقیقی دیگر [۱۶] تأثیر سه دوز ۵ kGy، ۲۵ و ۵۰ از دو اشعه یونیزه کننده گاما (γ) و الکترون شتاب‌یافته یا اشعه بتا (E-beam)را در پدیدآمدن ترکیبات فرار[۲] و غیرفرار[۳] در کوپلی‌مری از پلی‌اتیلن ترفتالات بررسی کردند (شکل۴). ترکیب فرار مورد بررسی استآلدهید و ترکیب غیرفرار 2-Methyl-1,3-dioxolane بود. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش دوز اشعه‌دهی، غلظت ترکیب غیرفرار کاهش یافت در حالی که غلظت ترکیب فرار استآلدهید به حداکثر افزایش یافت.

[۱] Polyethylene tetephthalate

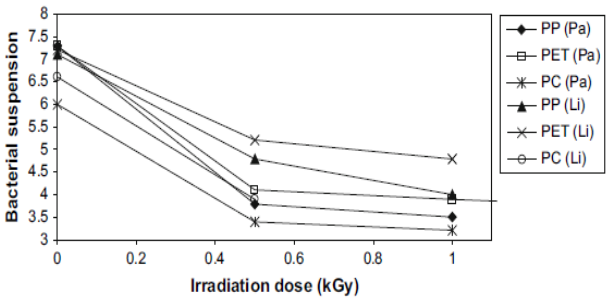
[۲] Volatile compounds

[۳] Non Volatile compounds



شکل ٤- تأثیر اشعه گاما و اشعه بتا (E-beam) بر غلظت ماده فرار استآلدهید و ماده غیرفرار 2-Methyl-1,3-dioxolane در ماده بسته‌بندی پلی‌اتیلن ترفتالات (PET).

در پژوهشی دیگر [۱۷] چند فیلم مورد استفاده در بسته‌بندی، شامل پلی پروپیلن (PP)، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) و پلی‌کربنات[۱] (PC) پس از آغشته شدن به حدود ۷ log CFU/ml از میکروارگانیسم‌های Pseudomonas aeruginosa و Listeria innocua، در معرض اشعه گاما قرار داده شدند. نتایج نشان داد که اشعه‌دهی تا دوز ۳ kGy، تعداد باکتری Pseudomonas aeruginosa را در فیلم‌های پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) تا حد زیادی کاهش می‌دهد، البته تأثیر اشعه بر باکتری‌ها در فیلم‌های (PC) بهتر بوده به طوری که اشعه‌دهی تا دوز ۱ kGy برای غیرفعال کردن میکروب ها در این نوع فیلم کافی بود (شکل۵). نتایج این پژوهش نشان می دهد که نوع بسته بندی بر مقاومت میکروبی که بر روی آن است، در برابر اشعه، تأثیر می گذارد.



شکل ۵ - تأثیر اشعه‌دهی بر باکتری‌های Pseudomonas aeruginosa (Pa) و Listeria innocua (Li) موجود در فیلم‌های پلی‌مری پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) و پلی‌کربنات (PC).

[۱] Polycarbonate

اثر اشعه‌دهی بر ماده بسته‌بندی پلی وینیل کلرید[۱] (PVC)

به منظور کاهش حالت شکنندگی و بهبود خصوصیت انعطاف‌پذیری[۲] فیلم‌های بسته‌بندی تهیه شده از پلی‌وینیل کلرید، به آن مواد نرم‌کننده یا پلاستیسیزر[۳] اضافه می‌کنند. مواد افزودنی مذکور، گرچه خواص فیزیکی فیلم پلی‌مری را بهتر می‌کنند، اما در تماس با مواد غذایی، امکان انتقال (مهاجرت) این مواد مضر، به غذا وجود دارد. در پژوهشی[۴] تأثیر اشعه‌دهی به فیلم‌های پلی‌وینیل کلرید بر مهاجرت ماده پلاستیسیزر دی-۲-اتیل هگزیل-ادیپیت[۴] (DEHA) موجود در آن به دو ماده غذایی گوشت مرغ و روغن زیتون بررسی شد. نتایج نشان داد که دوزهای کم اشعه‌دهی با اشعه یونیزه کننده (تا ۲۰ kGy) اثری بر افزایش مهاجرت ماده DEHA از فیلم بسته‌بندی به غذا ندارد. در حالی که افزایش دوز اشعه‌دهی، موجب افزایش مهاجرت DEHA به روغن زیتون می‌شود.

نتیجه گیری نهایی

به طور کلی در بین پلی‌مرهای مصنوعی (سینتتیک) پرکاربرد در بسته بندی محصولات غذایی، مواد بسته‌بندی پلی‌استیرن (PS) و پلی اتیلن ترفتالات (PET) نسبت به مواد بسته‌بندی دیگری مانند پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌وینیل کلرید (PVC) در برابر اشعه‌دهی مقاومت بیشتری دارند. دلیل این مسأله آن است که پلی استیرن و پلی اتیلن ترفتالات ساختار پلی‌مری اروماتیک دارند و پلی‌مرهایی مانند پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن در زنجیره پلی‌مری خود، حالت شاخه‌دار کمتری[۵] دارند و لذا در برابر اشعه‌دهی، تجزیه‌پذیرتر هستند.

مراجع

1- L. S. Arvanitoyannis, "Irradiatoin of Food Commodities", Elsevier Inc. pp. 43-64 (2010).

2- M. Hadi-Saeid, M. H. O. Sampa, and A. G. Chmielewski, "Radiation treatment for sterilization of packaging materials", Radiation Physics and Chemistry. 76, 1535–1541(2007).

3- J. Yun, R. Yan, X. Fan, J. Gurtler, and J. Phillips, (2013). "Fate of E. coli O157:H7, Salmonella spp. and potential surrogate bacteria on apricot fruit, following exposure to UV-C light", International Journal of Food Science and Technology. 166, 356–363 (2013).

4- V. Komolprasert and K. M. Morehouse, "Irradiation of Food and Packaging: Recent Developments", American Chemical Society. pp. 290-304 (2004).

[۱] Polyvinyl chloride

[۲] Flexible

[۳] Plasticizer

[۴] Di-(2-ethylhexyl)-adipate

[۵] Less branched

5- A. Fernandes, A. L. Antonio, M. B. Oliveria, A. Mortins and I. Ferreira, "Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushroom: A review", Food Chemistry. 134, 641-650 (2012).

6- T. Kume, M. Furuta, S. Todoriki, N. Uenoyama and Y. Kobayashi, "Status of food irradiation in the world", Radiation Physics and Chemistry. 78, 222–226 (2009).

7- J. Gilmana, L. Jaacxsenb, B. Meulenareb and F. Devlieghere, "Modified atmosphere packaging and irradiation to preserve contemporary food-based art: An experimental study", Journal of Cultural Heritage. In Perss, (2014).

8- J. Han, M. E. Castell-Perez and R. G. Moreira, "Effect of food characteristics, storage conditions, and electron beam irradiation on active agent release from polyamide-coated LDPE films", Journal of Food Science. 73, 37–43(2008).

9- J. Han, M. E. Castell-Perez, and R. G. Moreira, "The influence of electron beam irradiation of antimicrobial-coated LDPE/polyamide films on antimicrobial activity and film properties", Lebensmittel Wissenschaft und Technologie. 40, 1545–1554 (2007).

10- D. H. Jeon, G. Y. Park, I. S. Kwak, K. H. Lee, and H. J. Park, "Antioxidants and their migration into food simulants on irradiated LLDPE film", Lebensmittel Wissenschaft und Technologie. 40, 151–156 (2007).

11- Y. G. Park, S. Y. Cho, D. H. Jeon, I. S. Kwak, K.W. Lee and H. J. Park, "Formation of monomer residues in PS, PC, PA-6 and PVC upon gamma irradiation", Radiation Physics and Chemistry. 75, 1055–1059 (2006).

12- M. Mizani, N. Sheikh, S. N. Ebrahimi, A. Gerami and F. A. Tavakoli, "Effect of gamma irradiation on physico-mechanical properties of spice packaging films", Radiation Physics and Chemistry. 78, 806–809 (2009).

13- J. Georgea, R. Kumara, V. A. Sajeevkumara, S. N. Sabapathya, S. G. Vaijapurkarb, D. Kumarb, A. Kchawahhab and A. S. Bawaa, "Effect of gamma irradiation on commercial polypropylene based mono and multi-layered retortable food packaging materials", Radiation Physics and Chemistry 76, 1205–1212 (2007).

14- P. G. Demertzis, R. Franz, and F. Welle, "The effects of gamma irradiation on compositional changes in plastic packaging films", Packaging Technology Science. 12, 119–130(1999).

15- D. Thompson, S. J. Parry and R. Benzing, "The validation of a method for determining the migration of trace elements from food packaging materials into food", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 217, 147–150 (1997).

16- V. Komolprasert T. P. McNeal and T. H. Begley, "The effects of g- and electron beam irradiation on semi-rigid amorphous polyethylene terephthalate copolymers", Food Additives and Contaminants. 20, 505–517 (2003).

17- M. W. Byun, J. H. Kim, D. H. Kim, and C. Jo, "Effect of irradiation and sodium hypochlorite on the microorganisms attached to a commercial food container", Food Microbiology. 24, 544–548 (2007).