

مروری بر اثرات پرتوهای یونیزه‌کننده بر مواد غذایی بسته بندی شده

فرناز رضائیان عطار^{۱*}، ناصر صداقت^۲

تاریخ دریافت مقاله: اردیبهشت ماه ۱۳۹۵

تاریخ پذیرش مقاله: تیرماه ۱۳۹۵

چکیده

پرتوهای مواد غذایی می‌تواند ایمنی و سلامت مواد غذایی را بهبود بخشد. بسیاری از مواد برای استفاده در بسته‌بندی غذا مجاز هستند؛ اما تنها تعداد اندکی از آن‌ها را می‌توان هنگام پرتوهای ماده غذایی بکار برد. ارزیابی ایمنی مدیریت دارو و غذا در مواد غذایی پرتوهای شده، در برگیرنده اطلاعات توکسیکولوژیکی موجود در مورد مواد بسته‌بندی و محصولات رادیولیز تولید شده از آن‌ها در اثر پرتوهای است. هر پروتکل آزمون مورد استفاده در ارزیابی مواد غذایی پرتوهای شده، باید در برگیرنده شناسایی ترکیبات رادیولیز نیز باشد.

پرتوهای مواد غذایی بسته‌بندی شده، ممکن است از

نظر دز به دو دسته تقسیم گردد:

(۱) فرآیندهای نیازمند دزهای کمتر از ۱۰ kGy مانند

افزایش ماندگاری انواع گوشت سردخانه گذاری شده

و حذف پاتوژن‌های آلوده‌کننده

(۲) فرآیندهای نیازمند دزهای ۲۰ تا ۴۰ kGy برای

ایجاد استریلیزاسیون^۵ تجاری

واژه‌های کلیدی

پرتوهای یونیزه‌کننده، RPs^۳، بسته‌بندی مواد غذایی

۱- مقدمه

پرتوهای یونیزه کننده فرآیندی غیرحرارتی است که برای ماندگاری مواد غذایی استفاده می‌شود. پرتوهای می‌تواند آلودگی‌های میکروبی را کاهش داده و باعث بهبود ایمنی میکروبی و افزایش ماندگاری غذا شود. در حداکثر دز تجاری پرتوهای ۱۰ KGy دمای ماده غذایی افزایش نیافته و معمولاً کیفیت تغذیه‌ای آن تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. در مصارف صنعتی، مواد غذایی عمدتاً قبل از پرتوهای، به شکل نهایی بسته‌بندی شده تا از آلودگی مجدد جلوگیری شود. مواد بکار رفته در بسته‌بندی و همچنین مواد غذایی بسته‌بندی شده که در معرض پرتوهای قرار می‌گیرند باید مطابق با مقررات 21 CFR^۴179.45 باشند [۱].

۲- مقررات ایالات متحده آمریکا برای پرتوهای

مواد غذایی و بسته‌بندی در تماس با آن

پرتوهای بایستی طبق قوانین اجرایی و تحت شرایط مقرر در قانون انجام شود. استفاده از مواد بسته بندی برای مواد غذایی پرتوهای شده بایستی از نظر ایمنی قبل از فروش مورد ارزیابی قرار بگیرد، زیرا ممکن است مقادیر مختلفی از اجزای مواد بسته‌بندی در مقایسه با روش بدون پرتوهای به درون غذا مهاجرت کنند. نشان داده شده است که پرتوهای ممکن است برخی اثرات تخریبی بر مواد بسته‌بندی پلیمری داشته باشد که می‌تواند به تغییرات ساختاری مختلف مانند تولید رادیکال‌های آزاد، یون‌ها و

۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد.

(*) نویسنده مسئول: (farnazrezaiyan@yahoo.com)

۲- عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی

مشهد (Sedaghat1@yahoo.com)

3- Radiolysis Products

4- Code of Federal Regulations

5- Sterility

این قانون به زیربخش‌های مختلفی تقسیم می‌شود که در (جدول ۱) آورده شده است. در 21 CFR 179.26 (b)، مواد غذایی که در حال حاضر مجوز کاربرد پرتودهی را دارند آورده شده است (جدول ۲) [۱].

دیگر محصولات رادیولیز^۱ با وزن مولکولی کم منتهی گردد. مهاجرت این ترکیبات به درون مواد غذایی بسته‌بندی شده پرتودهی شده بسیار محتمل است و می‌تواند ایمنی غذا را علاوه بر برخی ویژگی‌های حسی تحت تأثیر قرار دهد [۲]، ۳ و ۴].

۳- جنبه‌های عمومی پرتودهی

پرتوهای یونیزه‌کننده برای تیماردهی مواد غذایی بسته‌بندی شده را می‌توان با استفاده از پرتوهای گاما (با رادیوایزوتوپ‌های^۲ کبالت^{۶۰} یا سزیم^{۳۷}، پرتوهای الکترون یا اشعه X اعمال کرد.

بر اساس جنبه‌های توکسیکولوژیکی، محققان بسیاری ترکیبات فرار آزاد شده از پلیمرهای پرتودهی شده که به مشابه مواد غذایی مایع مهاجرت می‌کنند، را دنبال کرده‌اند [۵ و ۶]. 21 CFR 179 قانون اولیه‌ای است که پرتودهی در تولید، فرآوری و حمل و نقل غذا را پوشش می‌دهد.

جدول ۱- بخش های 21 CFR قسمت ۱۷۹- پرتودهی در تولید، فرآوری و حمل و نقل مواد غذایی

منابع پرتودهی مورد استفاده برای بازرسی مواد غذایی بسته‌بندی شده و کنترل فرآوری مواد غذایی	۱۷۹۰۲۱
مقررات کلی برای پرتودهی مواد غذایی	۱۷۹۰۲۵
پرتوهای یونیزه کننده برای تیمار مواد غذایی	۱۷۹۰۲۶
پرتوهای رادیوفرکانسی برای گرم کردن غذا از جمله فرکانس‌های ماکروویو	۱۷۹۰۳۰
پرتوهای فرابنفش برای فرآوری و تیمار مواد غذایی	۱۷۹۰۳۹
نور پالسی برای تیمار مواد غذایی	۱۷۹۰۴۱
مواد بسته‌بندی برای استفاده طی پرتودهی مواد غذایی بسته‌بندی شده	۱۷۹۰۴۵

جدول ۲- مواد غذایی مجاز برای پرتودهی تحت مقررات FDA (21 CFR 179.26)

دوز	هدف	ماده غذایی
حداقل ۰/۳ kGy تا حداکثر ۱ kGy	کنترل <i>Trichinellaspinalis</i>	گوشت تازه، فرآوری شده بدون گرما
حداکثر ۱ kGy	جلوگیری از رشد و رسیدگی	مواد غذایی تازه
حداکثر ۱ kGy	ضد عفونی آرتروید	غذاها
حداکثر ۱۰ kGy	ضد عفونی میکروبی	آنزیم‌های آبیگری شده یا خشک شده
حداکثر ۳۰ kGy	ضد عفونی میکروبی	چاشنی‌ها/ ادویه های آبیگری یا خشک شده
حداکثر ۳ kGy	کنترل پاتوژن	محصولات ماکیان تازه یا منجمد، نپخته
حداکثر ۴۴ kGy	استریلیزاسیون	گوشت‌های بسته‌بندی منجمد (فقط NASA)
حداکثر ۷ kGy	کنترل پاتوژن	محصولات گوشتی نپخته منجمد
حداکثر ۳ kGy	کنترل <i>Salmonella</i>	پوسته تخم مرغ‌های تازه
حداکثر ۸ kGy	کنترل پاتوژن‌های میکروبی	دانه ها برای جوانه زدن
حداکثر ۵/۵ kGy	کنترل گونه‌های ویبریو و سایر پاتوژن‌های با منشأ غذایی	حلزون صدف‌دار تازه یا منجمد
حداکثر ۴/۵ kGy	کنترل پاتوژن	محصولات گوشتی نپخته منجمد، سردخانه‌گذاری شده

2- Radioisotope

3- Cesium

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون
بسته‌بندی

1- Products Radiales

پرتوهای الکترونی، دارای قدرت نفوذ پائینی بوده و تمام انرژی الکترون‌های دارای انرژی بالا، در لایه‌های نسبتاً نازکی از ماده ذخیره می‌گردد. پرتوهای گاما و X، قادرند به طور عمقی تری در ماده نفوذ کند [۷]. اثرات پرتودهی بر مواد غذایی عموماً به نوع پرتو، سطح انرژی و همچنین ترکیب، حالت فیزیکی، دما و محیط ماده جاذب (ماده غذایی و مواد در تماس با ماده غذایی) بستگی دارد.

گروه‌های تخصصی سازمان‌های ملی و فراملی و نیز بسیاری از آژانس‌های قانون‌گذاری عموماً نتیجه گرفتند که غذای پرتودهی شده، ایمن و سالم است و پرتودهی غذایی در مقادیر مجاز، خطرات توکسیکولوژیکی، میکروبیولوژیکی^۱ یا تغذیه‌ای بیش از آنچه که در فناوری‌های متداول مواد غذایی وجود دارد؛ ایجاد نمی‌کند [۱].

سازمان بهداشت جهانی، پرتودهی یونیزه را فرآیند مهمی در تضمین ایمنی غذا در نظر می‌گیرد. این تیمار ابزار کنترل‌کننده مفیدی در تولید انواع غذاهای خام یا با حداقل فرآوری مثل ماکیان، گوشت و فرآورده‌های گوشتی، ماهی، غذاهای دریایی، میوه‌ها و سبزی‌ها می‌باشد. رویکرد فزاینده به پرتودهی مواد غذایی به منظور بهبود کیفیت و ایمنی میکروبیولوژیکی، از روی مطالعات جدید در مورد کاربرد پرتودهی در محصولات مختلف، قابل درک است.

۴- مواد بسته‌بندی برای غذاهایی که پس از بسته‌بندی در معرض پرتودهی قرار می‌گیرند.

امروزه تولیدکنندگان ترجیح می‌دهند که مواد غذایی قبل از پرتودهی به فرم نهایی بسته‌بندی شوند تا از آلودگی مجدد جلوگیری و حمل آن‌ها به بازار پس از پرتودهی تسهیل گردد. اگر مواد بسته‌بندی در تماس با غذا در معرض پرتودهی قرار بگیرند، قابلیت آلودگی با RPs تشکیل شده در مواد بسته‌بندی را دارند. این موضوع نگرانی‌هایی از جنبه ایمنی ایجاد کرده و بنابراین آزمایش مواد بسته‌بندی پس از قرار گرفتن در معرض پرتودهی، بخش جدا نشدنی از

ارزیابی ایمنی پیش از فروش مواد بسته‌بندی پرتودهی دیده در تماس با غذا می‌باشد. RPs تشکیل شده تحت پرتودهی یک پلیمر یا مواد کمکی می‌تواند به داخل غذا مهاجرت کرده و بو، مزه و ایمنی غذای پرتودهی شده را تحت تأثیر قرار دهد [۸].

پرتودهی مواد پلیمری می‌تواند سبب تغییراتی در خصوصیات مکانیکی یا فیزیکی آنان شود [۹ و ۱] و این تغییرات می‌تواند مهاجرت اجزای پلیمر یا محصولات تجزیه‌ای بالقوه آن‌ها (رادیولیت‌ها^۲) را به داخل ماده غذایی تحت تأثیر قرار دهند [۹]. تغییرات در خصوصیات پلیمر می‌تواند به وسیله اتصال عرضی مولکول‌های پلیمر اتفاق بیفتد، که قدرت مکانیکی را افزایش می‌دهد و یا تجزیه اکسیداتیو^۳، که برعکس عموماً سبب تضعیف ماده می‌گردد [۱۰]. تغییرات حاصل از پرتودهی، بستگی به نوع پلیمر، افزودنی‌های ویژه پلیمر استفاده شده و شرایط پرتودهی دارد [۱۱]. در (جدول ۳) فهرست مواد بسته‌بندی که امروزه بر اساس CFR 179.45 21 مجاز هستند، آورده شده است که اکثر آن‌ها ظرف چند سال گذشته در ابتدا برای پرتودهی گاما تصویب شدند [۱].^۴ (FDA) طی یک ارزیابی نتیجه گرفت که منابع اشعه گاما، پرتوالکترون و اشعه X از نظر نوع و مقدار (RPs) تولید شده در پرتودهی مواد غذایی پس از بسته‌بندی یکسان هستند. لازم به ذکر است که مواد بسته‌بندی فهرست شده در CFR 179.45 21 تمام نیازهای فعلی صنعت غذا را تأمین نمی‌کنند. البته بسیاری از این مواد بسته‌بندی نوین هنوز مورد ارزیابی (FDA) قرار نگرفته‌اند. مواد کمکی مثل آنتی‌اکسیدان‌ها و پایدارکننده‌ها نیز به دلیل RPs نگرانی‌هایی ایجاد می‌کنند.

2- Radiolite
3- Oxidative
4- U.S.Food and Drug Administration

1- Microbiological

جدول ۳- مواد بسته‌بندی فهرست شده در 21 CFR 179.45 برای پرتودهی مواد غذایی بسته‌بندی شده

مواد بسته‌بندی	حداکثر دز مجاز (kGy)
بخش (b) ۱۷۹۰۴۵	
سلوفان پوشش داده شده با نیتروسولولز	۱۰
کاغذ شیشه‌ای	۱۰
مقوای پوشش داده شده با موم	۱۰
فیلم پلی‌اولفین	۱۰
کاغذ کرافت	۰/۵
فیلم پلی‌اتیلن ترفتالات (پلیمر پایه)	۱۰
فیلم پلی استایرن	۱۰
فیلم هیدروکلراید لاستیکی	۱۰
فیلم وینیل کلراید- کوپلیمر وینیل کلراید	۱۰
نایلون ۱۱ (پلی آمید-۱۱)	۱۰
بخش (c) ۱۷۹۰۴۵	
کوپلیمر اتیلن-وینیل استات	۳۰
بخش (d) ۱۷۹۰۴۵	
کاغذ پوستی گیاهی	۶۰
فیلم پلی اتیلن (پلیمر پایه)	۶۰
فیلم پلی اتیلن ترفتالات (پلیمر پایه)	۶۰
نایلون ۶ (پلی آمید-۶)	۶۰
فیلم وینیل کلراید- کوپلیمر وینیل کلراید	۶۰

مروری بر اثرات پرتوهای یونیزه کننده بر مواد غذایی بسته‌بندی شده

آزمون فیزیکی و شیمیایی مواد بکار رفته در استریلیزاسیون محصولات دارویی به روش پرتودهی، مقبولیت بالایی یافته است که در این مورد، ویژگی‌های آن‌ها برای کارکرد مطلوب محصولات دارویی هنگام مصرف حائز اهمیت می‌باشد. این نوع آزمون‌ها برای مواد بسته‌بندی در تماس با غذا طی فرآیند پرتودهی کافی نیست. احتمال مهاجرت ترکیبات بکار رفته در بسته‌بندی و RPs آن‌ها به داخل غذا در سطح معنی‌دار وجود دارد، در عین حال تغییر ویژگی‌های مواد بسته‌بندی ممکن است بی‌معنی یا شناسایی نشده باشد. از این رو، ارزیابی کلی مواد نوین بسته‌بندی در تماس با غذا، باید شامل بررسی هر گونه تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در اثر

ثابت شده که این مواد کمکی طی فرآوری پلیمر و همچنین در هنگام پرتودهی تجزیه شده و باعث افزایش معنی‌دار مهاجرت RPs به داخل غذا می‌شوند. بنابراین مهاجرت پلیمرهای پایه، مواد کمکی و RPs آن‌ها باید در ارزیابی ایمنی پیش از فروش مد نظر قرار گیرد.

۵- ارزیابی مواد جدید بسته‌بندی در تماس با مواد غذایی برای پرتودهی

برای اثبات پایداری مواد بسته‌بندی در هنگام پرتودهی باید ثابت گردد که این فرآیند تغییر معنی‌داری بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این مواد ایجاد نمی‌کند.

پرتودهی و ارزیابی ایمنی مواد بسته‌بندی و RPs آن‌ها پیش از فروش، در شرایط مصرف باشد.

پنکوئت^۱ منابع موجود در مورد انواع RPs تشکیل شده و غلظت آن‌ها در پلیمرهای پرتودهی شده مختلف شامل^۲ PS،^۳ PET،^۴ LDPE،^۵ PP،^۶ EVA،^۷ PA^۸ و^۹ PVC را مورد ارزیابی قرار داد و به این نتیجه رسید که تشکیل RPs به دز جذب شده، میزان دز، محیط گازی پیرامون ماده غذایی، دما، زمان پس از پرتودهی و ماده غذایی بستگی دارد. RPs ایجاد شده از پلیمرها شامل آلدهیدهای^۹ با وزن مولکولی پائین، اسیدها و اولفین‌ها می‌شدند.

۶- پلی‌اولفین‌ها، اتیل وینیل الکل، پلی‌آمیدها

لاوریج و میلچ^{۱۰} ثابت کردند که آزمون فیزیکی برای تعیین تمامیت کیسه‌های غذایی چندلایه که در معرض مقادیر بسیار بالای پرتوها (بیشتر از ۴۴ kGy) قرار می‌گیرند ضروری است. طبق مشاهدات این محققان، پرتودهی کاهش معنی‌داری در مقاومت دوخت ایجاد کرده و تمامیت بسته را تحت تأثیر قرار داد. گالس^{۱۱} و همکاران مشاهده کردند که مقدار ۳۰ kGy اشعه گاما، بیشتر مواد نیمه سخت تجاری یک و چند لایه ساخته شده از PS، PP، PET، PVC/HDPE، HDPE/PA و HDPE را بی‌رنگ می‌کند. گالس و همکاران [۱۲] گزارش کردند که مقادیر کمتر (۵ تا ۱۰ kGy) تغییر معنی‌داری بر ویژگی‌های مکانیکی و نفوذ و همچنین مقدار مهاجرت کلی از فیلم‌های چندلایه تجاری از جمله PP

کواکسترو^{۱۲} شده،^{۱۳} PA، LLDPE، LDPE، EVOH و یونومر ایجاد نمی‌کند. چیتیری^{۱۴} و همکاران [۱۳] به روش آزمایشگاهی نشان دادند که اثر ۵ تا ۶۰ kGy پرتودهی گاما بر ویژگی‌های حرارتی، مکانیکی و نفوذ فیلم‌های چندلایه حاوی ۲۵ تا ۵۰ درصد وزنی از لایه (LDPE) بازیافتی قرار گرفته بین لایه‌های خالص (LDPE)، با انواع تهیه شده از ۱۰۰ درصد (LDPE) خالص تفاوتی نداشت. محققان به این نتیجه رسیدند که صرف نظر از وجود LDPE بازیافتی در فیلم، ۶۰ kGy اشعه باعث تغییر مکانیکی می‌شود؛ اما سایر ویژگی‌های فیلم را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد.

ریگانکس^{۱۵} و همکاران ترکیبات فراری را شناسایی کردند که در فیلم‌های تک لایه LDPE و کوپلیمر (EVA) و فیلم‌های چندلایه (PET/PE/EVOH/PE) پس از پرتودهی ۵، ۲۰ و ۱۰۰ پرتو الکترون تولید شده بودند. این ترکیبات فرار، محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیون^{۱۶} شامل: آلدهیدها، کتون‌ها، الکل‌ها و اسیدهای کربوکسیلیک^{۱۷} بودند که ویژگی‌های ارگانولپتیک^{۱۸} و ماندگاری مواد غذایی پرتودهی شده را تحت تأثیر قرار می‌دهند. غلظت این ترکیبات با افزایش دز پرتودهی افزایش می‌یابد.

۷- مواد کمکی

چند مطالعه اخیر بر روی اثرات پرتودهی بر آنتی‌اکسیدان‌های فنلی خنثی شده در پلیمرهای بسته‌بندی تمرکز کرده‌اند. داسکنیس^{۱۹} و همکاران نشان دادند که پرتو گاما، آنتی‌اکسیدان فسفیت خنثی شده و Irgafos

- 1- Panquette
- 2- Polystyrene
- 3- Polyethylene Terephthalate
- 4- Low Density Polyethylene
- 5- Polypropylene
- 6- Ethylene Vinyl Acetate
- 7- Polyimide
- 8- Polyvinyl Chloride
- 9- Aldehyde
- 10- Loveridge and Milch
- 11- Goulas

- 12- Coextrod
- 13- Ethylene Vinyl Alcohol
- 14- Chytiri
- 15- Riganakos
- 16- Oxidation
- 17- Dicarboxylic Acids
- 18- Organoleptic
- 19- Deschenese

۸- پلاستی‌سایزرها

گالس و همکاران مطالعات جامعی در مورد اثرات پرتوهای گاما و الکترون در مقادیر بین ۴-۵۰ kGy بر مهاجرت پلاستی‌سایزهای^۴ (DEHA) و^۵ (ATBC) از فیلم‌های PVC و کوپلیمر^۶ PVDC/VC به داخل گوشت مرغ و روغن زیتون انجام دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که پرتودهی در دزهای ۴ تا ۹ kGy مهاجرت این پلاستی‌سایزرها به داخل غذا را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد، اما مقادیر ۲۰ تا ۵۰ kGy باعث افزایش میزان مهاجرت آنان به درون غذا می‌شوند.

زاگورا^۷ و همکاران اثرات پرتوهای گاما در محدوده ۱۰-۲۵ kGy را بر مهاجرت (DEHA) و^۸ (ATBC) از فیلم (PVC) به داخل ایزواوکتین، حلالی که اغلب به عنوان یک مشابه غذایی چرب استفاده می‌شود، مورد مطالعه قرار دادند. این محققان گزارش کردند که افزایش دز پرتوهای گاما، سطح مهاجرت پلاستی‌سایزرها^۹ را افزایش می‌دهد. بر خلاف Irgafos 168، پرتودهی تغییر شکل این دو پلاستی‌سایزر را تحریک نکرد [۱۵].

زاگورا و همکاران [۹] مشاهده کردند که پرتوهای گاما، خصوصاً در دزهای بالاتر از ۲۵ kGy، افزایش قابل توجهی را در مهاجرت سطوحی از پلاستی‌سایزهای (PVC) به محیط اطراف، توسط القای تغییراتی در ماتریکس پلیمری ایجاد می‌کند، و خصوصیات ویژه مهاجرتی را از میان بقیه ویژگی‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس داده‌های مهاجرتی، تیمار فیلم پلی وینیل کلراید با پرتو گاما در دزهای حدود ۲۵ kGy سبب تجزیه زنجیره‌های ماکرومولکولی‌اش و تجزیه برخی پیوندهای پلیمر-پلاستی‌سایزر می‌شود.

168^۱ را در PE و PP به محصولات اکسیداسیون فسفات تجزیه می‌کند [۱۴].

استافرس^۲ و همکاران هم مشاهده نمودند که پرتودهی، Irganox 1076 و Irgafos 168 را در PE تجزیه می‌کند؛ اما Irganox 1076 در PS را حتی پس از پرتودهی به میزان ۵۴ kGy تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. این شاخصی برای پایداری PS است که توسط کائومور^۳ نیز مشاهده شده است. این محققان همچنین گزارش کردند که RPs ناشی از مواد کمکی و سایر محصولات تجزیه‌ای، ویژگی‌های حسی PA12، HDPE، LDPE و PA6، پرتودهی شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خصوصیات حسی PA6، HDPE، LDPE و PA12 کاهش یافت، ولی خصوصیات حسی PS با افزایش دز پرتودهی بهبود یافت.

کائومورا نیز در مطالعه وسیع خود بر روی اثرات مقادیر ۱۰ تا ۵۰ kGy پرتو گاما روی تعداد زیادی آنتی‌اکسیدان و پایدارکننده‌های UV در ورقه‌ها و فیلم‌های PE، PP، PST؛ مواد RPs رایج را شناسایی کرد. این محقق به این نتیجه رسید که پایداری پلیمر به ترتیب PP > PE > PS بود و نشان داد که PS تحت تأثیر پرتو گاما حتی در مقادیر بالا قرار نمی‌گیرد.

کائومورا همچنین مشاهده کرد که حضور ترکیبات کمکی اتلاف ویژگی‌های مکانیکی پلیمرها را کاهش و حضور آنان در فرآیند پرتودهی ضروری می‌باشد. این محقق همچنین اثرات پرتودهی بر پلی‌بوتیلن و برخی کوپلیمرها را در حضور یا غیاب آنتی‌اکسیدان‌ها و پایدارکننده‌ها مورد مطالعه قرار داد و نقش قطعی این ترکیبات را بر محافظت پلی‌بوتیلن و کوپلیمرهای محتوی بوتادی ان در برابر واکنش‌های تجزیه‌ای نشان داد.

- 4- Di-(2-ethylhexyl) Adipate
- 5- Acetyltributyl Citrate
- 6- Polyvinylidene Chloride
- 7- Zygoura
- 8- Polyvinylidene Chloride
- 9- Plasticizer

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون
بسته‌بندی

۱- یک استر فسفیت که به عنوان آنتی‌اکسیدان ثانویه در پلیمرها استفاده می‌شود.

- 2- Stoffers
- 3- Kawamura

۹- PET نیمه سخت

کومال پرسرت^۱ ۱۰ ماده (PET) نیمه سخت مختلف (کریستالی و بی‌شکل) با ویژگی‌ها و خصوصیات مختلف که تحت پرتودهی با دز ۲۵ kGy قرار گرفته بودند، را بررسی نمود. نتایج به دست آمده نشان داد که پرتودهی گاما در دز ۲۵ kGy، افزایش معنی‌داری در مقدار مواد جامد محلول یا تریمر حلقوی (PET) ایجاد نمی‌کند. تریمر حلقوی (PET)، ترکیب عمده‌ای بود که بیش از ۵۰ درصد مواد جامد محلول استخراج شده را به خود اختصاص داد.

کومال پرسرت و همکاران اثرات پرتوهای گاما در دز ۲۵ kGy بر پلیمرهای (PET) کریستالی نیمه سخت را بررسی نمودند. این محققان گزارش کردند که ترکیبات فرار شناسایی شده، اسید فرمیک، اسید استیک، ۱ و ۳ دی‌اگزولان و ۲ متیل ۳،۱ دی‌اگزولان بودند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، تریمر حلقوی (PET) ترکیب غیرفرار اصلی شناخته شده بین مواد جامد محلول بود و مقدار آن تحت تأثیر پرتودهی قرار نگرفت. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که پرتودهی (PET) در دز ۲۵ kGy مقدار ترکیبات فرار را به صورت معنی‌داری افزایش می‌دهد؛ اما در مورد ترکیبات غیر فرار چنین اثری ندارد.

کومال پرسرت و همکاران تحقیق در خصوص دو کوپلیمر آمورف^۲ و نیمه سخت^۳ (PET) را ادامه دادند. آنها در این تحقیق از هر دو پرتو گاما و الکترون در مقادیر ۵، ۲۵ و ۵۰ استفاده و همان ترکیبات فرار مطالعه قبلی را گزارش کردند. اما مقدار ۱ و ۳ دی‌اگزولان و ۲ متیل ۳،۱ دی‌اگزولان قابل تعیین بود. مقدار این ترکیبات فرار با افزایش دز پرتودهی افزایش یافت. غیر از تریمر حلقوی (PET)، بیس- (۲- هیدروکسیل)^۴

ترفتالات^۵، دی‌متیل ترفتالات^۶، منو هیدروکسی اتیل ترفتالات^۷، اسید ترفتالیک^۸ و تترا^۹ ترکیبات غیرفعال دیگری هستند که اغلب در بخش محلول (PET) وجود دارند. مقدار این ترکیبات غیرفرار پس از پرتودهی در تمام دزها افزایش معنی‌داری نیافت. بر اساس یافته‌های حاصل، نتیجه‌گیری شد که پرتوهای گاما و الکترون، RPs غیرفرار جدیدی تولید نمی‌کنند و اثرات پرتودهی بر این مواد (PET)، صرف‌نظر از پرتودهی مشابه است.

۱۰- نایلون 6I/6T

نایلون 6I/6T پلی‌آمیدی از ۱-۶ هگزا متیلن^{۱۰}، اسید ترفتالیک و اسید ایزو فتالیک^{۱۱}، نیز یکی از مواد جدید بسته‌بندی است که برای کاربرد در تماس با مواد غذایی پرتودهی شده، مورد توجه صنعت می‌باشد. کومال پرسرت و همکاران و McNeal^{۱۲} و همکاران اثرات پرتو گاما بر پودر نایلون 6I/6T را در مقادیر تا ۵۰ kGy مطالعه؛ و گزارش کردند که پرتودهی باعث تشکیل ترکیبات فرار ان بوتانال^{۱۳}، اسید استیک^{۱۴}، متیل سیکلوپنتن^{۱۵}، متیل اتیل کتون^{۱۶} و ان پنتانال^{۱۷} در نمونه‌های تحت بررسی گردید. این محققان ترکیبات غیرفرار را با تعیین درصد مواد جامد محلول استخراج شده از نمونه‌های پودر قبل و بعد از پرتودهی در دز ۵۰ kGy ارزیابی کردند. افزایش درصد مواد جامد

- 5- Terephthalate
- 6- Dimethyl Terephthalate
- 7- Monohydroxyl Ethylene Terephthalate
- 8- Terephthalic Acid
- 9- Tetramer
- 10- 1,6-Hexamethylene
- 11- Isophthalic Acid
- 12- McNeal
- 13- n-butanol
- 14- Acetic Acid
- 15- Methyl-Cyclopentene
- 16- Methyl ethyl ketone
- 17- n-Pentanal

- 1- Komolprasert
- 2- Crystalline
- 3- Semirigid
- 4- Bis-(2-hydroxyethyl)

محلول به دست آمده از پودر در اثر پرتودهی معنی دار نبود.

ازدیاد دز پرتودهی افزایش یافت؛ اما این افزایش غیرخطی بود.

۱۱- کوپلیمر اتیلن- وینیل الکل

کوپلیمرهای اتیلن- وینیل الکل (EVOH) به عنوان لایه مانع در تماس با مواد غیرغذایی کاربرد وسیعی در بسته بندی مواد غذایی دارند. این مواد بهبود معنی داری بر ویژگی های ممانعت کنندگی در برابر گاز و بخار بسته های غذایی چند لایه ایجاد می کنند. کوپلیمرهای (EVOH) معمولاً برای تماس با مواد غذایی طی پرتودهی مجاز نیستند. کومال پرسرت و همکاران و McNeal و همکاران اثرات مقادیر ۵ تا ۵۰ kGy پرتوهای الکترون را بر پودر کوپلیمر (EVOH) ساخته شده با یا بدون دایمر آلفا متیل استیرین به عنوان بازدارنده مورد مطالعه قرار دادند.

در مورد مواد فرآر، محققان گزارش کردند که پرتوهای الکترون، هیدروکربن های آلیفاتیک با وزن مولکولی پایین و محصولات اکسیداسیون زیادی در پودر (EVOH) بدون بازدارنده تولید می کند، در حالی که فرآورده های ناشی از تجزیه پلیمر در پودر (EVOH) با بازدارنده، کمتر مشاهده شد. در پودر (EVOH) محتوی بازدارنده، مواد فرآر اصلی شامل آلکیل آروماتیک^۱ مثل ایزوبوتیل بنزن^۲ و تترا بوتیل بنزن^۳ و آروماتیک اکسیژنه مثل استوفنون و ۲ فنیل ایزوپروپانول بودند. نتایج نشان می دهد که پرتوهای الکترون نیز مقادیر قابل اندازه گیری پروپانول، متیل اتیل کتون، ۲ بوتانول، تترا بوتیل بنزن و ۲ متیل پروپیل بنزن تولید می کند. ترکیبات فرار شناسایی شده در هر دو نمونه (NIR) و پرتو دیده، اسید استیک، کومن^۴، آلفا متیل استیرین^۵، استوفنون^۶، ۲ فنیل ایزوپروپانول^۷ بودند. این محققان به این نتیجه رسیدند که غلظت اکثر مواد فرار در نمونه های پودر (EVOH) با

- 1- Alkyl Aromatics
- 2- Isobutyl Benzene
- 3- Tert-Butyl Benzene
- 4- Cumene
- 5- Alpha-Methyl Styrene
- 6- Acetophenone
- 7- 2-phenyl Isopropanol

در مورد مواد غیرفرآر، این محققان مشاهده کردند که درصد مواد جامد محلول قابل استخراج از پودرهای (EVOH)، در اتانول^۸ ۰/۵۰٪، بزرگ تر از ۱۰٪ بود. در پودر (EVOH) با بازدارنده، مقادیر ۵۰-۵۰۰ kGy پرتوهای الکترون افزایش معنی داری در میزان مواد جامد قابل استخراج و محلول در اتانول ۱۰ و ۵۰ درصد ایجاد نکرد. از طرف دیگر در پودر (EVOH) بدون بازدارنده، پرتوهای الکترون، مقدار مواد جامد محلول قابل اندازه گیری در اتانول ۱۰ و ۵۰ درصد را به طور معنی داری افزایش داد. طبق نتایج به دست آمده، هنگامی که پرتوهای الکترون تا ۵۰ kGy باشد، پودر (EVOH) حاوی دایمر آلفا متیل استیرین از نظر شیمیایی پایدارتر از (EVOH) فاقد آن خواهد بود.

۱۲- لایه جاذب

یکی دیگر از مواد مکمل برای مواد غذایی بسته بندی شده، لایه جاذب می باشد. این لایه کاربرد گسترده ای برای گوشت، ماکیان و فرآورده های غذایی دریایی پخته نشده و سردخانه گذاری شده دارد. کومال پرسرت مطالعه اولیه و منتشر نشده ای را جهت تعیین اثرات دز پرتودهی گاما بر لایه جاذب انجام داد. در این مطالعه، لایه جاذب از دو لایه سفید رنگ LDPE تشکیل شده بود که یکی سوراخ دار بود. سپس این دو لایه از هر چهار جهت دوخته شدند تا لایه جاذب را در برگیرند. لایه های مورد آزمایش در دمای محیط در معرض دز ۷ kGy پرتو گاما قرار گرفته و با استفاده از HS/GC/MS از نظر مواد فرآر و نیمه فرار آنالیز شدند. نتایج اولیه HS/GC/MS نشان داد که پرتودهی، ۲/۳-۳/۱۴ ppm و ۳/۱ و ۳ دی تترا بوتیل بنزن، ۰/۷۸-۱/۴۰ ppm، نونانال، ۰/۲۴-۰/۴۱ ppm سیکلوپنتانول^۹ بر اساس وزن لایه جاذب تولید کرد. ۳ و

- 8- Etanol
- 9- Cyclopentanone

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون
بسته بندی

دی تترا بوتیل بنزن محصول تجزیه آنتی‌اکسیدان‌های بازدارنده فنولیک و آریل فسفیت^۱ بود. ترکیبات فرار دیگری که به مقدار کمتر توسط GC/MS شناسایی شدند، استوفنون، ۲ بوتیکسی اتانول، یک سیکلو پنتیل اتانول و بنز آلدهید بودند [۹].

نتایج استخراج با حلال نشان داد که مواد جامد قابل استخراج محلول با استفاده از اتانول ۱۰٪، از ۲۸٪ قبل از پرتودهی به ۴۳٪ پس از آن رسیدند. افزایش جزئی مواد جامد در ۲-پروپانول^۲ از ۸۴٪ قبل از پرتودهی به ۹۱٪ پس از آن مشاهده شد. طبق آنالیز کیفی (HPLC/PDA) مواد جامد، فرآیند پرتودهی هیچ ماده جدیدی تولید نمی‌کند.

آنالیز (HPLC) جهت تعیین ترکیبات حاصل از تجزیه در لایه سلولزی انجام شد. سطوح مهاجرت در اتانول پس از ۱۰ روز نگهداری در ۴۰ درجه سلسیوس نشان داد که پرتودهی مقادیر معنی داری گلوکز و سلوبیوز^۳ تولید نکرد. پرتودهی قادر به تولید مواد سلولزی هیدرولیز شده بود که می‌توانست باعث فساد فزاینده سلولز و تولید کربوهیدرات‌های با وزن مولکولی پایین طی زمان نگهداری طولانی تر شود.

۱۳- مواد رنگی برای پلیمرها

اثرات پرتودهی بر آنتی‌اکسیدان‌ها و پایدارکننده‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، اما مواد رنگی برای پلیمرها هنوز به صورت سیستماتیک^۴ مطالعه نشده‌اند. کومال پرسرت و همکاران اثرات دز پرتودهی ۱۰ تا ۲۰ kGy در تشعشع گاما را بر دو ماده رنگی 2RLTS^۵ و BGP^۶ در مقادیر ۱-۰/۱٪ وزنی در (PS) بررسی کردند.

آنالیزهای کیفی HS/GC/MS مواد فرار زیادی را در رنگ‌ها شناسایی کردند و صرف نظر از دز پرتودهی مواد فرار بیشتری از زرد خالص نسبت به آبی خالص شناسایی

شد. مواد فرار یافت شده در رنگ‌های خالص، در نمونه‌های PS محتوی مواد رنگی تحت آزمایش پیدا نشد. انحلال کلی پلیمر نمونه‌های PS پرتودهی شده و آنالیزهای HPLC/PDA نشان داد که مواد باقی مانده استخراج شده از PS شامل فنل^۷، فنیل اتانول^۸، بنز آلدهید^۹، استوفنون^{۱۰} و استایرن^{۱۱} بودند. پرتودهی غلظت این مواد باقی مانده به غیر از استایرن را افزایش داد. نتایج کلی پیشنهاد کرد که هر دو رنگ آبی و زرد در برابر پرتودهی نسبتاً پایدار هستند.

۱۴- نتیجه گیری

در دهه گذشته مطالعات زیادی روی پرتودهی غذاهای مختلف بخصوص انواع مستعد بروز بیماری‌های ناشی از غذا مثل گوشت و فرآورده‌های گوشتی انجام شده است. با این وجود، از نقطه نظر تجاری، مواد غذایی عمدتاً قبل از پرتودهی به شکل نهایی بسته‌بندی می‌شوند تا از آلودگی مجلد جلوگیری شود.

تغییرات شیمیایی در مواد از طریق اثرات اولیه رادیولیز در نتیجه جذب سطحی انرژی مواد جاذب اتفاق می‌افتد و ممکن است اثرات بیولوژیکی^{۱۲} داشته باشد. در صورت کاربرد صحیح، پرتودهی ابزار مؤثری برای حذف و یا کاهش بار میکروبی و بنابراین بیماری‌های با منشأ غذایی که توسط آن‌ها ایجاد می‌شوند، می‌باشد. بنابراین ایمنی بسیاری از غذاها و ماندگاری را بهبود می‌بخشد.

۱۵- منابع

۱. جانگ اچ. هان، (۱۳۹۲)، "بسته‌بندی مواد غذایی فرآوری شده به روش غیر حرارتی"، ترجمه دکتر ناصر صداقت و

- 7- Phenol
- 8- Phenyl Ethanol
- 9- Benzaldehyde
- 10- Acetophenone
- 11- Polystyrene
- 12- Biological

- 1- Arylphosphite
- 2- 1-cyclopentylethanone
- 3- Cellobiose
- 4- Systematic
- 5- Chromophthal Yellow
- 6- Irgalite Blue

- Côrrea R.F., Braz. J., (2007). "Chem. Eng." 24: 259.
11. Chytiri S.D., Badeka A.V., Riganakos K.A., Kontominas M.G., (2010). "Food Addit." Contam. A: Chem. 27:546.
 12. Goulas, Antonios E., Riganakos A., and Kontominas, Michael G., (2003). "Effect of ionizing radiation on physicochemical and mechanical properties of commercial multilayer coextruded flexible plastics packaging materials". Radiation Physics and Chemistry. 68(5):865-872.
 13. Chytiri, Stavroula, Goulas, Antonios E., Riganakos, Kyriakos A., and Kontominas, Michael G., (2006). "Thermal, mechanical and permeation properties of gamma-irradiated multilayer food packaging films containing a buried layer of recycled low-density polyethylene". Radiation Physics and Chemistry. 75 (3): 416-423.
 14. Deschenes L., Carlsson D.J., Wang Y., and Labreche C., (2004). "Postirradiation Transformation of Additives in Irradiated HDPE Food Packaging Materials: Case Study of Irgafos 168". In Irradiation of food and packaging: Recent Developments, edited by Vane Komolprasert and Kim Morehouse, pp. 27-289. ACS Symposium Series 875: Oxford Press.
 15. Zygoura P.D., Goulas A.E., Riganakos K.A., and Kontominas M.G., (2007). "Migration of di-(2-ethylhexyl)adipate and acetyltributyl citrate plasticizers from food-grade PVC film into isooctane: Effect of gamma radiation". Journal of Food Engineering. 78(3): 870-877.
- آدرس نویسنده
- خراسان- دانشگاه فردوسی مشهد- خوابگاه
- پردیس ۱.
- دکتر مریم بهرام پرور، دانشگاه فردوسی مشهد.
2. Galic K., Sctar M. and Kurek M., (2011). "The Benefits of Processing and Packaging". Trends Food Sci. Tech., 22: 127-137.
 3. Arvanitoyannis I. S. and Tsarouhas P., (2010). "Food Packaging Materials for Irradiation". In: Irradiation of Food Commodities. Chap.3, Elsevier. PP.43-61.
 4. Sadler G., Chappas W. and Pierce D. E., (2001). "Evaluation of e-beam, and X-ray Treatment on the Chemistry and Safety of Polymers Used with Pre-packaged Irradiated Foods: A Review". Food Addit. Contam., 18(6): 475-501.
 5. Goulas, Antonios E., Riganakos, Kyriakos A., and Kontominas, Michael G., (2004). "Effect of ionizing radiation on physicochemical and mechanical properties of commercial monolayer and multilayer semirigid plastics packaging materials". Radiation Physics and Chemistry. 69(5): 411-417.
 6. Jeon D. H., Park G. Y., Kwak I. S., Lee K. H. and Park H. J., (2007). "Antioxidants and Their Migration into Food Simulants on Irradiated LLDPE Film". LWT, 40: 151-156.
 7. IAEA, (2004). "Emerging applications of radiation technology". TECDOC-1386, Vienna.
 8. Franz R. and Welle F., (2004). "Effect of Ionizing Radiation on the Migration Behavior and Sensory Properties of Plastic Packaging Materials." In Irradiation of Food and Packaging: Recent Developments, edited by Vane Komolprasert and Kim Morehouse, pp. 236-261. ACS Symposium Series 875: Oxford Press.
 9. Zygoura P.D., Paleologos E.K. and Kontominas M.G., (2011). "Migration Levels of PVC Plasticisers: Effect of ionizing radiation treatment". Food Chemistry 128: 106-113.
 10. Cota S.S., Vasconcelos V., Senne Jr. M., Carvalho L.L., Rezende D.B.,