

مروری بر اثر فرایندهای پرتودهی و مایکروویو بر ایمنی مواد بسته‌بندی

احمد احتیاطی^{۱*}، ناصر صداقت^۲

تاریخ دریافت مقاله: بهمن ماه ۱۳۹۲

تاریخ پذیرش مقاله: اسفند ماه ۱۳۹۲

چکیده

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر روش‌های جدید فراوری و مؤثر بر بهداشت مواد غذایی مانند پرتوهای یونیزه‌کننده مورد توجه قرار گرفته است. پرتودهی، فرآیندی است که در آن ماده غذایی در معرض پرتوهای یونیزه‌کننده قرار می‌گیرد. در این روش از پرتوهای یونیزه‌کننده مانند پرتو گاما^۳ از رادیو ایزوتوپ‌های کبالت^۴ ۶۰ یا سزیم^۵ ۱۳۷ یا الکترون‌های با انرژی بالا و پرتو ایکس^۶ که توسط دستگاه‌های مولد ایجاد می‌گردد، استفاده می‌شود [۱]. پرتودهی مواد غذایی، یک فرایند تأیید شده است که در بیش از شصت کشور جهان برای محصولات مختلف مانند غلات، گیاهان دارویی، ادویه‌ها، گوشت ماکیان و غذاهای دریایی کاربرد دارد. پرتودهی تغییر قابل توجهی در مواد مغذی ایجاد نمی‌کند. مقدار و کیفیت پروتئین، چربی و کربوهیدرات‌ها^۷ حتی تا شدت ۱۰ کیلوگری^۷ تغییرات خیلی جزئی دارد؛ اگرچه ممکن است ویژگی‌های حسی طی فرایند تغییر کند. ولی تغییری در محتوای اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب ضروری، مواد معدنی و عناصر کمیاب ایجاد نمی‌گردد؛ اما ممکن است بخشی از ویتامین‌ها به خصوص تیامین کاهش یابد؛ اما این مقدار کاهش، مشابه با سایر فرایندها مانند خشک کردن است [۲]. پرتودهی روشی مؤثر در کاهش جمعیت میکروبی است، اما استفاده تجاری آن به دلیل بدبینی عمومی در

روش‌های نوین فرآیند مواد غذایی مانند پرتودهی و مایکروویو، روش‌هایی هستند که در سال‌های اخیر، در صنعت مواد غذایی به منظور تولید مواد غذایی سالم تر و با کیفیت تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. محققان نیز تأثیر این روش‌ها را بر مواد غذایی و عوامل فساد محصولات غذایی مورد بررسی قرار داده‌اند. با توجه به اینکه، عموماً این فرایندها روی محصول بسته‌بندی شده، اعمال می‌شود، بررسی تغییرات ویژگی‌های مواد بسته‌بندی مانند خواص مکانیکی و ممانعت‌کنندگی بسیار مهم می‌باشد. در همین راستا، بخشی از تحقیقات در حوزه بسته‌بندی، معطوف به بررسی تأثیر فرایندهای نوین بر ویژگی‌های مواد بسته‌بندی است. مقاله حاضر مروری بر تحقیقات صورت گرفته در این حوزه می‌باشد. اثر فرایندهای نوین بر شدت مهاجرت ترکیبات از مواد بسته‌بندی به ماده غذایی طی نگهداری نیز از موضوعات مهمی است که در این مقاله به آن پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی

ایمنی، بسته‌بندی، پرتودهی، مایکروویو و مهاجرت.

۱- دانشجوی دکترای علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.

(* نویسنده مسئول: ehtiati.ahmad@stu.um.ac.ir)

۲- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.

3- Gama radiation

4- Cobalt Radioisotopes

5- X-ray

6- Carbohydrate

7- KGy

۲- اثر پرتوهای یونیزه‌کننده بر مواد بسته‌بندی

۱-۱-۲ ایجاد اتصالات عرضی

در بیشتر پلاستیک‌هایی که در معرض پرتو قرار می‌گیرند اتصال عرضی واکنش، غالب است. این پلاستیک‌ها شامل PE^7 , PET^8 , PA^9 و PS^{10} است. ایجاد اتصالات عرضی بر خصوصیات مکانیکی پلی‌مرها^{۱۱} تأثیرگذار است، به طوری که مقاومت افزایش یافته و کشش پذیری کاهش می‌یابد [۴]. برای مثال، گروه‌های انتهای اتیلن گلایکول^{۱۲} در پلی‌مرهای PET با یکدیگر واکنش داده و دی اتیلن گلایکول ایجاد می‌گردد که این واکنش حتی در دوز پایین (۵ و ۱۰ کیلوگری) هم امکان‌پذیر است؛ اما ایجاد این گونه اتصالات عرضی تأثیر خیلی کمی بر خصوصیات بسته‌بندی PET داشته است زیرا بر اساس نتایج حاصله در محدوده صفر تا دو بیست کیلوگری، نفوذ پذیری به اکسیژن و بخار آب، خصوصیات حرارتی و رنگی به طور معنی داری تحت تأثیر قرار نگرفته‌اند [۵]. محققان [۶] تأثیر پرتو الکترونی را بر خواص فیلم BOPP بررسی و مشاهده کرد پرتودهی در ۲۵ کیلوگری می‌تواند مقاومت به کشش را افزایش دهد. محققان [۷] مقاومت و تغییرات فیلم ترکیبی پلی‌وینیل الکل^{۱۳} و سلولز^{۱۴} باکتریایی را تحت تیمار پرتو گاما^{۱۵} با مقدار ۵۰ کیلوگری به مدت چهار ساعت از نظر شیمیایی، ظاهر و نفوذ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد اگرچه ساختمان کریستالی تضعیف گردید؛ اما نفوذ پذیری به بخار آب و سختی فیلم، تغییر معنی داری نداشت و این

مورد ایمنیت غذاهای پرتو داده شده، محدود شده است. کمیسیون مشترک متخصصان $FAO^1/IAEA^2/WHO^3$ در سال ۱۹۸۰ استفاده از تیمار پرتودهی تا حد ۱۰ کیلوگری را برای مواد غذایی تأیید کرده است و در حال حاضر، بیشتر از ۴۰ کشور، استفاده از پرتودهی را برای بیش از ۶۰ ماده غذایی مجاز تعیین کرده‌اند [۳]. عموماً پس از فرآیند پرتودهی، بخشی از میکروب‌ها یا تمامی آن‌ها غیر فعال شده و در نتیجه ماندگاری محصول افزایش می‌یابد. مکانیسم غیر فعال شدن میکروب‌ها، ناشی از آسیب مستقیم اسیدهای نوکلئیک^۴ یا به طور غیر مستقیم ناشی از ایجاد رادیکال‌های اکسید کننده‌ای است که از پرتودهی مولکول آب حاصل می‌شود. از آنجایی که مواد بسته‌بندی شفاف هستند، در بیشتر موارد محصول پس از بسته‌بندی تحت تیمار پرتو افکنی قرار می‌گیرد [۱]. با توجه به این مسئله لازم است که تغییرات بسته‌بندی و تعاملات آن با ماده غذایی داخل بسته به ویژه از دیدگاه ایجاد ترکیبات جدید و مهاجرت مواد به ماده غذایی مورد توجه قرار گیرد. فیلم‌های پلاستیکی در این فرایند، بیشترین کاربرد را دارند و بیشترین مطالعات انجام شده مربوط به این دسته از مواد بسته بندی است. مطالعاتی نیز در حوزه سایر مواد بسته‌بندی انجام شده است. برای مثال، در اثر تغییرات ساختاری شیشه، پرتودهی سبب بی رنگ شدن و افزایش اکسیژن می‌گردد. افزایش اکسیژن پدیده مطلوبی نیست زیرا ممکن است ماندگاری ماده غذایی را کاهش دهد [۳]. تغییرات ساختاری در پلاستیک‌ها شامل تغییر درجه کریستالی^۵، نفوذ پذیری، ساختار سطحی و تغییرات پس از پرتودهی در طی نگه‌داری است. از نظر شیمیایی، در نتیجه پرتودهی پلاستیک‌ها دو پدیده ایجاد اتصالات عرضی و شکستن زنجیره‌ها قابل انتظار است.

- 6- Polypropylene
- 7- Polyethylen
- 8- Polyethylene terephthalate
- 9- PolyAmide
- 10- PolyStyrene
- 11- Polymers
- 12- Polyethyleneglycol
- 13- Ethylene vinyl alcohol
- 14- Cellulose
- 15- Gama radiation

- 1- Food and agriculture organization(FAO)
- 2- International atomic energy agency
- 3- World health organization(WHO)
- 4- Nucleic acid
- 5- Crystalline

ماده بسته بندی را برای محصولاتی که تحت تیمار پرتو دهی گاما قرار می گیرند می گیرند، پیشنهاد کردند.

محققان [۸] تأثیر پرتو دهی تا حد ۳۰ کیلوگری را بر فیلم های ^۱HDPE، ^۲LDPE و ^۳PS بررسی و گزارش کردند که پرتو دهی، تغییری در نفوذ پذیری به اکسیژن، دی اکسید کربن و نیز خصوصیات مکانیکی ایجاد نکرد. پرتو دهی فیلم پلی کاپرولاکتون حاوی نانو کریستال های سلولز با شدت ۱۰ کیلوگری پرتو گاما، سبب بهبود خواص مکانیکی، ۱۵۶ درصد افزایش در مقاومت به کشش، ۱۲۳ درصد در مدول کششی و ۸۰ درصد در زمان پارگی گردید. همچنین نفوذ پذیری به بخار آب، دی اکسید کربن و اکسیژن بین ۲۵ تا ۳۵ درصد کاهش یافت [۹]. همچنین محققان [۱۰] تغییری در نفوذ پذیری به اکسیژن و بخار آب کیسه های پلی اتیلن که به مدت ۱۰ روز تحت تیمار پرتو گاما قرار داشتند مشاهده نکردند، بر اساس گزارش محققان [۱۱] تغییر معنی داری در ساختار مولکولی LDPE و ^۴OPP در دزهای پایین پرتو دهی (۵۰-۱۰ کیلوگری) مشاهده نشده است؛ اما دزهای ۱۰۰ کیلوگری و بالاتر باعث افزایش نفوذ به دی اکسید کربن و افزایش تعداد پیوندهای دو گانه در ساختار پلی مر گردید. نفوذ پذیری به اکسیژن در فیلم های LDPE و OPP پرتو داده شده تا دوزهای بالاتر از ۲۵ کیلوگری تغییر معنی داری نداشت. محققان [۱۲] تأثیر پرتو دهی گاما با شدت های ۸، ۱۰ و ۱۵ کیلوگری را بر ویژگی های کاربردی دو فیلم مورد استفاده در بسته بندی ادویه را مورد بررسی قرار دادند. فیلم ^۵PET/PET/LLDPE نسبت به فیلم BOPP/CPP به پرتو دهی مقاوم تر بوده و خواص ممانعت کنندگی آن در شدت ۱۵ کیلوگری بهبود یافت. پرتو دهی با شدت بیشتر از ۱۲۰ کیلوگری، سبب افزایش مقاومت کششی فیلم دو لایه PET/PP گردید؛ اما مقاومت به سوراخ شدن و دوخت کاهش یافت [۱۳]. فیلم های

پلاستیکی که حاوی گروه های فنیل یا پیوندهای آمیدی هستند، مقاوم ترین پلی مرها به پرتو دهی هستند، زیرا انرژی رزونانس در این پلی مرها افزایش می یابد [۱۴]. در زمینه تأثیر پرتو دهی بر فیلم های بسته بندی بر پایه مواد طبیعی و زیست تخریب پذیر نیز مطالعاتی انجام شده است. تأثیر پرتو گاما (با شدت های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوگری) بر پروتئین زئین ذرت^۶ که برای بهبود کارایی فیلم های بر پایه زئین برای کاربردهای بسته بندی به کار می رود، نیز توسط محققان [۱۵] بررسی شد. بر پایه اندازه گیری ویسکوزیته^۷، اعمال اشعه گاما روی محلول زئین باعث تخریب یا تجمع مولکول های زئین با تغییر در مقدار ویسکوزیته گردید. مقاومت کششی تحت تأثیر پرتو دهی با شدت ۲۰ کیلوگری کاهش یافت ولی با افزایش شدت پرتو دهی، درصد مدول افزایش یافت. فیلم هایی که از محلول پرتو داده شده زئین حاصل گردید، دارای نفوذ پذیری کمتری نسبت به بخار آب در مقایسه با فیلم های شاهد بود و با افزایش شدت پرتو دهی این مقدار کمتر نیز گردید. محلول های پنج درصدی از کازئینات کلسیم^۸ به همراه پروپیلن گلیکول^۹ در سطوح مختلف در دز های بین ۰ تا ۱۲۸ کیلوگری پرتو دهی شد و با استفاده از کروماتوگرافی^{۱۰} تأثیر پرتو دهی بر واکنش های تشکیل اتصالات عرضی بررسی شد. تحلیل نتایج نشان داد وزن مولکولی هنگامی که پرتو دهی با شدت ۱۲۸ کیلوگری انجام شده است، ۱۰ برابر و در شدت ۶۴ کیلوگری ۵ برابر افزایش یافته است. ایجاد اتصالات عرضی باعث شد بیوفیلم های^{۱۱} تهیه شده با محلول های پرتو داده شده، کشش پذیری بیشتری داشته باشد [۱۶].

- 6- Corn zein
- 7- Viscosity
- 8- Calcium caseinate
- 9- Propylene glycol
- 10- Chromatography
- 11- Biofilm

- 1- High density polyethylene
- 2- Low density polyethylene
- 3- Polystyrene
- 4- Oriented polypropylene (OPP)
- 5- Linear low density polyethylene

۲-۲- واکنش‌های شکستن زنجیره پلی‌مر

در تقابل با واکنش اتصالات عرضی، واکنش غالب در حضور اکسیژن، شکستن زنجیره است و باعث ایجاد مولکول‌های با وزن پایین‌تر از پلی‌مرها یا افزودنی‌های پلی‌مر می‌شود. این مولکول‌ها تمایل زیادی به مهاجرت و واکنش با سایر مولکول‌ها دارند. مولکول سلولز که جزء اصلی کاغذ است، هنگامی که در معرض پرتو دهی قرار می‌گیرد، دچار شکستن زنجیره شده و این پدیده سبب کاهش خواص مکانیکی کاغذ می‌گردد [۳]. مطالعات محققان [۱۷] نشان داد پرتو دهی با شدت بیشتر از ۲۵ کیلوگری سبب شکستن زنجیره‌های پلی‌مری در فیلم $PVDC^2/PVC^1$ شده و سبب افزایش شدت مهاجرت ترکیب نرم‌کننده $ATBC^3$ با افزایش شدت پرتو دهی گردید. در نتیجه شکستن زنجیره ممکن است ترکیبات زیادی به ویژه ترکیبات فرار ایجاد گردد. پس از پرتو دهی فیلم‌های $LDPE^4$ ، EVA^4 و $PET/PE/EVOH^5/PE$ با شدت بالاتر از ۱۰۰ کیلوگری، بیش از ۱۰۰ ترکیب مختلف ایجاد شده است که بیشتر این ترکیبات، هیدروکربن‌ها^۶ به صورت اشباع و غیراشباع، الکل‌ها، آلدهیدها^۷، کتون‌ها^۸، اسیدهای کربوکسیلیک^۹ و غیره بودند [۱۴]. بخش زیادی از این ترکیبات به ویژه اسیدهای کربوکسیلیک، آلدهیدها و کتون‌ها عامل ایجاد بوی نامطبوع و تشکیل لکه روی بسته‌بندی هستند. نوع ترکیبات ایجاد شده به فرمولاسیون پلی‌مر بسته‌بندی و دوز پرتو دهی بستگی دارد [۱۸]. محققان [۱۱] ۱۰۰ ترکیب فرار را در فیلم $LDPE$ پرتو دهی شده با پرتو الکترونی شناسایی کردند. در مطالعه دیگر ۳۸ ترکیب فرار در فیلم پلی‌پروپیلن پرتو داده شده

تحت شرایط ۱۰ و ۲۰ کیلوگری اشعه گاما شناسایی شدند [۱۹]. هر دو نوع واکنش اتصالات عرضی و شکستن زنجیره به صورت تصادفی ایجاد می‌شود و وابسته به دوز پرتو دهی و مقدار اکسیژن اتمسفر است.

در برخی موارد طی پرتو دهی، اتصالات عرضی و شکستن زنجیره به صورت همزمان در بسته رخ می‌دهد [۱]. محققان [۲۰] طی پرتو دهی فیلم پلی‌پروپیلن با پرتو الکترونی (در محدوده ۲۵ تا ۱۵۰ کیلوگری)، تشکیل ترکیبات اکسیدکننده، شکستن زنجیره و ایجاد اتصالات عرضی را تأیید کردند. در صورتی که اکسیژن موجود باشد رادیکال‌های آلکیل^{۱۰} موجود به سرعت اکسید شده و به ترکیبات پر اکسید، هیدرو پر اکسید، الکل، آلدهید، اسیدهای کربوکسیلیک و پر اکسید تبدیل می‌شوند [۱]. در غیاب اکسیژن، رادیکال‌های آلکیل واکنش داده و گروه‌های فعالی را ایجاد می‌کنند که مسئول ایجاد اتصالات عرضی است. در پلی‌پروپیلن تحت تأثیر پرتو دهی الکترون، به دلیل اینکه در سطح فیلم اکسیژن زیادی وجود دارد واکنش‌های اکسیداسیون رخ می‌دهند؛ اما در عمق فیلم که به دلیل نفوذ پذیری پایین فیلم، اکسیژن کمی وجود دارد، اتصالات عرضی ایجاد می‌گردند [۲۰]. در مطالعه‌ای که توسط محققان [۲۱] روی PS ، PC^{11} و PVC انجام شده است، فیلم‌ها در معرض اشعه گاما (در محدوده ۵ تا ۲۰۰ کیلوگری) قرار گرفتند. مقدار مونومرهای استایرن در پلی‌مر PS در محدوده ۳۰-۵ کیلوگری با افزایش شدت پرتو دهی از ۷۴۰ به ۷۷۷ PPM افزایش یافت؛ اما با افزایش شدت پرتو دهی کاهش یافت. مونومرهای سایر پلی‌مرها وابستگی به شدت دوز نشان ندادند و عموماً مقدار مونومرهای آزاد با پرتو دهی افزایش یافت. به نظر می‌رسد گروه‌های آروماتیک^{۱۲} در PS و PC به پرتو دهی مقاوم‌تر بودند. گزارش شده است که واکنش‌های شکستن زنجیره و اتصالات عرضی وابسته به دوز پرتو دهی و حساسیت ساختار مولکولی پلی‌مر است. آن‌ها دریافتند که مقدار

- 1- Polyvinyl chloride
- 2- Polyvinylidene chloride
- 3- Acetyl tributyl citrate
- 4- Ethylene vinyl acetate
- 5- Ethylene vinyl alcohol
- 6- Hydrocarbon
- 7- Aldehyde
- 8- Ctone
- 9- Carboxylic acids

- 10- Alkyl
- 11- Polycarbonate
- 12- Aromatic

منومر استایرن در دُزهای پایین تا سطح ۱۰ کیلوگری افزایش یافت در حالی که مقدار آن در دُزهای بالاتر (۳۰ تا ۲۰۰ کیلوگری) کاهش پیدا کرد. این محققان بیان کردند که در دُزهای پایین، واکنش‌های شکستن زنجیره و در دُزهای بالاتر، واکنش‌های اتصالات عرضی غالب است.

۲-۳- تجزیه ترکیبات افزودنی مواد بسته‌بندی

علاوه بر ترکیباتی که از شکستن زنجیره پلی‌مر حاصل می‌شود، ممکن است ترکیبات مهاجر جدیدی نیز از تغییر افزودنی‌های پلی‌مر ایجاد شود. محتمل‌ترین ترکیبات برای شرکت در واکنش‌های فعال شده با پرتو یونیزه کننده، پایدارکننده‌هایی مانند آنتی‌اکسیدان‌ها^۱ هستند که جانشین پلی‌مر در واکنش‌های اکسیداسیون هستند. بخش عظیمی از آنتی‌اکسیدان‌های افزوده شده به پلی‌مر پس از پرتودهی قابل بازیابی نیستند که نشان می‌دهد ترکیبات آنتی‌اکسیدان تجزیه و تخریب شده‌اند. بررسی تأثیر اشعه گاما در محدوده صفر تا ۲۰۰ کیلوگری بر محتوای آنتی‌اکسیدانی فیلم LDPE نشان داد که پرتودهی به شدت مقدار آنتی‌اکسیدان را کاهش می‌دهد، به طوری که در شدت پرتودهی ۵ کیلوگری آنتی‌اکسیدان قابل اندازه‌گیری نبود [۲۲]. یک محقق [۲۳] بیان کرد که محتوای آنتی‌اکسیدانی مورد استفاده در PE، PP، PS تجاری با افزایش دُز پرتودهی از ۱۰ به ۵۰ کیلوگری، به میزان قابل توجهی کاهش پیدا کرد. آنتی‌اکسیدان‌ها ممکن است به چندین نوع مولکول با وزن مولکولی پایین تجزیه شوند. با توجه به تأثیر شدید پرتودهی بر آنتی‌اکسیدان‌های پلی‌مر، پتانسیل مهاجرت محصولات حاصل از تجزیه آنتی‌اکسیدان‌ها به طور کامل برای پلیمرهای مختلف شامل PE، PP، PVC، PS و PET مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱۸، ۲۲ و ۲۴]. محققان [۲۵] بیان کردند مهاجرت کل^۲ از PVC تحت شرایط پرتودهی با دُزهای پایین ۳-۱۵ کیلوگری افزایش یافت؛ اما در دُزهای بالاتر از ۱۵ کیلوگری سرعت مهاجرت کاهش یافت که این پدیده را به تشکیل ساختار سه

بعدی در پلی‌مر مرتبط دانستند. همچنین تغییرات پلی‌مرها در طول زمان پس از پرتودهی باید مد نظر قرار گیرد. بررسی تغییرات در سطوح آنتی‌اکسیدان توسط یک محقق [۲۶] در طول ۶ ماه پس از پرتودهی با پرتو گاما نشان می‌دهد که دوره پس از پرتودهی، نقش مهمی در شدت مهاجرت افزودنی‌ها از مواد بسته‌بندی به مواد غذایی دارد. در مطالعه محققان [۸] در شدت پرتو ۳۰ کیلوگری مهاجرت کل در فیلم BOPP^۳ افزایش ولی در فیلم HDPE^۴ کاهش یافت. تغییرات پس از پرتودهی طی دوره نگهداری می‌تواند به دلیل وجود رادیکال‌هایی باشد که در نواحی کریستالی پلی‌مر محبوس شده‌اند. سایر افزودنی‌ها مانند نرم‌کننده‌ها نیز ممکن است در برابر پرتودهی ناپایدار باشند. بررسی اثر پرتودهی با دُز بالا روی مهاجرت نرم‌کننده‌های دی‌اکتیل آدیپات^۵ (DOA) و استیل تری بوتیل سیترات (ATBC) در فیلم‌های PVC و PVDC/PVC در روغن زیتون نشان داد که در فیلم‌های پرتو دیده در شدت ۲۰ کیلوگری نسبت به فیلم‌های پرتو داده نشده به طور قابل توجهی مقادیر بالاتری از DOA به روغن زیتون مهاجرت کرده است؛ اما به لحاظ آماری، تفاوت معنی‌داری بین سطوح مهاجرت ATBC مشاهده نشد [۱]. تعداد قابل توجهی از بسته‌بندی‌های انعطاف پذیر و تعداد زیادی از فرآورده‌های غذایی بعد از پرتودهی ایمن هستند. پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، سلوفان^۶ و نایلون^۷ برای بسته‌بندی ماهی جهت پرتودهی، مناسب تشخیص داده شده‌اند [۳].

۲-۴- نتایج حاصل از تأثیر پرتوهای یونیزه‌کننده بر

مواد بسته‌بندی

نتایج مختلفی از تأثیر تیمار پرتودهی بر مواد بسته‌بندی حاصل شده است. ارزیابی کلی در مورد تأثیر پرتودهی بر

3- Biaxially oriented polypropylene film

4- High density polyethylene

5- Dioctyl adipate

6- Cellophane

7- Nylon

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون

1- Antioxidant

2- Overall migration

مواد غذایی است که تحت تیمار مایکروویو قرار می‌گیرد [۳]. عموماً برای مواد غذایی مانند پیتزا که لازم است حالت برشته شدن در آن ایجاد شود از لایه‌های پوشش فلزی استفاده می‌شود تا حرارت را به سطح محصول منعکس کرده و آن را برشته کند. این پوشش‌ها از یک لایه کاغذ پوشش داده شده با لایه نازک آلومینیوم و با محافظ از جنس PET ساخته می‌شود [۱]. در حین پخت، امواج مایکروویو به وسیله لایه فلزی به سطح ماده غذایی منعکس می‌گردد. این پدیده، سبب افزایش سریع دمای سطح ماده غذایی شده و باعث برشته شدن سطح می‌گردد. نکته مهم این است که دمای لایه فلزی در سطح، ممکن است به ۳۵۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد برسد و این دما خیلی بیشتر از دمایی است که در آن‌های معمولی یا آن مایکروویو بدون لایه پوششی ایجاد می‌گردد. این دما مهاجرت مولکول‌های با وزن کم را از بسته‌بندی به ماده غذایی تشدید می‌کند. همچنین ممکن است پدیده‌های دیگری همچون تغییر مواد و واکنش‌های تجزیه اجزای ماده بسته‌بندی نیز رخ دهد. با توجه به اینکه مواد غذایی عموماً به صورت بسته‌بندی شده تحت فرایند مایکروویو قرار می‌گیرد، لازم است در زمینه بسته‌بندی مواد غذایی در این فرایند، دانش و اطلاعات کافی به جهت تأمین ایمنی مصرف‌کننده لحاظ گردد. در نتیجه، توجه ویژه‌ای در مورد لایه‌های پوششی و موادی که در ساخت این پوشش‌ها به کار رفته و همچنین بسته‌بندی مواد غذایی به منظور پخت در مایکروویو ایجاد شده است. بیشتر تحقیقات در این زمینه در رابطه با مهاجرت افزودنی‌ها از مواد بسته‌بندی مورد استفاده در فراوری با مایکروویو است.

۳-۱- برهم‌کنش‌های ماده غذایی و بسته‌بندی تحت

تأثیر تیمار مایکروویو

تأثیر تیمار مایکروویو روی برهم‌کنش‌های ماده غذایی و بسته‌بندی طی پخت مایکروویو را می‌توان با توجه به نوع کاربرد بسته‌بندی، مورد بررسی قرار داد:

مواد بسته‌بندی رایج و افزودنی‌های پلی‌مر دشوار است زیرا به نوع ماده بسته‌بندی، ترکیب و غلظت افزودنی‌ها و دُز پرتودهی بستگی دارد؛ اما پرتودهی به میزان زیادی افزودنی‌هایی مانند آنتی‌اکسیدان‌ها را تجزیه و محصولات جدید ایجاد می‌کند که در مواردی ممکن است منجر به ایجاد بوهای نامطلوب گردد. در بحث رعایت قانون در انتخاب مواد بسته‌بندی مناسب جهت پرتودهی به دُز پرتودهی و مقایسه با پلی‌مر پرتو ندیده، بایستی دقت کرد. انجام آزمون به جهت بررسی شرایط فرآیند بر بسته‌بندی و همچنین مهاجرت ترکیبات، لازم است رعایت ایمنی مواد غذایی در به‌کارگیری روش‌های نوین مورد نظر قرار گیرد.

۳- اثر تیمار مایکروویو بر بسته‌بندی

پخت با مایکروویو در خانه‌ها از سال ۱۹۸۰ آغاز گردید و امروزه به طور گسترده‌ای کاربرد دارد. در این فرایند، تشعشع امواج فرکانس رادیویی با استفاده از مگنوترون^۱ ایجاد می‌گردد. این امواج از فلزات عبور کرده و توسط ماده غذایی جذب می‌گردد. امواج مایکروویو سبب می‌شود تا مولکول‌های آب درون غذا دچار ارتعاش شود و به محض رسیدن امواج به ماده غذایی، باعث می‌گردد دمای آن افزایش یابد. سرعت پخت در این روش بالاتر از آن‌های^۲ مرسوم است. امروزه، این روش به طور گسترده‌ای به منظور پخت سریع یا گرم کردن غذاهای آماده مصرف در منازل و همچنین در صنایع غذایی کاربرد دارد. شیشه، کاغذ، سرامیک یا ظروف پلاستیکی برای پخت با مایکروویو مناسب هستند زیرا آن‌ها مانع رسیدن امواج به ماده غذایی نیستند. در این فرایند، دمای ظرف محتوی غذا به دلیل تماس با ماده غذایی افزایش می‌یابد. ظروف فلزی به دلیل اینکه امواج را منعکس می‌کنند، در آن مایکروویو قابل استفاده نیستند [۱]. فیلم پلی‌پروپیلن^۳ پلی‌اتیلن ترفتالات پوشش داده شده با یک لایه با ممانعت بالا مانند اتیلن وینیل الکل، پلی‌وینیلیدین کلراید یا پلی‌اتیلن و لایه‌های پوششی، مواد معمول برای بسته‌بندی

- 1- Magnetron
- 2- Oven
- 3- Polypropylene

الف - بسته‌بندی‌های یک‌بار مصرف: این بسته‌بندی‌ها که مستقیماً در کارخانه برای محصولات غذایی آماده مصرف پیش بسته‌بندی شده به کار می‌رود و این بسته‌بندی‌های یک‌بار توسط مصرف‌کننده به منظور حرارت‌دهی مجدداً و پختن غذای داخل بسته استفاده می‌شود.

ب - بسته‌بندی‌های چند بار مصرف: این بسته‌بندی‌ها که توسط مصرف‌کننده خریداری شده و برای استفاده در منزل جهت حرارت‌دهی مجدداً و پخت وعده‌های غذایی کاربرد دارد. در تولید این ظروف عموماً از پلی‌استرهای ترموست^۱ و پلی‌کربنات‌ها^۲ استفاده می‌شود [۲۷]. این ظروف چندین بار درون آون مایکروویو قرار گرفته و همچنین مورد شستشو قرار می‌گیرد. محققان [۲۸] بیان کردند که پیش‌بینی صحیح در مورد مهاجرت در این موارد آسان نیست و حد استفاده‌ای برای این ظروف مشخص نشده و بستگی به نظر مصرف‌کننده دارد. این دسته از محصولات، ممکن است به شدت تخریب شوند. برای مثال، ظروف شیشه شیر نوزادان و کودکان ممکن است چندین بار درون آون مایکروویو قرار گیرد و به همین دلیل، نگرانی‌هایی در مورد ایمنی این ظروف وجود دارد.

۳-۲- تغییرات ساختاری مواد بسته‌بندی تحت تأثیر مایکروویو

بررسی عمومی تحقیقات، نشان می‌دهد که افزایش دما طی تیمار مایکروویو، باعث برخی تغییرات در مواد بسته‌بندی می‌گردد:

الف - تغییر در ساختار کریستالی که منجر به کاهش ظرفیت گرمایی لایه پوششی می‌شود.

ب - ایجاد شکستگی، سوراخ و شیار.

ج - تغییر در لایه فلزی که منجر به کاهش ظرفیت حرارتی ماده می‌گردد [۱].

در زمینه تأثیر مایکروویو روی خواص مکانیکی مواد بسته‌بندی دو مطالعه شامل تأثیر مایکروویو روی PET که

شامل خواص دی‌الکتریک و یکپارچگی ساختار لایه‌های پوششی دیگر توسط محققان [۲۹] و پلی‌پروپیلن توسط محققان [۳۰] انجام شده است. در مطالعه محققان [۳۰]، بیان شد که بعد از چند بار حرارت‌دهی، درصد بلورینگی بطری پلی‌پروپیلن از ۴۷/۴ به ۴۴/۸ درصد کاهش یافت که باعث کاهش مقاومت آن گردید. مایکروویو روی درصد بلورینگی پلی‌مر در پلی‌مرهای زیستی، نشاسته ذرت با ۳۰ درصد رطوبت، نیز تأثیرگذار است؛ مشاهده شده است امواج مایکروویو ساختار کریستالی جدیدی در نشاسته ذرت ایجاد می‌کند به طوری که بعد از بیست دقیقه تیمار مایکروویو، ساختار کریستالی با نظم بیشتری مشاهده شد که ناشی از ذوب کریستال‌های ناقص و تشکیل مجدداً کریستال است [۳۱].

۳-۳- تأثیر مایکروویو بر پدیده مهاجرت

دو مسئله اصلی در رابطه با تأثیر مایکروویو بر پدیده مهاجرت وجود دارد:

الف - تأثیر مستقیم امواج مایکروویو.

ب - تأثیر غیر مستقیم امواج مایکروویو به واسطه افزایش دما در نتیجه گرم کردن ماده غذایی.

محققان [۲۸] تلاش کردند تا این دو اثر را تفکیک کنند. آن‌ها مواد بسته‌بندی را به مدت ۱۲ ساعت در معرض مایکروویو در دمای ثابت قرار دادند. در این آزمایش از فیلم‌های PET و PVDC/PVC استفاده شدند و تغییری در مهاجرت چندین الیگومر^۳ و یک آنتی‌اکسیدان مشاهده نشد، این محققان نتیجه گرفتند که افزایش مهاجرت هنگام و بعد از تیمار مایکروویو، تنها به واسطه افزایش دما است. محققان در دو تحقیق مجزا (۳۳-۳۲) اثر مایکروویو را بر مهاجرت در چندین پلاستیک مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس این مطالعات، پلی‌مر PVC بالاترین نرخ مهاجرت را بعد از ۳ دقیقه در ۸۰۰ وات مایکروویو دارد. مهاجرت در حدود ۲۰ درصد در اسید

1- Thermoset polysters

2- Polycarbonat

آمورف^۴ بیشتر شده و در نتیجه تحرک بیشتری برای ترکیبات نرم‌کننده فراهم شد که منجر به مهاجرت بیشتر گردید. محققان^۵ مهاجرت دو ترکیب دی اتیلن گلیکول دی بنزوات^۶ (DEGDB) و دی پروپیلن گلیکول دی بنزوات^۷ (DPGDB) از لایه پوششی دارای فیلم PET به پنج شبیه‌ساز روغن و خلال سیب زمینی سرخ شده را در دماهای ۱۱۵، ۱۴۹ و ۱۷۶ درجه سانتی‌گراد بررسی کردند. هر دو ترکیب مورد آزمایش در روغن‌های شبیه‌ساز و خلال سرخ شده سیب زمینی شناسایی شد. این نتایج نشان داد که PET مانع مناسبی برای این نوع مولکول‌ها نیست و کاملاً به ترکیبات نرم‌کننده، در محدوده دمایی مورد بررسی در تیمار میکروویو به مدت ۳ دقیقه و توان ۶۴۴ وات نفوذ پذیر است. شدت بالای مهاجرت بعضی ترکیبات نرم‌کننده از لایه پوششی در بررسی پنجاه و چهار لایه پوششی تجاری به مواد غذایی گزارش شده است. شدت مهاجرت تا حد ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم نیز در رابطه با پیتزای پخته شده درون بسته‌بندی در بعضی لایه‌های پوششی مورد بررسی مشاهده شد. محققان^۸ تخریب و مهاجرت دو ترکیب آنتی‌اکسیدانی ۱۶۸ آرگافس^۹ و ۱۰۱۰ آرگانکس^{۱۰} را تحت تیمار میکروویو (۹۵ وات و دمای ثابت ۸۰ درجه) در فیلم‌های پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تیمار میکروویو باعث تخریب آنتی‌اکسیدان‌ها در حضور شبیه‌ساز غذاهای چرب شده و مهاجرت را افزایش داد. در حالی که در آون معمولی و در همان دما، تخریب آنتی‌اکسیدان مشاهده نشد. ایزواکتان در مقایسه با آب میزان مهاجرت بیشتری را نشان داد. این محققان در مطالعه‌ای دیگر^{۱۱} مشاهده کردند فیلم پلی‌پروپیلن در مقایسه با پلی‌مر ترکیبی پلی‌پروپیلن-اتیلن به دلیل اینکه ساختار کریستالی بیشتری دارد در برابر

استیک^۱، ۵۰ درصد در الکل ۱۵ درصد و ۷ برابر در آب افزایش یافت؛ اما سایر پلی‌مرهای مورد مطالعه، PA, PP, PE/PA/PET-PE, BOPP/PA/PA/PE, PE/PA/PE, PA/PE و PA/PA/surlyn در برابر میکروویو پایدار بودند. به طور مشخص، دما عاملی مهم و در واقع فعال‌کننده برای بسیاری از واکنش‌هاست و به ویژه واکنش‌های تجزیه اجزای درون مواد بسته‌بندی مانند اجزای پلی‌مر و افزودنی‌ها تحت تأثیر دما قرار دارد. برخی محققان نرخ مهاجرت را با وزن مولکولی ماده مهاجر مرتبط دانستند. ماده ATBC با وزن مولکولی ۴۰۲ گرم در مول شدت مهاجرت پنج برابر کمتر از دی اتیل هگزیل آدیپات^۲ (DEHA) با وزن مولکولی ۳۷۰ گرم در مول داشت؛ اما در هر حال شدت مهاجرت آن، دو برابر افزودنی‌های پلی‌مری در PVC گزارش شد^[۱]. مقدار کل مهاجرت از الیگومرهای مواد PET، در لایه‌های پوششی در محدوده ۰/۰۲ تا ۲/۳۳ قرار دارد. در طرف دیگر، مقدار مهاجرت برای همان ماده غذایی در آون معمولی و ظرف PET، ۱۰ برابر کمتر بود. میزان مهاجرت، به دما و زمان پخت، ماهیت ماده غذایی، میزان تماس بین ماده غذایی و فیلم بسته‌بندی بستگی دارد^[۳]. محققان^[۳۵] بیان کردند مهاجرت ترکیبات نرم‌کننده از پلی‌مر به ماده غذایی شدیداً وابسته به زمان حرارت‌دهی، محتوای چربی گوشت و غلظت اولیه آن در بسته‌بندی دارد؛ اما به طور کلی، میزان مهاجرت کمتر از زمانی است که از روش‌های معمولی حرارت‌دهی استفاده می‌شود. تأثیر تیمار میکروویو روی مهاجرت ترکیبات نرم‌کننده و تغییر در ساختار فیلم استر نشاسته در حضور ماده غذایی شیر توسط محققان^۳ مطالعه شد؛ نتایج نشان داد میکروویو سبب تسریع مهاجرت در مقایسه با تیمار شاهد در دمای ۳۰ درجه گردید. علت این پدیده تسهیل ورود آب و مولکول‌های چربی به منافذ و ساختار فیلم بسته‌بندی تحت تأثیر میکروویو بوده است. بررسی‌ها نشان داد ساختار کریستالی فیلم نشاسته تغییر یافته و صفحات ساختمان کریستالی به یکدیگر نزدیک تر و فضاهای

- 4- Amorphous
- 5- Begley T.H., Gay M.L., Hollifield H.C
- 6- Diethylene glycol dibenzoate
- 7- Dipropylene glycol dibenzoate
- 8- Alin J., Hakkarainen M
- 9- Irgafos
- 10- Irganox
- 11- Alin J., Hakkarainen M.,

- 1- Acetic acid
- 2- Diethylhexyl adipate
- 3- Huang C., Zhu J., Chen L., Li L., Li X

مهاجرت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مقاوم‌تر است. اندازه‌گیری مهاجرت از PET به چند ماده شیشه ساز مختلف نشان داد تیمار مایکروویو مهاجرت الیگومرهای حلقوی را به ویژه در حضور اتانول^۱ افزایش می‌دهد.

مهاجرت ترکیبات از بسته‌های نایلون مورد استفاده در آون مایکروویو توسط محققان^۲ مورد مطالعه قرار گرفت. در بین ترکیبات مختلف فرار و غیر فرار ایجاد شده، مشاهده شد که بعضی مونومرها^۳ و الیگومرها به میزان بالایی طی فرایند حرارت‌دهی - یک ساعت در دمای ۱۷۵ درجه در آون معمولی به منظور شبیه‌سازی افزایش دما طی حرارت‌دهی در آون مایکروویو - به روغن مهاجرت می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد ۴۲ درصد از مقدار کل مونومرها و الیگومرهای موجود در مواد لایه پوششی برشته کردن مواد غذایی به روغن مهاجرت کرده است. نکته کلی که از بعضی تحقیقات در این حوزه می‌توان گرفت، این است که مهاجرت ترکیبات مضر به مواد غذایی چرب و سرخ شده باید مورد توجه قرار گیرد و نگرانی‌هایی در رابطه با اینکه این دسته از مواد غذایی در آون مایکروویو حرارت‌دهی مجدداً شده یا پخته می‌شود وجود دارد.

مهاجرت ترکیبات از ظروفی مانند شیشه شیر کودکان نیز مسئله مهمی است. ترکیب بیسفنول آ^۴ (BPA) عموماً در ظروف پلی‌کربنات برای استفاده در آون مایکروویو مانند شیشه شیر کودکان وجود دارد. محققان [۲۷] میزان مهاجرت این ترکیب را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند اگر کل مقدار این ترکیب در بسته‌بندی به ماده غذایی مهاجرت کند، این میزان تقریباً دو برابر حد مجاز مهاجرت است. همچنین ممکن است این ترکیب از تجزیه پلی‌کربنات‌ها نیز ایجاد گردد. محققان از آب تقطیر شده به عنوان ماده غذایی استفاده کردند؛ اما مطالعات محققان دیگر نشان می‌دهد حساسیت پلی‌کربنات‌ها به تجزیه شیمیایی در دماهای بالا، در

محلول‌های قلیایی مانند آب قلیایی، آب محتوی دترجنت^۵ و آب محتوی ترکیبات استریل‌کننده که برای بهداشتی کردن شیشه شیر استفاده می‌شود، بیشتر است. محققان^۶ مهاجرت یکی از ترکیبات جوهرهای مورد استفاده در کاغذ به نام بنزوفنون^۷ را از مواد مورد استفاده در لایه پوششی به مواد غذایی مطالعه کردند. بررسی‌ها نشان داد این ترکیب حتی طی دوره ننگه داری در انجماد نیز از بسته‌بندی به ماده غذایی مانند چیپس سیب زمینی مهاجرت می‌کند. تیمار مایکروویو به طور قابل توجهی مهاجرت این ترکیب را وقتی ماده منجمد حرارت می‌بیند و با فناوری لایه پوششی برشته می‌شود، افزایش می‌دهد.

۳-۴- تأثیر مایکروویو بر ایجاد ترکیبات فرار در ماده بسته بندی

طی حرارت‌دهی در مایکروویو، ترکیبات فرار در مواد بسته‌بندی ایجاد شده و در فضای خالی درون بسته پخش شده و جذب ماده غذایی می‌گردد. ترکیبات فرار مانند آلدهیدها، کتون‌ها، الکل‌ها و اسیدهای کربوکسیلیک موادی هستند که از مواد بسته‌بندی و لایه‌های پوششی طی فرآیند مایکروویو آزاد می‌شود. گزارش شده است، تعداد ترکیبات فرار که طی فرآیند آزاد می‌گردد بین ۳۴ تا ۱۰۵ نوع ترکیب هستند و تنوع این ترکیبات با افزایش مقدار کاغذ در مواد بسته‌بندی افزایش می‌یابد [۳]. مطالعاتی در مورد شناسایی و اندازه‌گیری ترکیبات ایجاد شده طی تیمار مایکروویو بر مواد مختلف بسته‌بندی و لایه‌های پوششی انجام داده‌اند. ترکیباتی مانند برم‌کلرومتان^۸، او-دی^۹، فلئوروبنزن^۹، بنزن^{۱۰}، تولوئن^{۱۱}، نرمال بوتیل اتر^{۱۲}،

5- Detergent

6- Johns S.M., Jickells S.M

7- Benzophenone

8- Bromochloromethane

9- 1,4-Difluorobenzene

10- Benzene

11- Toluene

12- N-butyl ether

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون

1- Ethanol

2- Soto-Valdez H., Gramshaw J.W., Vandenburg H.J

3- Monomer

4- Bisphenol A

شده طی فرآیند پخت و مقدار ترکیباتی است که ظرفیت مهاجرت دارند. تولیدکنندگان ظروف و بسته‌بندی برای استفاده در آون مایکروویو بایستی در زمینه تأثیر مایکروویو روی تجزیه ترکیبات بسته‌بندی و مهاجرت ترکیبات به مواد غذایی مطالعات کافی انجام دهند و انتظار می‌رود تا بسته‌بندی را به لحاظ فرمول و ساختار، طوری طراحی کنند تا حد مجاز در مورد مهاجرت ترکیبات طی استفاده‌های مکرر از این ظروف و رعایت ایمنی مصرف‌کننده حفظ گردد.

۵- منابع

1. Guillard V., Mauricio-Iglesias M., Gontard N., "Effect of novel food processing methods on packaging: structure, Composition, and migration properties", *Critical reviews in food science and nutrition*, 50, NO. 10, 2010.
2. Mostafavi H.A., Fathollahi H., Motamedi F., "Food irradiation: Applications, public acceptance and global trade", *African Journal of Biotechnology*, 9, NO. 20, 2010.
3. Ozen B.F., Floros J.D., "Effects of emerging food processing techniques on the packaging materials", *Trends in food science & technology*, 12, NO. 2, 2001.
4. Rouif S., "Radiation cross-linked polymers: Recent developments and new applications", *Nuclear instruments and methods in physics research section B: Beam interactions with materials and Atoms*, 236, NO. 1-4, 2005.
5. Jeon D.H., Lee K.H., Park H.J., "The effects of irradiation on physicochemical characteristics of PET packaging film", *Radiation physics and chemistry*, 71, NO. 5, 2004.
6. Żenkiewicz M., "Effects of electron-beam irradiation on some mechanical properties of polymer films", *Radiation physics and chemistry*, 69, NO. 5, 2004.
7. Jipa I.M., Stroescu M., Stoica-Guzun A., Dobre T., Jinga S.,

۲- فوران کربوکسی آلدهید^۱، استایرن^۲، بنزالدهید^۳، اتیل هگزانول^۴ در این تحقیقات شناسایی شده است. در این آزمایشات که روی کیسه‌های مخصوص برای تولید ذرت پف کرده در مایکروویو مورد استفاده قرار می‌گیرد، انجام شد و مشاهده گردد که ترکیبی مانند بنزن به دلیل حجم بالای بخار تولید شده طی پف کردن، به ذرت منتقل نشده و همراه با بخار خارج می‌گردد. مقدار ترکیب بنزن در دو نمونه از ظروف پلی‌استر ترموست مورد استفاده در آون مایکروویو به میزان ۲۹ و ۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد [۲۸]. بررسی‌ها نشان داد میزان مهاجرت بنزن در روغن زیتون و دمای ۱۷۵ درجه به مدت یک ساعت، ۱/۹ و ۵/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم است. تیمار حرارتی پلی‌مرهای سنتزی^۵ در حضور اکسیژن می‌تواند باعث تشکیل ترکیبات با بوی بد گردد. این ترکیبات به میزانی نیستند که برای مصرف‌کننده خطر مسمومیت داشته باشد؛ اما طعم را به طور نامطلوبی تغییر می‌دهد. برای مثال اکسیداسیون شیمیایی پلی‌اتیلن منجر به تشکیل آلدهیدها و کتون‌هایی شده که به شدت بودار هستند.

۴- نتیجه‌گیری

برخی از ترکیبات مانند بنزن و مواد نرم‌کننده که دارای اثر سمی نیستند، در مقادیری بالاتر از حد مجاز در قوانین به مواد غذایی مهاجرت می‌کنند. بعضی از این ترکیبات مانند بنزن طی تیمار مایکروویو به واسطه تجزیه زنجیره‌های پلی‌مری، افزودنی‌ها یا چسب‌ها ایجاد می‌گردند. مقایسه نتایج حاصل از تحقیقات به دلیل مواد مورد استفاده، نوع افزودنی‌ها و شدت تیمار مشکل است و همچنین مقایسه اثر مایکروویو با آون‌های معمولی واضح و مشخص نیست و بسته به نظر محققان دارد؛ اما نتیجه‌گیری کلی که می‌توان داشت این است که اثر مایکروویو وابسته به گرمای ایجاد

-
- 1- 2-furancarboxaldehyde
 - 2- Styrene
 - 3- Benzaldehyde
 - 4- 2-ethyl-1-hexanol
 - 5- Synthetic

- films: Influence of γ -Irradiation on structural and functional properties,” *Journal of agricultural and food chemistry*, 57, NO. 6, 2009.
16. Lacroix M., Jobin M., Mezgheni E., Srouf M., Boileau S., “Polymerization of calcium caseinates solutions induced by gamma irradiation”, *Radiation physics and chemistry*, 52, NO. 1-6, 1998.
17. Zygoura P.D., Paleologos E.K., Kontominas M.G., “Changes in the specific migration characteristics of packaging-food simulant combinations caused by ionizing radiation: Effect of food simulant”, *Radiation physics and chemistry*, 80, NO. 8, 2011.
18. Welle F., Mauer A., Franz R., “Migration and sensory changes of packaging materials caused by ionising radiation”, *Radiation physics and chemistry*, 63, NO. 3-6, 2002.
19. Tyapkova O., Czerny M., Buettner A., “Characterisation of flavour compounds formed by γ -irradiation of polypropylene”, *Polymer degradation and stability*, 94, NO. 5, 2009.
20. Aymes-Chodur C., Betz N., Legendre B., Yagoubi N., “Structural and physico-chemical studies on modification of polypropylene and its polyphenolic antioxidant by electron beam irradiation”, *Polymer degradation and stability*, 91, NO. 4, 2006.
21. Young Park G., Yong Cho S., Hoon Jeon D., Shin Kwak I., Ho Lee K., Park H.J., “Formation of monomer residues in PS, PC, PA-6 and PVC upon γ -irradiation”, *Radiation physics and chemistry*, 75, NO. 9, 2006.
22. Jeon D.H., Park G.Y., Kwak I.S., Lee K.H., Park H.J., “Antioxidants and their migration into food simulants on irradiated LLDPE film”, *LWT - Food science and technology*, 40, NO. 1, 2007.
23. Kawamura Y., Effects of Gamma Irradiation on Polyethylene, polypropylene, and polystyrene, in irradiation of food and packaging.
- Zaharescu T., “Effect of gamma irradiation on biopolymer composite films of poly(vinyl alcohol) and bacterial cellulose”, *Nuclear instruments and methods in physics Research section B: Beam Interactions with materials and atoms*, 278, NO. 0, 2012.
8. Goulas A.E., Riganakos K.A., Badeka A., Kontominas M.G., “Effect of ionizing radiation on the physicochemical and mechanical properties of commercial monolayer flexible plastics packaging materials”, *Food additives & contaminants*, 19, NO. 12, 2002.
9. Khan R.A., Beck S., Dussault D., Salmieri S., Bouchar J., Lacroix M., “Mechanical and barrier properties of nanocrystalline cellulose reinforced poly(caprolactone) composites: Effect of gamma radiation”, *Journal of Applied polymer science*, 129, NO. 5, 2013.
10. Pillette L., “Effects of ionizing treatments on packaging -food simulant combinations”, *Packaging technology and science*, 3, NO. 1, 1990.
11. Rojas Gante C.D., Pascat B., “Effects of B-ionizing radiation on the properties of flexible packaging materials”, *Packaging technology and science*, 3, NO. 2, 1990.
12. Mizani M., Sheikh N., Ebrahimi S.N., Gerami A., Tavakoli F.A., “Effect of gamma irradiation on physico-mechanical properties of spice packaging films”, *Radiation physics and chemistry*, 78, NO. 9, 2009.
13. Oliveira V.M., Ortiz A.V., Del Mastro N.L., Moura E.A.B., “The influence of electron-beam irradiation on some mechanical properties of commercial multilayer flexible packaging materials”, *Radiation physics and chemistry*, 78, NO. 7-8, 2009.
14. Riganakos K.A., Koller W.D., Ehlermann D.A.E., Bauer B., Kontominas M.G., “Effects of ionizing radiation on properties of monolayer and multilayer flexible food packaging materials”, *Radiation physics and chemistry*, 54, NO. 5, 1999.
15. Soliman E.A., Mohy Eldin M.S., Furuta M., “Biodegradable zein-based

32. Galotto M.J., Guarda A., "Comparison between thermal and microwave treatment on the overall migration of plastic materials intended to be in contact with foods", *Packaging technology and science*, 12, NO. 6, 1999.
33. Galotto M.J., Guarda A., "Suitability of alternative fatty food simulants to study the effect of thermal and microwave heating on overall migration of plastic packaging", *Packaging technology and science*, 17, NO. 4, 2004.
34. Pennarun P.Y., Dole P., Feigenbaum A., "Overestimated diffusion coefficients for the prediction of worst case migration from PET: application to recycled PET and to functional barriers assessment", *Packaging technology and science*, 17, NO. 6, 2004.
35. Badeka A.B., Pappa K., Kontominas M.G., "Effect of microwave versus conventional heating on the migration of dioctyl adipate and acetyltributyl citrate plasticizers from food grade PVC and P(VDC/VC) films into fatty foodstuffs", *Zeitschrift für lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, 208, NO. 5-6, 1999.
- American chemical society. p. 262-276. 2004.
24. Buchalla R., Boess C., Bögl K.W., "Characterization of volatile radiolysis products in radiation-sterilized plastics by thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry: screening of six medical polymers", *Radiation physics and chemistry*, 56, NO. 3, 1999.
25. Lox F., De Smet R., Walden A., "UV spectrophotometry to assess the effect of ionizing radiation upon migrational behaviour of plastics", *packaging technology and science*, 4, NO. 3, 1991.
26. Deschênes L., Carlsson D.J., Wang Y., Labrèche C., Postirradiation transformation of additives in irradiated HDPE food packaging materials: Case study of Irgafos 168 ,in irradiation of food and packaging. *American chemical society*. p. 277-289. 2004.
27. Nerín C., Fernández C., Domeño C., Salafranca J., "Determination of potential migrants in polycarbonate containers Used for microwave ovens by high-performance liquid chromatography with ultraviolet and fluorescence detection", *Journal of agricultural and food chemistry*, 51, NO. 19, 2003.
28. Jickells Sue M., Gramshaw John W., Gilbert J., Castle L., Migration into Food during Microwave and Conventional Oven Heating, in *Food and Packaging Interactions II*. 1991, *American Chemical Society*. p. 11-21.
29. Zuckerman H., Miltz J., "Changes in thin-layer susceptors during microwave heating", *Packaging Technology and Science*, 7, NO. 1, 1994.
30. Siripatrawan U., Burgess G ,.Harte B.R., "The effect of repeated microwave heating, fill level and temperature on the impact resistance of a polypropylene syrup bottle", *Packaging technology and science*, 13, NO. 5, 2000.
31. Luo Z., He X., Fu X., Luo F., Gao Q., "Effect of microwave radiation on the physicochemical properties of normal maize, Waxy maize and amylo maize V Starches", *Starch - stärke*, 58, NO. 9, 2006.

آدرس نویسنده

مشهد - دانشگاه فردوسی - دانشکده صنایع غذایی.