International Packaging Conference of Iran
کنفرانس بین المللی بسته بندی ایران
2018 December 15-16
۲۴ و ۲۵ آذر ماه ۱۳۹۷

ظروف و بسته بندی های قابل استفاده در مایکروویو و تست مهاجرت در آن ها

فاطمه علیزاده[۱]،عبدالفاتح حسینی[۲]،ناصرصداقت[۳]

چکیده

استفاده از فرهای مایکروویو یکی از مهمترین فاکتورها در پیشرفت بسته بندی می باشد. با توجه به افزایش روند استفاده از فرهای مایکروویو به دلایل مختلف از جمله سرعت حرارت دهی و امکان حرارت دهی مواد غذایی بسته بندی شده، تولید کنندگان مواد غذایی را به فکر استفاده از بسته بندی های جدیدی انداخته که در مقابل حرارت و در مایکروویو مقاوم باشد تا اهداف کامل بسته بندی را برآورده سازند. مسائلی در رابطه با تاثیر امواج مایکروویو بر روی مواد بسته بندی مخصوصا پلاستیک ها وجود دارد که منجر به بروز پدیده مهاجرت در آنها می شود.مهاجرت عبارت از انتقال ترکیبات از سطح ظروف بسته بندی به درون محصول بسته بندی شده است. این پدیده به واسطه واکنش های فیزیکی یا شیمیایی است که بین بسته بندی و مواد غذایی درون آن انجام می گیرد. به ترکیبی که در اثر تماس با بر هم کنش ها منتقل می شود، ترکیب مهاجرت کننده می گویند. بنابراین، فرایند مزبور از نظر تغییرات نامطلوب چشایی ماده بسته بندی شده و هم چنین سلامت مصرف کننده بسیار حائز اهمیت است.برای پلاستیک های بسته بندی، ترکیباتی که امکان مهاجرت دارند، شامل بقایای فرایند پلیمر شدن مانند مونومرها، اولیگومرها، حلال ها، ناخالصی های همراه ماده پلیمری به کار رفته در بسته بندی (عناصر فلزی در حد بسیار کم)، این عناصر و ناخالصی های مواد اولیه مصرفی وارد شده به پلیمر از راه فرایند تولید و کلیه ترکیبات مشتق شده از پلیمر و افزودنی های مصرفی در فرایند تولید برای بهبود محصول است. بنابراین، بسته بندی های پلاستیکی که امروزه کاربرد آن ها افزایش یافته است، به علت دارا بودن مواد افزودنی فراوان نظیر نرم کننده ها، روان کننده ها و ضد اکسنده ه جزو مستعدترین نوع بسته بندی در زمینه مهاجرت هستند. مجموعه فرایندهایی که این بسته بندی ها طی دوره فراوری متحمل می شوند، نظیر فرایند های گرمادهی، آرایش یافتگی، تبلور، قالب گیری و امثال آن که در ساختار نهایی ماده بسته بندی نقش دارند، از عوامل اثرگذار بر فرایندهای مهاجرت و جذب هستند.

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد علوم وصنایع غذایی،دانشگاه فردوسی مشهد
E-mail: f.alizadeh@mail.um.ac.ir
[2] دانشجوی کارشناسی ارشد علوم وصنایع غذایی،دانشگاه فردوسی مشهد
E-mail: abdulfateh.hosseini@mail.um.ac.ir
[3] دانشیار گروه علوم وصنایع غذایی،دانشگاه فردوسی مشهد
E-mail: Sedaghat@um.ac.ir

در این تحقیق ابتدا در مورد انواع بسته بندی های قابل استفاده در مایکروویو بحث می شود، سپس از آنجایی که پدیده مهاجرت بیشتر در رابطه با مواد پلاستیکی مطرح است بررسی مهاجرت درمواد پلاستیکی در طی فرآیندحرارت دهی درمایکروویو مورد بحث قرار گرفته است.

واژگان کلیدی:

ایمنی،بسته بندی ،مایکروویو و مهاجرت.

1- مقدمه

صنعت بسته بندی از زمان پیدایش در قرن هجدهم پیشرفت بسیار زیادی کرده است .بخشی از این پیشرفت ها مرتبط با راه کارهای بسته بندی فعال و هوشمند است، پیشرفت هایی که موجب بالا رفتن کیفیت و سلامت مواد غذایی شده است .با اینکه بخش عمده پیشرفت های حاصل شده ناشی از تغییر اولویت ها و رویکردهای مصرف کنندگان در سطح جهان بوده است، بخشی از نوآوری ها منشاء غیر منتظره ای همچون فناوری نانو دارند .شکی وجود ندارد که رویکرد جدید صنایع بسته بندی متمرکز بر تضمین سلامت و کیفیت مواد غذایی (کنترل رشد میکروب ها، به تأخیر انداختن اکسیداسیون، بهبود نظارت، حفظ طعم و بوی ماده غذایی)در کنار سهولت استفاده و پایداری بسته بندی است .با توجه به روند جهانی شدن و جهانی شدن بازارهای مصرف، فاکتورهای مذکور مهم ترین اولویت پیش روی صنعت بسته بندی مواد غذایی است . در واژه شناسی بسته بندی مواد غذایی،مهاجرت[1] عموماً برای بیان انتقال مواد از بسته به ماده ی غذایی استفاده میشود . موادی که درنتیجه تماس یا واکنش متقابل بین بسته و محصول منتقل میشوند مواد مهاجر[2] نامیده می شود. لغت مهاجرت معمولا به معنی انتقال مواد اولیه از سطح مواد بسته بندی به غذا میباشد.از این رو در طی تماس مهاجرت مواد بسته بندی که یا از پلاستیک و یا از کاغذ و مقوا و یا از موادلاکی استفاده میشوند از اهمیت خاصی برخوردار است.مهاجرت اساسا یک فرایند انتشار است که ممکن است بوسیله یک واکنش درونی ترکیبات غذا با مواد بسته بندی شدیدا تاثیر بپذیرد.این واکنش ها ممکن است خصوصیات مواد بسته بندی را تغییر دهند.به عنوان مثال مقاومت سطح تماس را کاهش داده و یا حتی باعث سخت شدن بسته گردد.ازسوی دیگر ترکیبات غذا به ویژه چربی به پلاستیک های نظیر پلی اتیلن یاپلی پروپیلن مهاجرت میکنند و تحرک پذیری مواد پلاستیکها را افزایش داده وبنابراین مهاجرت انها به مواد غذایی بسته بندی شده را افزایش میدهد .در سال های اخیر در کشور ما مصرف پلاستیک ها به فرم های مختلف نظیرفیلم ها ،لایه ها،ظروف پلاستیکی سخت و نیمه سخت متداول گردیده است.این مواد به تدریج جانشین ظروف شیشه ای و فلزی میگردند.مهاجرت از دوجنبه مورد بررسی قرار میگیرد،مهاجرت عام یا کلی که عبارتست از مجموع مواد منتقل شده از بسته به ماده غذایی(اعم از مواد شناخته شده و شناخته نشده)ومهاجرت خاص یا ویژه که عبارتست از اندازه گیری انتقال یک ترکیب خاص و شناخته شده از بسته به ماده غذایی (2).

[1] Migratin
[2] Migrant

باتوجه به این مسئله لازم است که تغییرات وتعاملات آن با مواد غذایی داخل بسته به ویژه از دیدگاه ایجاد ترکیبات جدید و مهاجرت مواد به ماده غذایی مورد توجه قرار گیرد.

2-مواد بسته بندی

عکس العمل مواد اولیه بسته بندی در مقابل امواج مایکروویو سه گونه اند.

امواج از مواد اولیه بسته بندی عبور میکند، برخی دیگر امواج را منعکس کرده و بعضی امواج مایکروویو را جذب میکنند (3).

2-1- بسته بندی های عبور دهنده امواج ماکروویو

در این نوع بسته بندی امواج مایکروویو از بسته بندی عبور کرده و جدب مواد غذایی می شوند. کاغذ، شیشه، و تمام پلی مر های رایج بسته بندی مواد غذایی، اشعه مایکروویو را از خود عبور میدهند.

2-1-1- شیشه

شیشه به عنوان قدیمی ترین مواد اولیه بسته بندی است. و هزاران سال جهت نگهداری مواد غذایی و نوشابه ها به کار رفته و به دلیل شفافیت و کیفتیت خوب از مطلوبیت خاصی برخوردار است. چنانچه گفته شد شیشه در رابطه با بسته بندی مواد غذایی از نظر شیمیایی خنثی است و در تماس با مواد غذایی احتیاج به پوشش خاصی نداشته و عطر و طعم غذاها و نوشابه ها را تغییر نمی دهد. در ضمن از خروج گازها، مواد معطر و طعم غذاها جلوگیری میکند. در ظروف با قطر دهانه تنگ نسبت به ظروف دهانه گشاد تمرکز انرژی بیشتر داشته و موادغذایی سریعتر گرم می شوند. جار شیشه ای دهانه گشاد در اثر فشار داخلی دچار شکستگی کمتری میگردند بطری شیشه ای از لحاظ وزن سنگین بوده و به ضربه و شوک حرارتی حساس ترند. بسته بندی پوره سیب درجار شیشه ای که میتواند در فرمایکروویو حرارت داده شود را درشکل یک نشان میدهد.

2-1-2- سرامیک شیشه ای

سرامیک شیشه ای شکل دیگر شیشه است که اغلب برای ساخت قفسه ویا صفحه گردان فر مایکروویو یا وسایل دیگری که در داخل محفظه و همچنین و هم چنین ظروف غذا بکار میرود. چنانچه شیشه در فرایند حرارت کریستالیزه شود سرامیک شیشه ای به دست می آید. که بسته بندی مناسبی برای غذاهای مخصوص مایکروویو است. مقاومت میکانیکی سرامیک از شیشه بیشتر و نسبت به آن نازک تر و سبکتر است. فاکتور اتلاف سرامیک شیشه ای بی نهایت پایین بوده و برای بسته بندی غذاهای آماده مناسب است.

2-1-3- ظروف پلاستیکی

پیشرفت های جدید در تهیه ظروف مواد غذایی، پلاستیک ها را قابل استفاده در فرمایکروویو نموده است. انتخاب مواد اولیه بسته بندی بستگی به کاربرد و دمای مورد نیاز مواد غذایی دارد. متداولترین مواد پلاستیکی مورد استفاده در بسته بندی مواد غذایی

مخصوص مایکروویو عبارتند از: پلی پروپلین[1]، پلی استیرن[2]، پلی اتیلن با دانسیته زیاد[3] و پلی ونیل کلراید[4].پلی پروپلین دمای حدود 132 – 149 و پلی استیرن دمای حدود 79-96 و پلی اتیلن دمای 121 و پلی ونیل کلراید دمای 69-93 درجه سانتی گراد را میتوانند تحمل کنند. در دمای بالا (بالاتر از 220 درجه سانتی گراد) پلی اتیلن تری فتالات کریستالیزه شده و در دمای پایین پلی اتیلین با دانسیته زیاد انتخاب می شوند. وقتی پلی اتیلین با دانسیته زیادوپلی اتیلن ترفتالات [5]بسوزند، دی اکسید کربن و بخار آب تولید شده حاصل از احتراق، ناچیز است. همچنین وقتی هدف حرارت دادن غذاهای پرچرب و مواد قندی باشد که در نتیجه دمای آنها در مایکروویو خیلی بالا می روداز پلی اتیلن ترفتالات استفاده می شود(3).

4-1-2- فیلم های پلاستیکی

در سالهای اخیر استفاده از لفاف (فیلم) برای بسته بندی مواد غذایی پیشترفت کرده است. فیلم های پلاستیکی پلی ونیل کلراید و پلی ونیلیدین کلراید[6]و پلی استر به همراه نایلون[7] و اتیلن ونیل الکل اصلاح شده[8] و اتیلن ونیل الکل[9] ، وکو پلی مر های پلی استیرن و پلی اتر اتر کتون ها [10] غالبا فیلم های دو لایه هستند که در مقابل سوراخ شدن و نفوذ اکسیژن و روطوبت مقاوم اند. پل بوتیل ترفتالات [11]در دمای بالای 180 درجه سانتی گراد مقاوم هستند.

5-1-2-مقوا

بسته بندی مواد غذایی با کاغذ و مقوا ارزانتر از پلاستیک ها و مواد دیگر می باشد. بسته بندی مواد غذایی با ترکیبات کاغذی بدون استفاده از مواد پوشش دهنده یا لایه های دیگر به ندرت امکان پذیر است. مقوا و کاغذ با بالایه های می پوشانند که در مقابل نفوذ روغن و رطوبت مقاوم باشند.

مقاومت مواد اولیه بسته بندی کاغذ با پوشش پلی اتیلن ترفتالات در دمای بالا (250 درجه سانتی گراد) افزایش می یابد. علاوه بر آن مواد دیگری شبیه پلی پلروپیل و پلی تترا متیل[12] مانع عبور روغن می شوند. کاغذ های که برای مواد غذایی مصرف میگردند می بایستی از نظر خلوص شیمیایی و غیره شیمیایی سمی بودن واجد شرایط استاندارد های اداره نظارت بر مواد غذایی باشند.

2-2-بسته بندی های منعکس کننده ماکروویو

[1] Polypropylene
[2] Polystyrene
[3] High-density polyethylene
[4] Poly vinyl chloride
[5] Polyethylene terephthalate
[6] Polyvinylidene chloride
[7] Polyamide (nylon)
[8] Oriented ethylene-vinyl alcohol
[9] Ethylene-vinyl alcohol
[10] Polyenther ether kotone
[11] Polybutylene trephthalate
[12] Poly-4-methyl pen-1-ene-(TPX)

اکثر فلزات، منعکس کننده مایکروویو هستند و خود گرم نمی باشند. انعکاس به حرکت بدون واسطه مایکروویو به داخل غذا کمک میکند و این دلیل برای ساخت دیواره های فر ماکروویو از فلز می باشد. به ادلیل اینکه مواد منعکس کننده مایکروویو در شرایط ویژه ای جرقه نمی زنند نباید به تنهایی در فر ماکرو مایکروویو استفاده شوند. لیکن با رعایت احتیاط های لازم از ظروف فلزی و فویل های آلومینومی به طور موقت استفاده می نمایند.

3-2-بسته بندی فعال مایکروویو (هادیها و گیرنده ها)

یکی از محدودیت های مایکروویوناتوانی آن در قهوه ای و برشته کردن فراورده های غذایی است. به منظور رفع این مشکل، استفاده از فیلم های توسعه یافته است. کار اساسی این فیلم ها جذب و تبدیل جزء الکتریکی انرژی ماکروویو به انرژی تشعشعی یا مادون قرمز و سپس انتقال آن به غذاست.

3-پدیده مهاجرت در بسته بندی های پلاستیکی

مهاجرت مواد از بسته بندی های پلاستیکی به مواد غذایی را می توان به دو دسته تقسیم کرد

مهاجرت کلی[1]

مجموع تمام ترکیبات متحرک ماده بسته بندی (معمولاً ناشناخته) است که وارد ذا یا شبه غذا می شوند(1).در این حالت سعی بر آن است که مواد مضر برای مصرف کننده اندازه گیری شود. ادعا بر این است، برای مواردی که ظرفیت بین 0/5 تا 10 لیتر است، دما و زمانی مطابق با شرایط واقعی کاربری، اگر مهاجرت کلی زیر 10 میلی گرم بر دسی متر مربع از سطح ماده بسته بندی یا 60 میلی گرم بر کیلوگرم از ماده غذایی باشد، در این حالت ماده هیچ گونه خطری ندارد. مهاجرت کلی فقط می تواند به عنوان یک معیار ضعیف خنثی بودن مواد باشد، و اثر کمی در توجیه بر پایه علمی دارد.

مهاجرت ویژه[2]

این مهاجرت مربوط به یک یا چند ترکیب شناخته شده ویژه در پلیمر است. ممکن است یک جزء خاص (مونومری) که از لحاظ سم شناسی مد نظر باشد یا ترکیب مورد نظر برای آزمایش خاصی در نظر گرفته شده باشد که مکانیسم مهاجرت را به کمک آن می توان توجیه کرد. برای بسیاری از ترکیبات حد مهاجرت ویژه[3] تعریف شده است. هنگامی که مونومری با حد مهاجرت ویژه معین در تولید یک ماده پلاستیکی استفاده می شود (که در تماس با غذا خواهد بود)، باید آزمون مهاجرت ویژه برای آن مونومر در بسته بندی نهایی انجام گیرد. افزون بر این، مجموع مهاجرت های ویژه نباید از حد مهاجرت کلی تجاوز کند. اصلاحیه قوانین اساسی اتحادیه اروپا[4] برای آزمایش، هر دو حد مهاجرت کلی ویژه را مشخص می کند.

مواد مهاجرت کننده از ظروف پلاستیکی شامل موارد زیر است

مونومرها ، الیگومرها ، حلال ها- ناخالصی ها ی همراه مواد بسته بندی- ترکیبات مشتق از بسپارها ، افزودنی ها ، آنتی اکسیدان ها ، روان کننده ها و پلاستی سایزرها

[1] Overall Migration
[2] Specific Migration
[3] SML
[4] EC

1-3-پلاستی سایزرها

بودکا [1]وکنتومیناس[2](1966) اثر گرم کردن به روش مایکروویو بر روی مهاجرت دی آکتیل آدیپات[3] ، استیل تری بوتیل سیترات[4] ، ازپلی ونیل کلراید وفیلمهای پلی ونیل کلراید/پلی ونیلیدین کلراید به داخل روغن زیتون و آب مقطررا مورد مطالعه قرار دادند. مهاجرت دی آکتیل آدیپات، به روغن زیتون پس از 10 دقیقه حرارت دهی وبا نیروی 700 وات ایجادشد.مهاجرت روی پلاستیک های دی آکتیل آدیپات و استیل تری بوتیل سیترات در طول گرم کردن به روش مایکروویو برای روغن زیتون در مقایسه با آب تحت شرایط مشابه بیشتر بوده ؛ همچنین مهاجرت بدون عمل مایکروویو در دمای اتاق و با سرعت 20 دقیقه ، مشاهده شد که این میزان مهاجرت بالاتر از سطوح مهاجرت کلی که توسط اروپا به ثبت رسیده است می باشد.

به طور کلی مهاجرت روی پلاستیک ها ،تحت تاثیر ترکیب غذا ، فاز تماس ، ترکیب دمایی و زمانی در هنگام مجاورت با فیلم بسته بندی و غلظت اولیه اجزا مهاجرت فیلم میباشد. پلی ونیل کلرید به دلیل سطح مهاجرت بالای دی آکتیل آدیپات برای کاربردهایی که با غذا در آون مایکروویو در تماس هستند مناسب نمی باشد اما ساران[5] می تواند در صورت اجتناب از تماس مستقیم با مواد غذایی پرچرب، استفاده شود (6).

پانا گیوتا[6] وهمکاران (2006) اثر اشعه گاما[7] برروی مهاجرت دو پلاستی سایزر(2-اتیل هگزیل)آدیپات[8] و استیل تری بوتیل سیترات از فیلم پلی ونیل کلرید به محرک غذایی ایزواکتان به صورت یک تابع از زمان 0 تا 48 ساعت و در دمای 20درجه سانتی گرادمطالعه کردند. فیلم پلی ونیل کلریدحاوی$(\frac{w}{w})$5.3% (2-اتیل هگزیل) آدیپات و$(\frac{w}{w})$3%استیل تری بوتیل سیتراتوپلی آدیپات پلی مریک بود. اشعه دهی فیلم ها در دوز های 5 و 10 و 25 کیلو گری[9] با استفاده از یک منبع اشعه گاما انجام شد. تعیین هر دوپلاستی سایزر با استفاده از یک روش کروماتوگرافی گازی مستقیم انجام شد. (2-اتیل هگزیل)آدیپات به سرعت به ایزو اکتان مهاجرت کرد

[1]Bodeka
[2] kontominas
[3] dioctyladipate(DOA)
[4] acetyltributylcitrate(ATBC)
[5] saran
[6] Panagiota
[7] Gama radiation
[8] Di(2-ethylhexyl) adipate
[9] KGY[9]Bodeka

ومقادیر مهاجرت استیل تری بوتیل سیترات در تعادل تقریبا سه برابر کمتر از از مقادیر(2-اتیل هگزیل)آدیپات بودند. اشعه در دوزهای 10 و 25 کیلو گری، یک اثر کوچک ولی معنی داری از نظرآماری برروی مهاجرت (2-اتیل هگزیل)آدیپات واستیل تری بوتیل سیترات به ایزوکتان داشت. مقدار مهاجرت با افزایش دوز اشعه و زمان افزایش یافت. نتایج بالاتر از حد مجاز مهاجرت مشخص شده توسط اتحادیه اروپا برای مهاجرت اختصاصی(2-اتیل هگزیل)آدیپات ،مقدار(18mg/L)بدست آمد. ضرایب انتشار برای هردو ماده پلاستی سایزرمحاسبه شد و تفاوت هایی بین نمونه های اشعه دیده و شاهد وجود داشت (20).

توسط جیمز استارتین[1] وهمکاران (2009) مهاجرت(2-اتیل هگزیل)آدیپات به انواع مواد غذایی حاصل از کاربرد فیلم های پلی ونیل کلریدبا استفاده از یک روش کروماتوگرافی گازی –اسپکتروسکوپی جرمی[2] رقیق سازی ایزوتوپ پایدار تعیین شد.این فیلم ها برای بسته بندی مواد غذایی مانند پنیر، گوشت پخته شده، ساندویچ ها و کیک ها و میوه و سبزیجات تازه استفاده می شوند.مهاجرت با مدت زمان تماس و دمای تماس افزایش یافت و بالاترین مقدار مهاجرت مشاهده شده در جایی هست که یک تماس مستقیم بین ماده غذایی و فیلم ها باشد و ماده غذایی دارای مقدار چربی بالا در ناحیه تماس باشد. بالاترین مقادیر مهاجرت برای پنیر و و گوشت پخته شده و کیک ها وبرش های مواد غذایی پخته شده با مایکروویو مشاهده شده اند. درحالیکه مقادیر کمتر برای پوشش های ساندویچ های پرنشده و میوه و سبزیجات (به استثناآووکادو) و برای مواد غذایی دراثر حرارت دهی مجدد با مایکروویو مشاهده شدندکه پوشش مواد غذایی در یک ظرف وجود دارد اما تماس مستقیم کمی وجود دارد (19).

تاثیر تیمار مایکروویو روی مهاجرت ترکیبات پلاستیک کننده و تغییر در ساختار فیلم استر نشاسته در حضور ماده غذایی شیر توسط هوانگ[3] و همکاران مطالعه شد؛ نتایج نشان داد مایکروویو سبب تسریع مهاجرت در مقایسه با تیمار شاهد در دمای 30 درجهسانتی گراد گردید. علت این پدیده تسهیل ورود آب و مولکول‌های چربی به منافذ و ساختار فیلم بسته‌بندی تحت تاثیر مایکروویو بوده است. بررسی‌ها نشان داد ساختار کریستالی فیلم نشاسته تغییر یافته و صفحات ساختمان کریستالی به یکدیگر نزدیک‌تر و فضاهای آمورف بیشتر و در نتیجه تحرک بیشتری برای ترکیبات پلاستیک کننده فراهم شد که منجر به مهاجرت بیشتر گردید (14).

[1] James R. Startin
[2]Gas chromatography/mass spectrometry(GC/MC)
[3] Huang

2-3-آنتی اکسیدان ها

آلین[1] وهاکاراین[2](2011) مشاهده کردند که گرم کردن طولانی مدت در مایکروویو (یک ساعت) در مقایسه با گرم کردن معمولی با استفاده از روغن ، تخریب آنتی اکسیدان را افزایش می دهد بنابراین فرآیند دمایی برای هر دو نوع روش :مایکروویو و گرم کردن سنتی (معمولی)در 80 درجه سانتی گراد ثابت بوده بنابراین گرم کردن با مایکروویو به مدت یک ساعت در تماس با غذا برای کاربردهای صنعتی و خانگی غیر عملی است .درجه حرارت بالا در طول گرم کردن با مایکروویو منجر به تورم وافزایش پلی پروپلین هموپلیمر در ایزواکتان شد (5).

سه ماده پلی پروپلین متفاوت، پلی پروپلین هموپلیمر[3] ، پروپلین اتیلین رندوم کوپلیمر[4] و پروپیلین اتیلین کو پلیمر[5] معمولا در ظروف پلاستیکی طراحی شده برای حرارت دهی مواد غذایی درمایکروویو کار برده می شود. توسط آلین وهاکاراینن (2010) مهاجرت آنتی اکسیدان های168آرگافس[6] و1010آرگانکس[7] از این پلیمرهادر حین حرارت دهی مایکروویو در تماس با محرک های غذایی مختلف با کمک استخراج[8] و کروماتو گرافی مایع با عملکرد بالا[9] بررسی شد.پلی پروپلین هموپلیمر مقاومترین ماده مطالعه شده نسبت به مهاجرت در تماس با محرک های غذایی چربی بود.

این محققان در تحقیق دیگری نیز تخریب و مهاجرت دو ترکیب آنتی‌اکسیدانی168آرگافس و1010آرگانکس را تحت تیمار مایکروویو (95 وات و دمای ثابت 80 درجه سانتی گراد) در فیلم‌های پلی‌پروپیلن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تیمار مایکروویو باعث تخریب آنتی‌اکسیدان‌ها در حضور شبیه ساز غذاهای چرب شده و مهاجرت را افزایش داد. در حالی که در آون معمولی و در همان دما تخریب آنتی اکسیدان مشاهده نشد. ایزواکتان در مقایسه با آب میزان مهاجرت بیشتری را نشان داد (4).

[1] Alin
[2] Hakkarainen
[3] pp
[4] PP-R
[5] PP_C
[6] Irgafos
[7] Irganox
[8] Microwave assisted extraction(MAE)
[9] Chromatography high performance liquid(HPLC)

3-3-مونومرها و الیگومرها

کوبوابو[1] وهمکارانش (2009) با استفاده از پلی کربنات وظروف پلاستیکی دیگر (بطری های حاوی پلی کربنات بچه ،بطری های بچه بدون پلی کربنات بطری های تزئین شده بچه وبطری های نوشیدنی حاوی پلی کربنات با قابلیت چندین بار استفاده)،مهاجرت بیسفنول A [2]به داخل آب ، اتانول 10%و 50%مورد بررسی و مطالعه قرار دادند آنها گزارش دادند که درجه حرارت های بالاتر و مدت زمان طولانی تر جهت گرم کردن ،منجر به مهاجرت بیشتربیسفنول A از بطری های حاوی پلی کربنات شد.در دمای 40درجه سانتی گراد بعد از گذشت 240 ساعت با اینکه غلظت بیسفنولA باقیمانده در اتانول50%)(2.39Mg/Lدر مقایسه با آب (1.88Mg/L)بالاتر بوده در هر صورت به دلیل مهاجرت از بطری های بچه بدون پلی کربنات نسبت به بطری های حاوی پلی کربنات مقداری بیسفنول Aمشاهده شد (15).

بجلی[3] وهمکاران (1995)پلی اتیلن ترفتالات از ترکیبات حلقوی که از دایمر پنتامر تغییر شکل می دهد وحاوی الیگومرهایی با وزن مولکولی پایین است ساخته می شود؛الیگومرهای پلی اتیلن ترفتالات (29%الیگومر پلیمر نشده موجود درپلی اتیلن ترفتالات در مقایسه با نایلون (43%از کل الیگومرها) مهاجرت کمتری را نشان داد.با اینکه گرم کردن تاثیر دارد ؛مطالعات کمی درباره تاثیر مایکروویو بر مهاجرت الیگومرها در پلی اتیلن ترفتالات صورت گرفته است که یک بسته بندی با کاربرد گرم کردن در مایکروویو می باشد (8).

بجلی وهمکاران (2009)اندازه گیری کمی مهاجرت الیگومرها حلقوی پلی اتیلین ترفتالات از بسته بندی غذایی پلی اتیلن ترفتالات آلومینومی شده درچندین نوع ماده غذایی انجام شد: ذرت بود داده، استیک ماهی، کلوچه، پیتزا، و سیب زمینی سرخ شده قابل مایکروویو شدن با توجه به دستوار العمل بسته بندی پخته شدند.سپس میزان الیگو مرهایی پلی اتیلن ترفتالات آنالیز شدند. نمونه های شاهد غذایی مناسب درظروف شیشه ای پخته شدند.مقایر الیگو مرهای پلی اتیلن ترفتالات دیده شده در ماد غذایی بین(Mg/g 0.012) تا(7Mg/g) گزارش شد (7).

[1] Kubwabo
[2] Bisphenol A
[3] Begley

گرامشا[1] و سوتووالدز[2](2009) میزان مهاجرت ترکیبات فرار و غیر فرار از مایکروویو و پاکت های مخصوص بریان کردن که از نایلون 6.6 و(تعدادی نایلون 6) ساخته شده که به داخل پوست ، گوشت و لعاب مرغ در حین بریان کردن(2 ساعت و200درجه سانتی گراد) در آون معمولی تعیین شد . برای اندازه گیری مهاجرت ترکیبات غیر فرار ، مرغ پخته شده به روش انجمادی خشک شده سپس با افزودن (2-آزو سیکلونونان[3]) توسط متانول ، ترکیبات فرارآن استخراج شد و ترکیبات استخراج شده با استفاده از کروماتوگرافی جذبی مایع – جامد جداسازی شد(ژل سیلیکا). برای شمارش مونومرهای حلقوی هفت عدد از نایلون 6و 6.6 و الیگومرهایی با جرم مولکولی بالاتر از 678 دالتون. با استفاده از شیب خطی متانول در آب ، از کرو ماتو گرافی مایع با کارآیی بالا استفاده شد.میزان مهاجرت به داخل مرغ ($7.48Mg/g8.26mg/bag,3.94Mg/cm^2$)بود؛ 16%از کل ترکیبات غیر فرار حاوی مواد MRB[4](پاکت ها وفویل های مخصوص بریان کردن ومایکروویو)بودند. مهاجرت های ترکیبات به صورت تکی وانفرادی نیز بررسی شد . مهاجرت ترکیبات فرار (2-سیکلو پنتیل سیکلو پنتانون[5])به داخل تمامی قسمت های مرغ سوخاری (بریان شده) اندازه گیری شد . با استفاده از سیستم استخراج حلال و تقطیر بخار به صورت هم زمان (سیتم اصلاح شده لایکن – نیکرسون[6])بر اساس استاندارد داخلی (سیکلوهگزانون[7]) استخراج دی اتیل اتر به مدت 10 ساعت انجام شد. کروماتو گرافی گازی - اسپکتروسکوپی جرمی در حالت آیکون انتخاب شده[8] برای تعیین عناصرو خاصیت آن استفاده شد. میانگین (±4.36)14میلی گرم در بسته[9] یا میلی گرم در مرغ[10] مهاجرت کرد که0.08% از (2-سیکلوپنتیل ، سیکلوپنتانون) در MRB حضور دارند. اعتقاد بر این است که چون درMRB ترکیب های فرار دیگری نیز در سطوح بالاتر از (2-سیکلوپنتیل ، سیکلوپنتانون) وجود داشته است ؛ نشر ترکیبات فرار به اتمسفر اتفاق افتاده است اما ترکیبات فرار در مرغ بریان شده پیدا نشد . به طور کلی اجزای انتقال MRB به داخل مرغ بریان ، به عنوان یک خطر تلقی نمیشود (13).

[1] J. W. Gramshaw
[2] Soto-Valdez
[3] 2-azacyclononane
[4] microwave and roasting bags
[5] 2-cyclopentyl cyclopentanone
[6] Likens-Nickerson
[7] cyclohexanone
[8] selected ion mode(SIM)
[9] (Mg/bag)
[10] (Mg/chiken)

ایلرت[1] وهمکاران(2008) مهاجرت بیسفیول Aرا از شیشه های بچه پلی کربناته به آب در حین حرارت مایکروویو بررسی کردند.برندهای مختلف شیشه بچه فروخته شده پلی کربناته در اروپا جمع آوری شدند. مقدار بیسفینول A اولیه در شیشه های پلی کربناته بین 35.3 میلی گرم در گیلو گرم تا 1.4میلی گرم در کیلوگرم بودند. مهاجرت بیسفینول A از طریق قرار دادن یک شیشه پلی کربناته پر شده با آب در یک آون مایکروویو و حرارت دهی در 100درجه سانتی گرادتعیین شد. مقدار بیسفینول A در آب توسط گروماتوگرافی گازی- اسپکتروسکوپی جرمی آنالیز شد. مهاجرت بیسفینول A در آب بین0.1تا0.7 میلی گرم در لیتر بود. داده ها نشان داد در طی سه سیکل حرارت اشعه مایکروویو اثری بر مهاجرت بیسسفینول A از پلی کربنات به آب ندارد. حد مهاجرت اختصاصی مشخص شده به وسیله اتحادیه اروپا2004/19/EC به مقدار 0.6 است که نتایج نشان دادمیزان مهاجرت بیسفنول Aکمتر از این حد بود (10).

مهاجرت ترکیبات از بسته‌های نایلون مورد استفاده در آون مایکرویو توسط سوتووالز و همکاران مورد مطالعه قرار گرفت. در بین ترکیبات مختلف فرار و غیر فرار ایجاد شده، مشاهده شد که بعضی مونومرها و الیگومرها به میزان بالایی طی فرایند حرارت دهی (یک ساعت در دمای 175 درجه در آون معمولی به منظور شبیه سازی افزایش دما طی حرارت دهی در آون مایکرویو) به روغن مهاجرت می‌کند. نتایج نشان می‌دهد 42 درصد از مقدار کل مونومرها و الیگومرهای موجود در مواد کیسه 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 مایکرویو حرارت دهی مجدد شده یا پخته شود وجود دارد (18).

4-3- افزودنی های سیال

در یک مطالعه ،کوپر[2] وتایس[3](1995) مهاجرت 5 نوع آمید اسیدهای چرب : الی آمید[4]، ایروکامید[5] ،استئارآمید[6]،استئاریل آمید[7] و

[1] K.A. Ehlert
[2] Cooper
[3] Tice
[4] oleamide
[5] erucamide
[6] stearamide
[7] stearyl amide

الیل پلامیت آمید[1] از4 نوع ماده پلیمر(پلی استیرن،پلی پروپیلن،پلی اتیلن بادانسیته کم،پلی ونیل الکل) در دمای 40درجه سانتی گرادو بعداز 10 روز نگهداری اندازه گیری شد .شبه غذاهای A,B,C,D(براساس قانون اتحادیه اروپا82/711/EC) در این مطالعه استفاده شدند . بالاترین میزان مهاجرت آمید اسیدهای چرب از پلی اولفین[2] به روغن زیتون صورت گرفت.مهاجرت افزودنی ها از پلی اتیلن با دانسیته کم به ترتیب88%،98% ،95% برای الی آمید، ایروکامید و استئارآمید بود.مهاجرت افزودنی های سیال از 65میکرومتر فیلم پلی اتیلن بادانسیته کم نسبت به فیلم های پلی ونیل کلرایدوپلی استیرن بالاتر بود.(کمتر از10% از کل ترکیب).تفاوت در مهاجرت را می توان به انحلال پذیری پایین آمیدهای اسیدهای چرب درپلی اتیلن بادانسیته کم و مقادیر نفوذ بالا به پلی اتیلن بادانسیته کم نسبت داد که میزان انتشار را افزایش می دهند (9).

5-3-تثبیت کننده های نور

مونتریو[3] و همکارانش (1999) مهاجرت تینووین[4] P از بطری های پلی اتیلن ترفتالات به داخل شبه غذاهای چرب (روغن زیتون ، روغن سویا،n-هپتان[5] وایزو اکتان[6]) در دمای 40درجه سانتی گرادبه مدت 2 تا 10 روز بررسی کردند.همچنین کارآیی پایدار تثبیت کننده های مختلف فرابنفش (سیاسورب[7] 5411 ، تینووین p ،تینووین 326 و تینووین 327) ارزیابی شد.مهاجرت به صورت سینوسی بودویک افزایش سریع را در مدت 10 روز ذخیره سازی نشان داد.مهاجرت (تینووین P)به روغن زیتون و روغن سویا نسبت به مهاجرت(n-هپتان) بسیار بالاتر بود .ثابت شد که ایزواکتان شبه غذاهای چرب مناسب تری از (n-هپتان)می باشد زیرا ایزواکتان مهاجرتی مشابه روغن زیتون و روغن سویا را نشان داد (16).

سونگ[8] وهمکاران (2011)مهاجرت نقره از فیلم بسته بندی نانو نقره-پلی اتیلین در دمای های مختلف به کمک روش آنالیتیکی بررسی کردند. برای تعیین نقره در مشابه های غذایی اسید استیک آلی$(\frac{w}{v})3\%$ یا اتانول آبی $(\frac{w}{w})95\%$بر اساس اسپکترومتری

[1] oleyl palmitamide
[2] polyolefins
[3] Monterio
[4] Tinuvin
[5] n-heptane
[6] isooctane
[7] Cyasorb UV
[8] Song

جرمی پلاسمایی کوپل شده به صورت القایی [1]ایجاد شد. بازیافت ها در دامنه87% تا 109% RSD در دامنه0.07% تا 7.8%بودند.نتایج نشان داد که حد اکثر مقادیر مهاجرت به ترتیب 1.7%، 3%و5.6% برای اسید استیک $(\frac{w}{v})$3% آبی در 20و40 و 70 بودند. در حالیکه برای اتانول95% اتانول آبی، حد اکثر مقادیرمهاجرت به ترتیب ٪(0.24 و 0.23 و 0.22) در دمای 20 و40و 70درجه سانتی گراد بودند (17).

6-3-مهاجرت کلی

گالوتو[2] وگواردا[3] (2004)تاثیر مایکروویو و گرم کردن حرارتی را برمهاجرت کلی مورد مطالعه قرار دادند.گرم کردن به صورت حرارتی ومایکروویو برروی پلی آمید/پلی اتیلن (با ضخامت 200میکرومتر)،نایلون 6 ضخامت (40میکرومتر) وپلی ونیل کلراید(ضخامت 10میکرومتر)،فیلم های پلی پروپیلن از شبه غذاهای چرب(روغن زیتون ،اتانول 95%،ایزوپروپانول و-nهپتان)انجام شد.افزایش درشدت گرم کردن تاثیر چندانی بر مهاجرت کلی نداشت .برای پلی آمید/پلی اتیلن،اتانول 95%می تواند بهترین جایگزین شبه غذای چرب جهت تولید دوباره مهاجرت کلی مشاهده شده در روغن زیتون باشد.مورد ذکر شده می تواندمربوط به قطبیت بالای اتانول باشد که برای مهاجرت ،قطبیت بیشتر مورد توجه است.پلی ونیل کلرید نشان داد که سطوح بالای گرم کردن با مایکروویو ،مهاجرت کلی را به بالاتر از $45\frac{mg}{dm^2}$ افزایش میدهد.در گرم کردن به صورت مایکروویو مهاجرت بسیار کمی مشاهده می شود که نشان دهنده این است که پلی اولفین ها نسبتا ساکن هستند برروی پلی ونیل کلرید ،پروپانول نتایج مهاجرت همانند مهاجرت به روغن زیتون ارائه شده است آنهابه این نتیجه رسیده اند که سطح مهاجرت در شبه غذا بعد از گرم کردن با مایکروویو، فقط در صورت تماس با پلی ونیل کلرید بالاتر بود. برای پلی پروپلین هموپلیمر هیچ کدام ازمحرک های غذایی چرب جایگزین نتواست سبب افزایش مهاجرت کلی درتماس با روغن زیتون شود. پلی پروپلین هموپلیمر رفتار خنثی بالایی از خود نشان داد. حرارت دهی بامایکروویو سبب افزایش معنی دار در مهاجرت کلی نمیشود، درحالیکه زمان تماس سبب مهاجرت معنی دار موثرتری می شود (12).

گالوتو وگواردا(1999) مهاجرت کلی نمونه های یکسان درشرایط نرمال(40 درجه به مدت ده روز) و پس از فرآیند حرارتی در

[1] (ICP-MS)
[2] Galotto
[3] Guarda

80و120درجه سانتی گرادبه مدت 30 دقیقه مورد مقایسه قراردادند. مهاجرت کلی بدست آمده برای تمام مواد پلاستیکی تست شده به میزان معنی داری در زیر مقادیر مورد نیاز قانون 90/128/EEC بود. در بین مواد تست شده میزان مهاجرت کلی پلی ونیل کلریدبه مقدار معنی داری پس از پخت با مایکروویو افزایش یافت. نتایج حاکی ازآن بود که اسید استیک میزان مهاجرت پلی ونیل کلرید را پس از پخت با مایکروویو افزایش میدهد (11) .

4-نتیجه گیری

برخی از ترکیبات مانند بنزن و مواد پلاستیک کننده 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 مایکرویو به واسطه تجزیه زنجیره‌های پلیمری ، افزودنی‌ها یا چسب‌ها ایجاد می‌گردند و مقایسه نتایج حاصل از تحقیقات به دلیل مواد مورد استفاده، نوع افزودنی‌ها و شدت تیمار مشکل است و همچنین مقایسه اثر مایکرویو با آون‌های معمولی واضح و مشخص نیست و بسته به نظر محققان دارد اما نتیجه گیری کلی که می‌توان داشت این است که اثر مایکرویو وابسته به گرمای ایجاد شده طی فرایند پخت و مقدار ترکیباتی است که ظرفیت مهاجرت دارند. تولید کنندگان ظروف و بسته‌بندی برای استفاده در آون مایکرویو بایستی در زمینه تاثیر مایکرویو 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 را رعایت و ایمنی مصرف کننده حفظ گردد.

5- منابع

1. احتیاطی،و صداقت. "مروری بر اثر فرآیند های پرتودهی و ماکروویو بر ایمنی مواد بسته بندی." *علوم و فنون بسته بندی* 5 (1393).

2. حاج حسینی ،ا."بررسی میزان مهاجرت مواد شیمیایی از ظروف یکبار مصرف از جنس پلیمرتولیدی سطح استان قزوین به داخل مواد غذایی."بیست ویکمین کنگره ملی علوم وصنایع غذایی (1392).

3.میرنظامی ضیابری،س.ا"صول بسته بندی موادغذایی".نشرعلوم کشاورزی (1378).

4. Alin, Jonas, and Minna Hakkarainen. "Type of polypropylene material significantly influences the migration of antioxidants from polymer packaging to food simulants during microwave heating." *Journal of Applied Polymer Science* 118, no. 2 (2010): 1084-1093.
5. Alin, Jonas, and Minna Hakkarainen. "Microwave heating causes rapid degradation of antioxidants in polypropylene packaging, leading to greatly increased specific migration to

food simulants as shown by ESI-MS and GC-MS." *Journal of agricultural and food chemistry* 59, no. 10 (2011): 5418-5427.

6. Badeka, Anastasia B., and Michael G. Kontominas. "Effect of microwave heating on the migration of dioctyladipate and acetyltributylcitrate plasticizers from food-grade PVC and PVDC/PVC films into olive oil and water." *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* 202, no. 4 (1996): 313-317.
7. Begley, T. H., J. L. Dennison, and H. C. Hollifield. "Migration into food of polyethylene terephthalate (PET) cyclic oligomers from PET microwave susceptor packaging." *Food Additives & Contaminants* 7, no. 6 (1990): 797-803.
8. Begley, Timothy H., Martha L. Gay, and Henry C. Hollifield. "Determination of migrants in and migration from nylon food packaging." *Food Additives & Contaminants* 12, no. 5 (1995): 671-676.
9. Cooper, Ian, and Philip A. Tice. "Migration studies on fatty acid amide slip additives from plastics into food simulants." *Food Additives & Contaminants* 12, no. 2 (1995): 235-244.
10. Ehlert, K. A., C. W. E. Beumer, and M. C. E. Groot. "Migration of bisphenol A into water from polycarbonate baby bottles during microwave heating." *Food additives and contaminants*25, no. 7 (2008): 904-910.
11. Galotto, M. J., and A. Guarda. "Comparison between thermal and microwave treatment on the overall migration of plastic materials intended to be in contact with foods." *Packaging Technology and Science: An International Journal* 12, no. 6 (1999): 277-281.
12. Galotto, M. J., and A. Guarda. "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: An International Journal* 17, no. 4 (2004): 219-223.
13. Gramshaw, J. W., and H. Soto-Valdez. "Migration from polyamide 'microwave and roasting bags' into roast chicken." *Food Additives & Contaminants* 15, no. 3 (1998): 329-335.
14. Huang, Chen, Jie Zhu, Ling Chen, Lin Li, and Xiaoxi Li. "Structural changes and plasticizer migration of starch-based food packaging material contacting with milk during microwave heating." *Food Control* 36, no. 1 (2014): 55-62.
15. Kubwabo, C., I. Kosarac, B. Stewart, B. R. Gauthier, K. Lalonde, and P. J. Lalonde. "Migration of bisphenol A from plastic baby bottles, baby bottle liners and reusable polycarbonate drinking bottles." *Food Additives and Contaminants* 26, no. 6 (2009): 928-937.
16. Monteiro, Magali, C. Nerin, and F. G. R. Reyes. "Migration of Tinuvin P, a UV stabilizer, from PET bottles into fatty-food simulants." *Packaging Technology and Science: An International Journal* 12, no. 5 (1999): 241-248.
17. Song, Huan, Bo Li, Q-B. Lin, H-J. Wu, and Y. Chen. "Migration of silver from nanosilver–polyethylene composite packaging into food simulants." *Food Additives & Contaminants: Part A*28, no. 12 (2011): 1758-1762.
18. Soto-Valdez, H., J. W. Gramshaw, and H. J. Vandenburg. "Determination of potential migrants present in Nylon 'microwave and roasting bags' and migration into olive oil." *Food Additives & Contaminants* 14, no. 3 (1997): 309-318.
19. Startin, James R., Matthew Sharman, Martin D. Rose, Ian Parker, Angela J. Mercer, Laurence Castle, and John Gilbert. "Migration from plasticized films into foods. 1. Migration of di-

(2-ethylhexyl) adipate from PVC films during home-use and microwave cooking." *Food Additives & Contaminants* 4, no. 4 (1987): 385-398.

20. Goulas, Antonios E., Panagiota Zygoura, Andreas Karatapanis, Dimitris Georgantelis, and Michael G. Kontominas. "Migration of di (2-ethylhexyl) adipate and acetyltributyl citrate plasticizers from food-grade PVC film into sweetened sesame paste (halawa tehineh): Kinetic and penetration study." *Food and chemical toxicology* 45, no. 4 (2007): 585-591.