نشریه علمی «علوم و فنون بسته‌بندی»
سال دوازدهم، شماره ۴۷، پاییز ۱۴۰۰؛ ص ۸-۱

علمی – پژوهشی

ایمنی غذایی با تمرکز بر مهاجرت از بسته‌بندی‌های پلاستیکی

پروین بقری[۱]، ناصر صداقت[۲*]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۵، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸)

چکیده

بسته‌بندی مواد غذایی به‌منظور ایمنی محصولات غذایی و حمل‌ونقل آسان با جلوگیری از آلودگی شیمیایی و افزایش عمر مفید که راحتی را برای مصرف‌کنندگان فراهم می‌کند، عمل می‌کند. برای بسته‌بندی مواد غذایی از انواع مواد مختلف از جمله پلاستیک، شیشه، فلزات و کاغذ و کامپوزیت آن‌ها استفاده می‌شود. با این حال، با توجه به افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان و اهمیت انتقال مواد مضر از بسته‌بندی مواد به ماده غذایی نگرانی بیشتری در مورد استفاده از هر نوع ماده بسته‌بندی وجود دارد. استفاده از روش‌های مناسب که ضامن تولید، عرضه و مصرف غذای سالم در طول زنجیره غذا باشد و وجود نظام ایمن و کنترل مؤثر ماده غذایی موجب ارتقا بهداشت، سلامت و افزایش بهره‌وری اقتصادی می‌گردد. در بسته‌بندی مواد غذایی، ایمنی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. ایمنی بسته‌بندی شامل کنترل ورود ترکیبات مضر از بسته‌بندی به ماده غذایی (پدیده مهاجرت) است. برهم‌کنش بین بسته‌بندی-ماده غذایی و نفوذ ترکیبات مهاجر مانند پلاستی سایزرها، پایدارکننده‌های حرارتی، آنتی‌اکسیدان‌ها، حلال‌ها، مونومرها و الیگومرها و آلاینده‌های حاصل از تجزیه مونومرها، مواد افزودنی و آلاینده‌های محیطی موجب تغییر ویژگی‌های حسی ماده غذایی می‌گردد. فاکتورهای تأثیرگذار بر مهاجرت شامل ماهیت ماده غذایی، نوع، زمان و دمای تماس، ماهیت ماده بسته‌بندی، ویژگی‌های مواد مهاجر و مقدار آن در بسته‌بندی است.

کلیدواژه: ایمنی غذایی، انواع مهاجرت، مکانیسم‌های مهاجرت، بسته‌بندی‌های پلاستیکی.

۱- مقدمه

بسته‌بندی مواد غذایی برای زندگی مدرن ضروری است زیرا از محصولات غذایی که برای مسافت‌های طولانی حمل می‌شوند، ضمن حفظ کیفیت آن‌ها و ارائه اطلاعات و راحتی مصرف‌کننده محافظت می‌کند. تولید مواد غذایی فرآوری شده بدون بسته‌بندی غیرقابل تصور خواهد بود و بنابراین بسته‌بندی به یکی از بزرگ‌ترین صنایع در جهان تبدیل شده است [۱] . بسته‌بندی مواد غذایی علاوه بر وظیفه معمول خود که محافظ محتوای ماده غذایی است، وظیفه تضمین تازگی، طعم و ارزش غذایی محصول را نیز بر عهده دارد و در نتیجه منجر به ماندگاری طولانی مدت و تأمین مواد غذایی ایمن‌تر می‌شود [۲]. مواد مورد استفاده برای بسته‌بندی مواد غذایی از جمله پلاستیک، فلز، چوب، شیشه و کاغذ در تماس مستقیم با ماده غذایی هستند [۳]. مواد پلاستیکی، مانند پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)، به میزان گسترده‌ای به‌دلیل داشتن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خوب استفاده می‌شوند [۴]. در طول فرآیند تولید مواد پلاستیکی، مونومرها، افزودنی‌ها، رنگ‌ها و غیره اضافه می‌شوند [۵]. سپس، بیشتر مواد شیمیایی اضافه‌شده به مواد پلاستیکی منتقل می‌شود و مواد شیمیایی باقی‌مانده با فرآیند تمیز کردن حذف می‌شوند. با این وجود، بخشی از مواد شیمیایی یا ناخالصی می‌تواند باقی بماند و به‌طور بالقوه به غذا مهاجرت کند [۶].

ایمنی غذایی حصول اطمینان از این است که ماده غذایی طی تولید، آماده‌سازی، حمل‌ونقل، نگهداری، توزیع و مصرف، آسیبی به مصرف‌کننده نمی‌رساند [۷]؛ بنابراین، به حصول اطمینان از اینکه مواد غذایی در هنگام حمل و آماده‌سازی و نگهداری، آلودگی های میکروبی و شیمیایی و فیزیکی پیدا نمی‌کنند و سبب بیماری مصرف‌کنندگان نمی‌شوند، ایمنی غذایی می‌گویند [۸]. مطابق با تعریف سازمان بهداشت جهانی؛ غذای سالم یا ایمن از مواد اولیه سالم و ایمن تهیه می‌شود. به عبارتی، غذای سالم عاری از مواد مضر و متشکل از اجزای مفید برای سلامت مصرف‌کننده است [۹]. ایمنی غذا عبارت است از اطمینان از سالم بودن و فاقد آلودگی بودن ماده غذایی مورد استفاده توسط مصرف‌کننده [۱۰].

* رایانامه نویسنده مسئول: sedaghat@um.ac.ir

۲- مهاجرت و فاکتورهای اصلی کنترل‌کننده آن

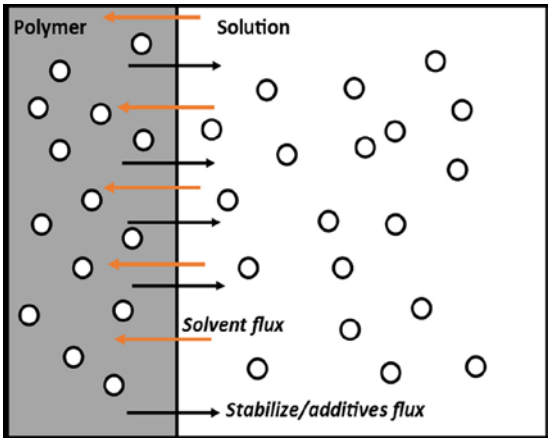
بسته‌بندی مواد غذایی از طریق تسهیل در حمل و نقل، ذخیره‌سازی و همچنین حفظ مواد غذایی نقش مهمی در صنایع غذایی دارد. بر این اساس نوع، ترکیب، ساختار، ویژگی‌ها، کیفیت کلی و شرایط/فناوری استفاده از ماده بسته‌بندی در صنایع غذایی می‌تواند ایمنی، کیفیت و ماندگاری مواد غذایی را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار دهد [۱۱]. در بسته‌بندی ماده غذایی احتمال انتقال بخار آب یا اکسیژن از بسته‌بندی به ماده غذایی (نفوذ[1])، انتقال جرم اجزاء ماده غذایی به بسته‌بندی (جذب[2]) و انتقال جرم از اجزاء بسته‌بندی به ماده غذایی (مهاجرت[3]) وجود دارد [۱۲]. واژه مهاجرت برای بیان انتقال مواد از بسته به ماده غذایی استفاده می‌گردد. مهاجرت، انتقال ترکیبات از سطح مواد بسته‌بندی طی واکنش‌های فیزیک و شیمیایی به محصول است؛ بنابراین پدیده مهاجرت یک طرفه نیست.

مهاجرت ترکیبات شیمیایی یک فرآیند انتشار تحت کنترل عوامل سینتیکی- ترمودینامیکی است و توسط قانون فیک توصیف می‌گردد. قوانین طبیعی شیمی - فیزیک در مهاجرت نقش دارند [۱۳]. اجزاء ماده غذایی مثل چربی یا آب می‌توانند موجب تورم ماده بسته‌بندی و افزایش مهاجرت ترکیبات بسته‌بندی شوند، به خصوص اگر غذا در بسته‌بندی حرارت ببیند. مهاجرت به چند فاکتور دیگر وابسته است: زمان و درجه حرارت تماس، نوع ماده بسته‌بندی، ضخامت ماده بسته‌بندی و وزن مولکولی مواد مهاجرت‌کننده [۱۲].

پدیده مهاجرت در غذاهای بسته‌بندی‌شده ممکن است در دو جهت به‌طور هم‌زمان، یعنی از مواد بسته‌بندی به محصول غذایی و بالعکس رخ دهد [۱۴]. مواد مولکولی با وزن مولکولی پایین مانند افزودنی‌ها و الیگومرهای فیلم‌های بسته‌بندی به مواد غذایی منتقل می‌شوند [۱۵].

در نتیجه انتقال انبوه مواد از بسته‌بندی، رنگ غذا، عطر، طعم و مواد مغذی آن تحت تأثیر قرار می‌گیرند که بر ویژگی‌های حسی آن اثر می‌گذارد. در شکل (۱) مهاجرت شیمیایی نشان داده شده است [۱۴].

برای مواد پلاستیکی، مانند PE، PP، PET و غیره، شامل دو مهاجرت کلی و خاص تعریف می‌شود. حد مهاجرت کلی (OML) عبارت است از مجموع مواد منتقل‌شده از بسته به ماده غذایی (اعم از مواد شناخته شده و شناخته نشده). حد مهاجرت کلی در مورد اکثر مواد ۳۰ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است. حد مهاجرت خاص (SML) یک محدودیت برای مواد یا گروهی از مواد مهاجرت کننده است. به‌عنوان مثال، در موردPET که از اتیلن گلیکول و ترفتالیک اسید یا دی متیل ترفتالات طی پلیمریزاسیون تولید می‌شود. پس از آن، ترفتالیک اسید می‌تواند در آن باقی بماند و به غذا مهاجرت کند. در این مورد مهاجرت نباید بیش از ۷/۵ میلی‌گرم در لیتر باشد. کلیه ترکیبات مهاجر از ظروف PET را می‌توان در جدول (۱) مشاهده نمود [۱۶ و ۱۷]. همچنین طبق استانداردهای اتحادیه اروپا[4] اگر مهاجرت کلی پایین‌تر ۱۰mg/dm^2 از سطح ماده بسته‌بندی یا ۶۰mg/kg ماده غذایی برای ظرفیت‌های بین ۰/۵تا ۱۰ لیتر باشد، بسته هیچ خطری برای مصرف‌کننده نخواهد داشت [۱۸].



شکل (۱): مهاجرت شیمیایی از بسته‌بندی به ماده غذایی.

جدول (۱): کلیه ترکیبات مهاجر از ظروف PET

جز مهاجرت کننده	حد مهاجرت ویژه (میلی‌گرم/ کیلوگرم)
اتیلن گلایکول	۳۰
دی اتیل هگزیل آدیپات	۱۸
دی اتیل هگزیل فتالات	۳
ترفتالیک اسید	۵
ترفتالیک اسید دی متیل استر	-
ایزو فتالیک دی متیل استر	۰/۰۵
هیدروکسی متیل سیکلوهگزان	-
فرمالدهید	۱۵
استالدهید	۶

[1] permeation
[2] Absorption/Scalping
[3] Migration
[4] European community

۳- ساز و کار مهاجرت

مهاجرت مواد از بسته‌بندی به ماده غذایی پیچیدگی بالایی دارد و با دو مکانیسم انتشار و جذب بیان می‌شود. انتشار، انتقال مواد از غلظت بالا به غلظت پایین طی حرکت تصادفی مولکول‌ها تا رسیدن به حالت تعادل است.

آهنگ انتشار طبق قانون دوم فیک از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$\frac{\partial Cp}{\partial t} = D\ (\partial^2 C/\partial x^2) \qquad (۱)$$

طبق رابطه (۱)، Cp غلظت ماده مهاجر در پلیمر، D ضریب انتشار، t زمان انتشار و x فاصله بین ماده غذایی و ماده بسته‌بندی است [۱۴].

جذب انتقال جرم کنترل‌شده به‌دلیل تماس ماده غذایی با مواد دیگر که موجب افزایش اولیه غلظت مولکول‌ها در سطح بین ماده غذایی و مواد بسته‌بندی می‌گردد. تعداد مولکول‌هایی که در دمای مشخص جذب سطح می‌گردند جذب انتقال جرم کنترل شده طبق رابطه فروندلیچ محاسبه می‌شود:

$$\frac{x}{m} = kp * \frac{1}{n} \qquad (۲)$$

طبق رابطه (۲)، x جرم هوای جذب‌شده،m مقدار ماده جذب‌شده، P فشار اعمال‌شده، K و n مقادیر ثابت است [۱۹].

مهاجرت بر اساس تفاوت در میزان پتانسیل شیمیایی رخ می‌دهد و تا زمانی که به تعادل برسد ادامه پیدا می‌کند. در این حالت ضریب انتشار یک مقدار معین دارد و شاهد انتقال جزئی ترکیبات از پلاستیک به داخل غذا هستیم. در این سیستم، مهاجرت از قانون اول فیک تبعیت کرده و ضریب انتشار، ثابت و مستقل از زمان و نوع غذای در تماس با پلاستیک است.

$$F=-Dp*\partial Cp/\partial x \qquad (۳)$$

طبق رابطه، F جریان انتشار،Dp ضریب انتشار، Cp غلظت مهاجرت‌کننده و x ضخامت ماده بسته‌بندی است [۲۰].

ضریب تقسیم: در سیستم دوفازی غذا / پلیمر، مهاجرت از یک فاز به فاز دیگر برای رسیدن به تعادل ترمودینامیکی انجام می‌شود. ضریب تقسیم نسبت غلظت ماده مهاجرت‌کننده در حالت تعادل در پلیمر به غلظت تعادلی آن در فاز غذا است:

$$K = Cp/Cs \qquad (۴)$$

زمانی که K برابر یک است، یعنی در حالت تعادل غلظت ماده مهاجرت‌کننده در غذا با غلظت آن در پلیمر یکسان است [۲۱].

در اکثر حالات برای محاسبه مقدار ماده مهاجرت نموده، از فرمول زیر می‌توان استفاده کرد:

$$M_t=KM_\infty S\sqrt{Dpt/\pi} \qquad (۵)$$

در این رابطه K ضریب تقسیم، $\mu\infty$ حداکثر مهاجرت به ازاء واحد سطح، ,D ضریب انتشار، tزمان، S سطح در تماس است [۲۰].

۴- انواع مهاجرت

۴-۱- مهاجرت مرتبط با تعداد مواد مهاجر[1]

تفاوت دو مفهوم مهاجرت کلی[2] و مهاجرت ویژه[3] اهمیت دارد. مهاجرت کلی انتقال مجموع مواد بسته‌بندی (ناشناخته و شناخته شده) به ازای واحد سطح بسته‌بندی است. مهاجرت ویژه مربوط به انتقال مواد ویژه و شناخته شده است [۱۴].

۴-۲- مهاجرت مرتبط با ماهیت ماده غذایی[4]

۳ نوع مهاجرت در سیستم‌های غذایی داریم: سیستم بدون مهاجرت، سیستم فرار و سیستم نشتی. در سیستم‌های بدون مهاجرت، انتقال جرم کمی از مواد معدنی و رنگدانه‌ها در مقایسه با مواد پلیمری با وزن مولکولی بالا اتفاق می‌افتد. در سیستم فرار، انتقال ترکیبات آروماتیک فرار جزئی حتی بدون تماس بسته‌بندی و ماده غذایی اتفاق می‌افتد، اگرچه تماس با غذا می‌تواند باعث تقویت آن شود. این نوع مهاجرت در مورد مواد غذایی خشک که در تماس مستقیم کم با مواد بسته‌بندی است، مطرح است. در چنین شرایطی مواد فرار طی ۳ مرحله مهاجرت می‌کنند: انتشار یا تبخیر مواد مهاجر، دفع و جذب روی محصول. در سیستم نشتی تماس بین بسته و ماده غذایی برای این‌که انتقال مهاجر رخ دهد، ضروری است. انتقال جرم ماده مهاجر در این سیستم ابتدا با انتشار ماده مهاجر از ماده بسته‌بندی، سپس انحلال و دیسپرسیون یا نفوذ به درون ماده غذایی و فرآورده صورت می‌گیرد. مثال رایج این نوع مهاجرت، مهاجرت از بسته‌بندی پلاستیک به مواد غذایی مایع یا نیمه مایع که در تماس مستقیم با مواد بسته‌بندی هستند، است [۱۴].

۴-۳- مهاجرت با توجه به ضریب انتشار[5]

فاکتور اصلی کنترل‌کننده مهاجرت، انتشار است و ارزیابی آن به‌دلیل نفوذ اجزای مواد غذایی که موجب افزایش میزان انتشار مواد بسته‌بندی می‌شود، چالش‌برانگیز است. چون ممکن است میزان انتشار را تغییر دهد. در اینجا ۳ گروه مهاجرت داریم: در گروه اول

[1] Migration according to number of migrants
[2] Overall Migration
[3] Specific Migration
[4] Migration related to foods nature
[5] Migration based on coefficient of diffusion

ضریب انتشار تقریباً صفر است و توانایی مهاجرت در حداقل مقدار خود است. در گروه دوم ضریب انتشار مقدار ثابتی است که به زمان و ساختار غذای درون بسته‌بندی، وابسته نیست. در گروه سوم پدیده مهاجرت تحت تأثیر تماس با ماده غذایی قرار می‌گیرد که در صورت عدم تماس با غذا مهاجرت ناچیز رخ می‌دهد [۱۴].

۴-۴- مهاجرت تماسی[1]

در این نوع مهاجرت یک ماده از بسته‌بندی تا غذا فقط در صورت تماس اتفاق می‌افتد؛ مثلاً انتقال مواد افزودنی از جعبه مقوایی پیتزا به پیتزا یا انتقال مونومرها و نرم‌کننده‌ها از پلاستیک، سینی، کیسه یا بسته‌بندی به مواد غذایی [۱۴].

۴-۵- مهاجرت فاز گاز[2]

در این نوع مهاجرت، ماده از پوشش بیرونی به داخل یا از لایه چاپی بسته به لایه داخلی نفوذ می‌کند. انتقال جرم یک ماده خاص از طریق گاز اتفاق می‌افتد [۱۴].

۴-۶- مهاجرت نفوذ[3]

در مهاجرت نفوذ، ماده‌ای از پوشش بیرونی و لایه چاپی بسته‌بندی به سمت داخل حرکت می‌کند یا از طریق تماس مواد بسته‌بندی با مواد غذایی مهاجرت صورت می‌گیرد. مهاجرت ماده بسته‌بندی از طریق تماس یا مهاجرت فاز گاز است [۱۴].

۴-۷- مهاجرت راه‌اندازی[4]

این نوع مهاجرت مربوط به انتقال انبوه جوهرها، لاک‌ها و روکش‌ها از قسمت بیرونی چاپ‌شده به داخل بسته‌بندی است.با توجه به نوع ماده مهاجرت کننده، این نوع مهاجرت می‌تواند مرئی یا نامرئی باشد [۱۴].

۴-۸- مهاجرت چگالش/تقطیر[5]

اگرچه از عملیات حرارتی برای بهبود زمان ماندگاری مواد غذایی استفاده می‌شود.انتقال مواد ممکن است در طی فرآیندها، جوشاندن یا استریل کردن غذا یا غذای بسته‌بندی‌شده در سینی یا کارتن اتفاق بیفتد. به‌طور معمول، ترکیبات فرار از بسته‌بندی یا رطوبت حاصل از تقطیر بخار به غذا مهاجرت می‌کنند و بالعکس [۱۴].

۵- فاکتورهای مؤثر بر میزان و سرعت مهاجرت

با توجه به پیچیدگی پدیده‌های مهاجرت عوامل متعددی می‌تواند بر روند آن تأثیر بگذارد. میزان مهاجرت تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد. این عوامل شامل موارد زیر است:

ماهیت ماده غذایی: ماهیت و ترکیبات ماده غذایی فاکتورهای بحرانی در بررسی مهاجرت هستند، در مواد غذایی با چربی بالا مهاجرت زیاد اتفاق می‌افتد. شبیه‌سازهای غذایی مختلفی قبلاً برای مطالعه تأثیر ماهیت غذا بر مهاجرت استفاده شده‌اند. مطالعات زیادی برای بررسی انتقال جرم مواد بین بسته‌بندی و مواد غذایی با اعمال پارامترهای حلالیت صورت گرفته است که به کمک آن می‌توان میزان مهاجرت در طول فرآیند تولید غذا را در زمان واقعی آزمایش کرد. در این راستا، شبیه‌سازهای غذایی مختلف توسط اتحادیه اروپا توصیه می‌شود (جدول۲).

جدول (۲): فهرست شبیه‌سازهای غذایی رایج مورد استفاده برای آزمایش مهاجرت

حلال‌های مورد استفاده برای آزمایش مهاجرت	دسته‌بندی شبیه‌ساز
آب مقطر	شبیه‌سازA
محلول استیک اسید(۳ درصد وزنی- حجمی)	شبیه‌سازB
محلول اتانول(۱۵ درصد حجمی- حجمی)	شبیه‌سازC
روغن آفتابگردان یا روغن زیتون تصفیه شده	شبیه‌سازD

نوع تماس: مطالعات متعدد نشان داده‌اند که سطوح مهاجرت با نوع تماس (مستقیم یا غیرمستقیم) بین غذا و بسته‌بندی مرتبط هستند. به‌طور کلی، تماس مستقیم بین غذا و بسته‌بندی نرخ انتقال جرم را افزایش می‌دهد و تماس غیرمستقیم، مثلاً وجود محیط گازی بین غذا و بسته‌بندی منجر به مهاجرت نسبتاً کندتر می‌شود.

زمان تماس: انتقال جرم مواد مهاجرت کننده تا حد زیادی به مدت زمان تماس غذا با بسته‌بندی وابسته است. غلظت ترکیبات مهاجر با ریشه دوم زمان تماس متناسب است. لگاریتم زمان برای تعادل و عکس دما رابطه خطی است.

دمای تماس: فاکتور دما دارای اثر مستقیم روی میزان و سرعت مهاجرت است. در دمای بالا میزان مهاجرت را افزایش می‌یابد و موجب رسیدن هر چه زودتر به تعادل می‌شود.

ماهیت ماده بسته‌بندی: ویژگی‌های ماده بسته‌بندی روی مهاجرت تأثیرگذار است. ضخامت بسته‌بندی روی مهاجرت اثر دارد و هرچه بسته‌بندی ضخامت کمتری داشته باشد، میزان مهاجرت در آن بالاتر است. ارتباطی بین میزان اجزای بازیافت شده با مهاجرت نیست.

[1] Contact migration
[2] Gas-phase migration
[3] Penetration migration
[4] Set-off migration
[5] Condensation/distillation migration

ویژگی‌های مواد مهاجر: میزان بالای مواد فرار باعث افزایش سرعت مهاجرت می‌گردد. مهاجرت در اجزایی با وزن مولکولی بالا نسبت به اجزا با وزن مولکولی پایین، کمتر رخ می‌دهد. ریزساختار مواد مهاجر روی مقدار مهاجرت تأثیر می‌گذارد. برای شکل‌گیری پدیده مولکولی مشخص است که شکل‌های پیچیده مولکولی (متمایل به کره یا مولکول‌های با زنجیره‌ی جانبی) دارای میزان مهاجرت کمتری هستند.

مقدار مواد مهاجر: در غلظت‌های بالا مواد مهاجر بسته‌بندی بعد از گذشت زمان مشخص به مقدار زیاد در غذا پیدا می‌شوند [۱۴].

۶- انواع مواد مهاجرت کننده از ماده بسته‌بندی

الف - افزودنی ها: این مواد به هدف بهبود عملکرد خواص پلیمرها، در تولید آن‌ها استفاده می‌شوند. افزودنی‌هایی مثل نرم‌کننده‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها، پایدارکننده‌های نوری، پایدارکننده‌های حرارتی، روان‌کننده‌ها، عوامل ضد الکتریسیته ساکن و عوامل لغزنده در تولید مواد بسته‌بندی پلیمری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ب- مونومرو الیگومرها: از جمله این ترکیبات می‌توان به استیرن، وینیل کلراید، بیس فنول A، ایزوسیانات، کاپرولاکتام و الیگومر پلی اتیلن ترفتالات اشاره کرد که بسیار واکنش می‌دهند.

ج- آلاینده‌ها: فرآورده‌های تجزیه‌ای ناشی از افزودنی‌ها یا مونومرها در شرایط مناسب به مواد غذایی مهاجرت می‌کنند. بقایای مواد شیمیایی مورد استفاده در فرآیند مواد بسته‌بندی در تماس مستقیم با ماده غذایی موجب آلودگی می‌شوند. محیط اطراف بسته‌بندی نیز می‌تواند منبعی از آلودگی باشد [۲۲].

۷- مهاجرت از بسته‌بندی‌های پلاستیکی

۷-۱- نرم‌کننده‌ها

بیشتر نرم‌کننده‌ها استرهای اسید فتالیک (فتالات) و آدیپیک هستند. دیوکتیل فتالات، دی-۲-اتیل هگزیل فتالات و دی-۲-اتیل هگزیل آدیپات به‌طور سیستماتیک در طول آماده‌سازی مواد بسته‌بندی استفاده می‌شود. فتالات‌ها در واشرها و رزین‌های درپوش، بطری‌های مواد غذایی، فیلم‌های پلی وینیل کلراید (PVC) و برخی بسته‌بندی‌های پلاستیکی کاربرد دارند. فتالات‌ها زمانی به‌عنوان نرم‌کننده در فیلم‌های بسته‌بندی‌های پلیمری استفاده می‌شوند، به‌عنوان مواد با وزن مولکولی کم مشخص می‌شوند، بنابراین مهاجرت مواد از بسته به ماده غذایی را تسهیل می‌کند. مطالعات متعددی نرم‌کننده‌ها به‌عنوان مهاجرت کنندگان بالقوه‌ای که می‌توانند از بسته‌بندی به مواد غذایی منتقل شوند را گزارش کرده‌اند [۱۴].

۷-۲- پایدارکننده‌های حرارتی

پایدارکننده‌های حرارتی معمولاً در مواد پلاستیکی از جمله PVC و پلی استایرن ترکیب می‌شوند. به‌طور کلی، دانه‌های اپوکسید شده و روغن‌های گیاهی (به‌عنوان مثال، روغن سویا استری شده- در روغن سویا) معمولاً در طیف گسترده‌ای از فیلم‌های پلاستیکی پلیمری به‌عنوان پایدارکننده‌های حرارتی، روان‌کننده‌ها و نرم‌کننده‌ها کاربرد دارند. مطالعات تأثیر درجه خلوص در سمیت نشان می‌دهد که اکسید اتیلن باقی‌مانده در ظروف بسته‌بندی بسیار سمی است [۱۴].

۷-۳- افزودنی‌های روان کننده

آمیدهای مبتنی بر اسیدهای چرب به‌طور گسترده به‌عنوان افزودنی در بسته‌بندی پلاستیکی ساخته‌شده از پلی اولفین و PS و PVC مورد استفاده قرار می‌گیرند.روان شدن افزودنی‌هایی که مستقیماً در فرمولاسیون پلاستیک گنجانده می‌شوند، باعث ایجاد شکوفه‌های سطحی در بسته‌بندی می‌شود. این ترکیبات برای ایجاد ویژگی‌های خاص در محصولات استفاده می‌شود؛ مثلاً با دادن خاصیت روان کنندگی به مواد بسته‌بندی از چسبندگی یا تجمع مواد جلوگیری می‌کنند [۱۴].

۷-۴- پایدارکننده‌های نور

این مواد شیمیایی در مواد بسته‌بندی پلاستیکی (پلی الفین) برای افزایش مقاومت برای کاربردهای طولانی مدت استفاده می‌شوند. پایدارکننده‌های نور در بسیاری از کاربردها برای بهبود طولانی مدت خواص هوازدگی پلیمرهای پلاستیکی مانند پلی الفین‌ها استفاده می‌شود. آمین‌های پلیمری به‌طور گسترده در پلی الفین‌ها به‌عنوان پایدارکننده نور استفاده می‌شود. این آمین‌ها از طریق کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا و آشکارسازهای طول موج دوگانه UV و مرئی شناسایی می‌شوند. تجزیه‌وتحلیل پیچیده بر اساس این روش‌ها نتایج قابل اعتمادی را ارائه می‌دهد و فرصتی برای این‌که ابزارهای کاربردی را با تائید انطباق با آن محدودیت‌های قانونی توسعه داد، ایجاد می‌کند [۱۴].

۷-۵- آنتی‌اکسیدان‌ها

هنگامی‌که پلیمرها در معرض نور UV و هوا قرار می‌گیرند، ممکن است به‌طور قابل توجهی به‌دلیل واکنش‌های اکسیداسیون تخریب می‌شود. آنتی‌اکسیدان‌ها می‌توان برای کاهش درجه اکسیداسیون و افزایش پایداری پلیمرها کمک کنند. در مواد بسته‌بندی پلاستیکی استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های شیمیایی رایج است. همچنین، ویتامین‌هایی مانند A، C و E و مشتقاتی مانند توکوفرول‌ها، توکوترینول‌ها و کاروتنوئیدها را می‌توان اضافه کرد. وجود مقداری یون‌های فلزی (به‌عنوان مثال، سلنیوم) برای فعالیت آنتی‌اکسیدان

بسیار مهم هستند. آنزیم‌ها و سایر مواد شیمیایی گیاهی مانند گلوتاتیون و اسید لیپوئیک نیز در کنترل اکسیداسیون کارکرد خوبی دارند. انتقال جرم آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی مانند بوتیل هیدروکسی آنیزول، بوتیل هیدروکسی تولوئن، بوتیل هیدروکینون سوم و پروپیل گالات از بسته‌بندی به مواد غذایی گزارش شده است [۱۴].

۷-۶- حلال‌ها

حلال‌های مختلفی در تهیه محلول‌ها یا دردیسپرسیون جوهرهای چاپ در بسته‌بندی‌های پلاستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. حلال‌ها عمدتاً ترکیبات آلی با وزن مولکولی کم مانند اترها، استرها، الکل‌ها و کتون‌ها می‌باشند. این حلال‌ها بیشتر از بسته‌بندی‌های پلاستیکی چاپ شده تبخیر می‌شوند اما ممکن است از طریق تقطیر، نفوذ، یا تماس مستقیم پراکنده شود. با این حال، مقداری از حلال پایه ممکن است در آن مواد بسته‌بندی باقی بماند و بعداً از طریق تماس مستقیم به غذا منتقل می‌شود یا پس از رهاسازی در فضای بسته‌بندی به ماده غذایی انتقال پیدا کند. مقدار حلالی که از مواد بسته‌بندی به غذا منتقل می‌شود به غلظت و توزیع آن حلال بستگی دارد؛ بنابراین، مهاجرت بالقوه باقیمانده حلال باقی‌مانده می‌تواند موجب تغییر ویژگی‌های ارگانولپتیک مواد غذایی شود [۱۴].

۷-۷- مونومرها و الیگومرها

بسیاری از مونومرها و الیگومرها با واکنش‌های شیمیایی مختلف پلیمرها را تولید می‌کند. استایرن از جمله است مونومرهایی که به‌طور گسترده برای تولید PS برای بسته‌بندی‌های در تماس مستقیم با مواد غذایی استفاده می‌شود. پلی استایرین بیشتر برای بسته‌بندی طیف وسیعی از محصولات لبنی (بستنی، پنیر کاتیج، ماست)، آبمیوه و سایر نوشیدنی‌ها، مرغ و سایر گوشت‌ها، محصولات نانوایی و محصولات تازه استفاده می‌شود. یک مونومر استایرن ممکن است به اکسید مربوطه خود تجزیه شود که یک ماده جهش‌زا شدید است و در صورت متابولیزه شدن در بدن اسید هیپوریک تولید می‌کند که می‌تواند از طریق ادرار از بدن دفع شود. در معرض استایرن قرار گرفتن می‌تواند منجر به سمیت اندام و تحریک پوست، چشم‌ها و ریه‌ها با سرکوب هم‌زمان فعالیت سیستم عصبی مرکزی شود. میانگین سطح مجاز مونومرهای استایرن در بسته‌بندی مواد غذایی ppm ۱۰۰-۳۰۰۰ است [۱۴].

۷-۸- ایزوسیانات‌ها

ایزوسیانات ها معمولاً برای تولید پلی اورتان‌ها و در برخی از چسب‌ها برای تهیه بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود. همچنین آمین‌های معطر، به‌ویژه آمین‌های اولیه، زیرمجموعه این دسته از ترکیبات هستند. مهاجرت آن‌ها به مواد غذایی از اپوکسی پلیمرها، پلی اورتان‌های معطر گزارش شده است. اثرات سمی ایزوسیانات ها بر سلامت انسان به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. حداکثر سطح ایزوسیانات باقی‌مانده باید کمتر از ۱ میلی‌گرم / کیلوگرم در بسته‌بندی نهایی باشند. با این حال، تنها کاربرد ۱۲ نوع ایزوسیانات برای بسته‌بندی غذا تائید شده است [۱۴].

۷-۹- وینیل کلرید

تحت شرایط دما و فشار معمولی، وینیل کلرید گازی بی‌رنگ است. وینیل کلرید تحت‌فشار بالا به مایع تبدیل می‌شود و در تهیه پلی وینیل کلرید به‌عنوان پایه مواد بسته‌بندی استفاده می‌شود. وینیل کلرید از بطری‌های پی‌وی‌سی و بسته‌بندی مواد غذایی نشت می‌کند و موجب تغییر ویژگی‌های ارگانولپتیک مواد غذایی و سمیت در ماده غذایی می‌شود. از آنجا که وینیل کلرید بسیار سمی است، حداکثر میزان مجاز در بسته‌بندی مواد غذایی کمتر از ۰/۰۰۰۴ میکروگرم/کیلوگرم است [۱۴].

۷-۱۰- اکریلونیتریل

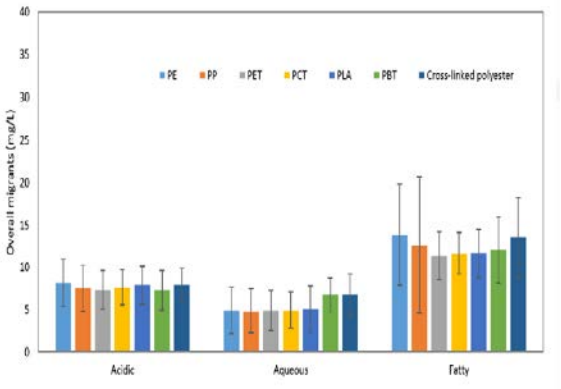
مونومر آکریلونیتریل به‌طور گسترده به‌عنوان ماده پایه در تولید پلاستیک، رزین، الاستومر استفاده می‌شود. همچنین این ماده در پلیمرهای متنوع یافت می‌شود. اکریلونیتریل ماده سمی است و باقی‌مانده آن در بسته‌بندی ماده غذایی می‌تواند به غذا مهاجرت کند [۱۴].

۷-۱۱- الیگومر پلی‌اتیلن ترفتالات

الیگومرهای پلی اتیلن ترفتالات (PET) عمدتاً در ساخت سینی و بطری برای بسته‌بندی انواع مختلف مواد غذایی (از جمله محصولات تازه) و نوشیدنی (از جمله آب مواد معدنی، آبمیوه، نوشابه‌های گازدار و شیر) استفاده می‌شود. PET حاوی مقادیر کمی از الیگومرهای با وزن مولکولی کم است. علاوه بر این، ماده فرار اصلی در PET، استالدئید است که به‌دلیل تأثیر آن بر بوی غذا به‌ویژه در نوشیدنی‌های نوع کولا از اهمیت بالایی برخوردار است. این ماده شیمیایی حلقوی در نوشیدنی‌های مختلف در سطوح ۰/۰۶٪ و ۱% بسته به نوع PET شناسایی شده است. [۱۴].

Shin و همکاران در سال ۲۰۲۱، مقدار مهاجرت کلی بسته‌بندی‌های پلاستیکی مختلف از جمله PP، PE، PET، PCT، PLA، PBT و پلی‌استر را اندازه‌گیری کردند. شبیه‌سازهای غذایی مورد استفاده ۴ درصد اسید استیک، آب و n هپتان بود. این محققان میانگین مقدار مهاجرت کلی با استفاده از اسید استیک ۴ درصد و آب ۷/۳-۸/۲ میلی‌گرم در لیتر و ۴/۹-۶/۸ میلی‌گرم در لیتر را گزارش کردند. همچنین میانگین مقدار مهاجرت کلی در هنگام استفاده از n دهپتان ۱۳/۸-۱۱/۸میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است [۳].

در شکل (۲) مهاجرت کلی از بسته‌بندی‌های پلاستیکی به شبیه‌سازهای غذایی آمده است.



شکل (۲): مهاجرت کلی از بسته‌بندی‌های پلاستیکی به شبیه‌سازهای غذایی

۸- اندازه‌گیری مهاجرت

چهار روش مرسوم اندازه‌گیری میزان ترکیبات مهاجر عبارت‌اند از:

- روش‌های غیرمستقیم (پلیمر)
- روش‌های مستقیم (ماده غذایی)
- روش‌های نیمه مستقیم[1]
- مدل‌های ریاضی

در روش مستقیم، بسته‌بندی در تماس با ماده غذایی در شرایط مشابه شرایط واقعی قرار می‌گیرد. مشکلات این روش عبارت‌اند از:

- پیچیده بودن سیستم، عدم دقت و حساسیت
- زمان بر بودن
- نتایج حاصل مستقیماً قابل قیاس با مقادیر مجاز است.

در روش نیمه مستقیم ماده بسته‌بندی در تماس با ماده شبه غذایی که قرار می‌گیرد و مقدار مهاجرت در این مورد بیشتر از مقدار واقعی است [۲۳].

مهاجرت از پلاستیک به ماده غذایی، به کمک مدل‌سازی ریاضی قابل پیش‌بینی است. هم‌اکنون سازمان غذا و داروی آمریکا[2] و کمیسیون اروپایی[3] از تخمین مهاجرت توسط مدل‌سازی ریاضی، به‌عنوان ابزار کمکی در تائید تصمیمات نظارتی، استفاده می‌کند. توصیف مهاجرت، توسط قوانین اول و دوم انتشار فیک صورت می‌گیرد [۲۴].

[1] Semi direct
[2] FDA
[3] EC

۹- مشکلات مربوط به اندازه‌گیری میزان مهاجرت

- ترکیبات موجود در بسته ممکن است ناشناخته باشند و در طی فرایند تجزیه شوند.

- تعیین تجزیه‌ای بسیاری از این ترکیبات در بستر پیچیده‌ای نظیر غذا مشکل است به‌ویژه زمانی که فقط به مقدار کم در استخراج موجود باشند.

- ترکیبات دیگری غیر از آنکه مدنظر ست ممکن است استخراج شده و در نتیجه در اندازه‌گیری تجزیه‌ای ما اختلال ایجاد گردد.

- بسیاری از محصولات غذایی فقط برای دوره‌های کوچک زمانی پایدار هستند در حالیکه داده‌های مستخرج شده برای مطالعه‌های طولانی‌مدت موردنیاز است.

- شرایط آزمایش مناسب به علت تغییرپذیری فراوان شرایط تماسی ممکن، آسان نیست (شرایط عملی نظیر انبارها، سوپرمارکت‌ها، گنجه‌های خانگی).

با توجه به دلایل ذکرشده در اغلب این بررسی‌ها از ترکیبات مشابه‌های غذایی[4] استفاده می‌گردد [۱۴].

۱۰- مروری بر تحقیقات پیشین

در جدول (۳) مروری بر تحقیقات پیشین آمده است.

جدول (۳): مروری بر تحقیقات پیشین

Hu و همکاران در سال ۲۰۲۰	تجزیه و تحلیل و ارزیابی ریسک ترکیبات غیر فرار مواد پلی‌آمیدی در تماس با ماده غذایی
Shin و همکاران در سال ۲۰۲۱	بررسی مهاجرت مواد از بسته‌بندی پلاستیکی به مواد غذایی و پیامدهای آن‌ها برای انسان
Samsudin و همکاران ۲۰۱۸	مهاجرت آنتی‌اکسیدان‌ها از فیلم‌های پلی لاکتیک اسید: تخمین پارامتر و مروری بر مدل‌های انتقال جرم فعلی
Ibarra و همکاران ۲۰۱۹	تجزیه و تحلیل مواد افزودنی عمدی و غیرعمدی در مواد بسته‌بندی پلاستیکی و مهاجرت آن‌ها به شبیه‌سازهای مواد غذایی
Pilevar و همکاران ۲۰۱۹	بررسی مهاجرت مونومر استایرن از مواد بسته‌بندی پلی استایرن به مواد غذایی: شناسایی و ارزیابی ایمنی

[4] Food Simulants

۱۱- نتیجه‌گیری

هدف اصلی بسته‌بندی، نگهداری و محافظت ماده غذایی از مخاطرات فیزیک و شیمیایی و میکروبی است که متأثر بر ایمنی و کیفیت مواد غذایی است. برای یک محصول غذایی خاص، انتخاب دقیق مواد بسته‌بندی باید با در نظر گرفتن اجزای محصول نهایی، تمام فعل‌وانفعالات احتمالی آن‌ها و همچنین تأثیر ناشی از آن بر کیفیت و ایمنی مواد غذایی صورت بگیرد. معیار انتخاب بسته‌بندی مواد غذایی انطباق آن‌ها با قوانین و مقررات معتبر است که ممکن است نیاز به اندازه‌گیری مهاجرت کلی و خاص داشته باشد. با در نظر گرفتن موارد زیر می‌توان ایمنی مواد بسته‌بندی و پتانسیل برای مهاجرت آلودگی‌ها را تخمین زد:

۱- آیا مواد بسته‌بندی برای کاهش مهاجرت احتمالی اجزای موجود بهینه‌سازی شده است؟

۲- احتمال مهاجرت هر جزء بالقوه به داخل غذای بسته‌بندی‌شده به ترکیب غذا بستگی دارد، مثلاً مهاجرت گروه‌های آب‌گریز بیش‌تر است که این مورد در بسته‌بندی مواد غذایی چرب چالش ایجاد می‌کند.

۳- تأثیر ترکیبات مهاجر بر ویژگی‌های ارگانولپتیک غذاها هم باید در نظر گرفته شود.

۱۲- مراجع

[1] C. V. Garcia, G. H. Shin, and J. T. Kim, “Department of Food Science and Technology," SC. Elsevier Ltd, 2018.

[2] Y. Hu et al., “Abstract” Food Chem., p. 128625, 2020.

[3] C. Shin, D. Kim, J. Kim, J. Ho, and M. Song, “Migration of substances From Food Contact Plastic Materials into Foodstuff and their Implications for Human Exposure,” Food Chem. Toxicol., vol. 154, no. April, p. 112373, 2021.

[4] H. Samsudin, R. Auras, D. Mishra, K. Dolan, and G. Burgess, "Migration of Antioxidants From Polylactic Acid Films : a Parameter Estimation Approach and an Overview of the Current Mass Transfer Models," 2017.

[5] V. G. Ibarra, A. R. B. De Quirós, P. P. Losada, and R. Sendón, “Non-target analysis of Intentionally and Non Intentionally Added Substances From Plastic Packaging Materials and Their Migration into Food Simulants,” Food Packag. Shelf Life, vol. 21, no. p. 100325, 2019.

[6] L. Laguna, “Safety Climate and Attitude as Evaluation Measures of Organizational Safety,” vol. 29, no. 5, pp. 643–650, 1997.

[7] M. W. Report, “Morbidity and Mortality Weekly Report Surveillance for Foodborne-Disease Outbreaks — United States, 1998 – 2002 depar,” vol. 55, pp. 1998–2002, 2006.

[8] USDA “Changes in Consumer Knowledge, Behavior, and Confidance Since the 1996 PR/HACCP Final Rule” http://www.fsis.usda.gov,2003.

[9] WHO “Foodborne Disease: A Focus for Health Education,” https://www.who.int, 2000.

[10] D. Videira-quintela, O. Martin, and G. Montalvo, “Trends in Food Science & Technology Recent Advances in Polymer-Metallic Composites For Food Packaging Applications,” Trends Food Sci. Technol., vol. 109, pp. 230–244, 2021.

[11] Z. Pilevar, A. Bahrami, S. Beikzadeh, H. Hosseini, and S. M. Jafari, “AC SC,” Trends Food Sci. Technol., 2019.

[12] A. Schaefer, “Identification and Quantification of Migrants from Can Coatings.”

[13] T. Print, “Chemical Migration and Food Contact Materials,” no. December, pp. 1–4, 2006.

[14] M. S. Alamri et al., “Saudi Journal of Biological Sciences Food packaging’ s materials : A Food Safety Perspective,” Saudi J. Biol. Sci., vol. 28, no. 8, pp. 4490–4499, 2021.

[15] E. Helmroth, R. Rijk, M. Dekker, and W. Jongen, “Predictive Modelling of Migration From Packaging Materials into Food Products for Regulatory Purposes,” vol. 13, pp. 102–109, 2002.

[16] FDA “Guidance for Industry: Preparation of Premarket Submissions for Food Contact Substances (Chemistry Recommendations),” https://www.fda.gov, 2007.

[17] MFDS “Safety Evaluation Model for Migrant From Utensils and Food Packaging Materials,” https://www.mfds.go.kr/eng/index.do, 2017.

[18] EC “relating to Plastic Materials and Articles Intended to Come into Contact with Plastic Material,” https://ec.europa.eu/info/index_en, 2004.

[19] I. S. Arvanitoyannis and K. V Kotsanopoulos, “Migration Phenomenon in Food Packaging . Food – Package Interactions , Mechanisms , Types of Migrants , Testing and Relative Legislation - A Review Alcoholic Grade,” no. 2006.

[20] H. Kim, S.G. Gilbert, and J.B. Johnson, “Determination of Potential Migrants From Commercial Amber Polyethylene Terephthalate Bottle Wall,” Pharmaceutical Research, vol. 7, no. 2, pp.176-179,1990.

[21] E. A. Tehrany, S. Desobry, “Partition Coefficient in Food/Packaging Systems: a Review”, Food Additives and Contaminants, vol. 21, no. 12, 2004.

[22] O. Lau and S. Wong, “Contamination in Food from packaging Material,” vol. 882, pp. 255–270, 2000.

[23] “Migration of Phthalates from Plastic Containers into Soft Drinks and Mineral Water,” vol. 45, no. 1, pp. 91–95, 2007.

[24] J. C. Oliveira, F. A. R. Oliveira, and T. Hogg, “A Critical Survey of Predictive Mathematical Models for Migration from Packaging.”

Journal of Packaging Science and Technology

Vol. 12, No. 3, 2021

Food Safety with a Focus on the Migration of Plastic Packaging

Parvin Boghori, Naser Sedaghat *

*Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(Received: 07/10/2021; Accepted: 27/02/2022)

Abstract

Food packaging works to ensure food safety and easy transportation by preventing chemical contamination and extending its shelf life, which provides convenience for consumers. Different types of materials are used for food packaging, including plastics, glass, metals and paper and their composites. However, due to the increasing awareness of consumers and the importance of transferring harmful substances from packaging to food, there is more concern about the use of any type of packaging material. The use of appropriate methods that guarantee the production, supply and consumption of healthy food throughout the food chain and the existence of a safe system and effective food control will promote hygiene, health and increase economic productivity. Safety is very important in food packaging. Packaging safety includes controlling the entry of harmful compounds from the packaging into the food (migration phenomenon). Interaction between food packaging and the infiltration of migratory compounds such as plasticizers, thermal stabilizers, antioxidants, solvents, monomers and oligomers, and contaminants resulting from the decomposition of monomers, additives, and environmental contaminants alter sensory properties. Factors affecting migration include the nature of the food, thetype, time and temperature of contact, the nature of the packaging material, the characteristics of the migrating material and its quantity in the packaging.

Keywords: Food Safety, Types of Migration, Migration Mechanisms, Plastic Packaging

*Corresponding Author E-mail: sedaghat@um.ac.ir