2nd National Food Safety Specialists Congress
Tehran-November 2013

۴ و ۵ آذر ماه ۱۳۹۲- تهران

ایمنی غذا و توسعه پایدار

WWW.SFOOD.IR

دومین کنگره ملی پژوهشگران ایمنی غذا

گواهینامه

بدینوسیله گواهی می شود جناب آقای احمد احتیاطی

در دومین کنگره ملی پژوهشگران ایمنی غذا که در تاریخ ۴ و ۵ آذر ماه برگزار گردید حضور داشته و مقاله خود را تحت عنوان مروری بر روش های اندازه گیری و کنترل مهاجرت در بستبندی های بر پایه فیبرهای سلولزی به صورت پوستر ارائه نموده است.

ریاست شورای سیاست گذاری و مشورتی
دکتر مجید حاجی فرجی

ریاست کمیته علمی کنگره
دکتر کیتی کریم

ریاست راهبردی
دکتر انعام شکری

دبیر کنگره
دکتر مسعود رسولی

به نام خدا

دومین کنگره ملی پژوهشگران ایمنی غذا

2nd National Food Safety Specialists Congress

Tehran-November 2013

تهران : ۴و۵ آذر ۱۳۹۲

با همکاری نهاد ریاست جمهوری اسلامی ایران

مروری بر روش های اندازه گیری و کنترل مهاجرت در بسته‌بندی های بر پایه فیبر های سلولزی

نویسنده مسئول:احمد احتیاطی

(دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد)

mahvid@live.com

سایرنویسندگان:

ناصر صداقت(عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد)

کد مقاله: ۱۰۸۵۹۹۵۱۳۲۴۰۳

خلاصه- ایمنی از مباحث مهم در علم بسته‌بندی مواد غذایی است که ارتباط مستقیم با ایمنی مواد غذایی دارد. مسئله ایمنی به ویژه در بسته بندی‌های کاغذی تهیه شده از فیبر های سلولزی بازیافتی باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. ایمنی بسته‌بندی در حوزه های مختلفی قابل بحث است، اما آنچه بیشتر مد نظر می باشد، کنترل خطر انتقال ترکیبات از بسته‌بندی به ماده غذایی طی دوره جابجایی و نگهداری است که تحت عنوان پدیده مهاجرت مطرح می‌شود. ارزیابی و کنترل مهاجرت در بسته‌بندی وابسته به عوامل متعددی است. این عوامل شامل ویژگی های ماده بسته بندی، ویژگی ماده غذایی، شرایط محیطی و زمان می باشد. کنترل مهاجرت نیازمند شناخت کافی نسبت به پدیده مهاجرت، عوامل کنترل کننده آن و کنتیک انتقال ترکیبات از بسته‌بندی به ماده غذایی و شامل چهار مرحله کلی است: ۱- شناخت ترکیبات ضد سلامتی با ظرفیت مهاجرت از بسته‌بندی به ماده غذایی ۲- طراحی صحیح آزمایش به منظور بررسی اثر عوامل موثر بر شدت مهاجرت ۳- استفاده از روش های تجزیه دقیق به منظور تعیین مقدار ترکیب مهاجرت کننده در بسته‌بندی و ماده غذایی ۴- مدلسازی ریاضی مهاجرت به منظور تعیین ایمنی ماده بسته‌بندی طی دوره نگهداری. با توجه به اهمیت ایمنی و به ویژه مهاجرت در بسته‌بندی های بر پایه

فیبر های سلولزی، در این مقاله ابتدا تعاریف و مکانیسم های مرتبط با پدیده مهاجرت و سپس شرایط، ابزارها و روش های بکار رفته برای اندازه گیری، ارزیابی و مدلسازی مهاجرت در بسته‌بندی های بر پایه کاغذ مرور می‌گردد.

کلمات کلیدی: ایمنی، بسته بندی، کاغذ، کنترل و اندازه گیری. مهاجرت.

۱- مقدمه

گروهی مهم از مواد بسته‌بندی که از گذشته تا اکنون جزء مواد بسته‌بندی پایه محسوب می‌شود، بسته بندی‌های بر پایه کاغذ یا فیبر های سلولزی است. بخش زیادی از کاغذهایی که برای بسته‌بندی مواد غذایی بکار می‌رود به وسیله یک لایه مانع پوشش داده می‌شود که این پوشش‌ها در بسته‌بندی محصولات مایع مانند شیر و نوشیدنی‌ها کاربرد دارد [۱]. ایمنی از مباحث مهم در علم بسته‌بندی مواد غذایی است که ارتباط مستقیم با ایمنی مواد غذایی دارد. مسئله ایمنی به ویژه در بسته بندی‌های کاغذی تهیه شده از الیاف‌های سلولزی بازیافتی باید مورد توجه قرار گیرد. ایمنی بسته‌بندی در حوزه های مختلفی قابل بحث است که به طور کلی ایمنی بر هم کنش های ماده بسته‌بندی و ماده غذایی در شرایط مختلف است، اما آنچه بیشتر مد نظر می باشد، پدیده انتقال ترکیبات از بسته‌بندی به ماده غذایی طی دوره جابجایی و نگهداری است که تحت عنوان مهاجرت مطرح می‌شود. هم صنایع تولیدی و هم مصرف کنندگان فشار در حال افزایشی را بر مسئولین و قانون گذاران اعمال می‌کنند تا ایمنی بسته‌بندی غذایی را بهبود دهند. اگرچه دستورالعمل مشخصی از اتحادیه اروپا در مورد کاغذ و مقوا در بسته‌بندی مواد غذایی و در تماس با ماده غذایی ، وجود ندارد ولی دستورالعمل مجلس اروپا به شماره 89/109/EEC که تمام مواد بسته‌بندی در تماس با مواد غذایی را پوشش می‌دهد، بیان می‌کند موادی که برای سلامتی انسان خطرناک هستند نباید از بسته‌بندی به ماده غذایی، انتقال یابد یا به عبارتی مهاجرت کند. ارزیابی و کنترل مهاجرت در بسته‌بندی وابسته به عوامل متعددی است. این عوامل شامل ویژگی های ماده بسته بندی، ویژگی ماده غذایی، شرایط محیطی و زمان می باشد. کنترل مهاجرت نیازمند شناخت کافی نسبت به پدیده مهاجرت، عوامل کنترل کننده آن و معادلات کنتیک انتقال ترکیبات از

۲- بر هم کنش‌های مواد بسته‌بندی و ماده غذایی

هدف اصلی از بسته‌بندی در صنعت غذا، نگهداری و محافظت از مواد غذایی در برابر خطرات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی است که می‌توانند ایمنی و کیفیت محتوی داخل بسته را تحت تاثیر قرار دهد . بر هم کنش بین ماده غذایی و بسته‌بندی شامل ورود کنترل نشده میکرو ارگانیسم‌ها، گازها و بخارها، آب و سایر ترکیبات با وزن مولکولی کم به ماده غذایی است. در گذشته بیشتر مطالعات متمرکز بر اثرات نامطلوب چنین واکنش‌هایی بود اما امروزه تمایل در مورد اینکه چگونه چنین واکنش‌هایی می‌تواند کیفیت ماده غذایی را بهبود بخشد ایجاد شده است. مثال این موضوع جذب آگاهانه بعضی از ترکیبات فرار نامطلوب و استفاده از پلیمر های ضد میکروبی است. این نوع از بسته‌بندی از جمله مواردی که در حوزه بسته‌بندی فعال مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

به طور کلی بر هم کنش‌های ماده غذایی و بسته‌بندی را می‌توان به ۳ گروه تقسیم بندی کرد.

- مهاجرت: انتقال ترکیبات بسته‌بندی به ماده غذایی.
- جذب: انتقال ترکیبات ماده غذایی به بسته‌بندی.

نفوذ: انتقال ترکیبات از طریق بسته‌بندی چه از محیط به داخل بسته و چه از داخل بسته به محیط.

تغذیه ای و اقتصادی گردد. چنین پدیده‌هایی سبب تغییر اجزای سازنده غذا و تغییر خصوصیات حسی محصول نیز می‌گردد.

۲-۱- مکانیسم مهاجرت ترکیبات

مهاجرت مواد شیمیایی را می‌توان به دو نوع تراوش و تبخیر تقسیم کرد. مهاجرت از طریق تراوش نیازمند تماس نزدیک بین ماده بسته‌بندی و غذا مانند بسته‌بندی مایعات است. در سیستم‌های تراوشی، ماده مهاجر دارای ضریب انتشار بالایی در بسته‌بندی است و می‌تواند به راحتی در فاز ماده غذایی در تماس با بسته‌بندی حل شود. فرایند مهاجرت شامل سه مرحله است: ۱- انتشار ماده مهاجر در ماده بسته‌بندی به سمت سطح در تماس با ماده غذایی ۲- حل شدن ماده مهاجر در سطح تماس بسته با ماده غذایی و ۳- پخش شدن ماده مهاجر در ماده غذایی. در مهاجرت به روش تبخیر نیازی به تماس مستقیم بین ماده غذایی و بسته‌بندی وجود ندارد. این سیستم مهاجرت در مورد مواد خشک که تماس بین ماده غذایی و بسته‌بندی ضعیف است، رخ می‌دهد. مواد فراری که فشار بخار نسبتا بالایی در دمای اتاق دارند، ممکن است به ماده غذایی مهاجرت کنند. (شکل۱). پدیده مهاجرت در بیشتر موارد به وسیله انتشار در ماده بسته‌بندی کنترل شده و خصوصیات فاز ماده غذایی در درجه اهمیت دوم قرار دارد [۵].

a)

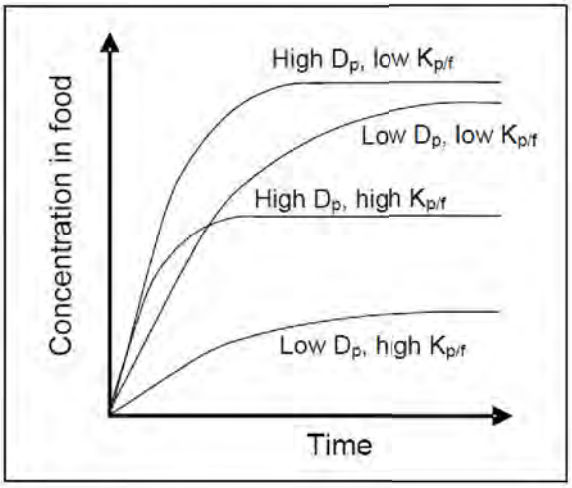
شکل۱- مکانیسم های مهاجرت در کاغذ- a) انتقال از فیبر های کاغذ به واسطه تماس مستقیم b) انتقال از فیبر های کاغذ با تماس غیر مستقیم c)انتقال از سطح خارجی به واسطه لایه فیبر کاغذ d)انتقال به محیط پیرامون از فیبر کاغذ. [۱۱]

مکانیسم اصلی در پدیده مهاجرت انتشار است و علت اصلی انتشار، گرادیان غلظت است. انتشار عبارت است از انتقال ترکیبات از نواحی با غلظت بالا به نواحی با غلظت پایین که هم در ماده غذایی و هم در بسته‌بندی رخ می‌دهد. سرعت انتقال جرم مولکول‌ها متناسب با گرادیان غلظت است. عامل تناسب در این حالت را ضریب انتشار گویند. فرایند انتشار به واسطه کنتیک و فعالیت ترمودینامیکی کنترل می‌شود. در ابتدا غلظت ماده مهاجرت کننده در ماده غذایی خیلی کم و در لایه های بسته‌بندی بالا است. این مسئله سبب ایجاد یک گرادیان غلظت بین بسته‌بندی و ماده غذایی است و در نتیجه به واسطه پدیده انتشار، ماده مهاجرت کننده به سمت ماده غذایی جریان پیدا می‌کند تا زمانی که تعادل غلظت بین دو فاز برقرار شود و دیگر گرادیان غلظت وجود نداشته باشد [۶]. طی فرایند مهاجرت در مرز بین بسته‌بندی و ماده غذایی رابطه بین غلظت ماده مهاجر در بسته‌بندی و ماده غذایی تابع ضریب پخش[۱۹] ($K_{p/f}$) است که به وسیله معادله ۱ توصیف می‌گردد.

$$K_{p/f} = \frac{C_{p,\infty}}{C_{f,\infty}}$$ معادله۱

[۱۹] -Partition Coefficient

به طوری که $C_{p,\infty}$ و $C_{p,\infty}$ به ترتیب معادل غلظت (بر حسب میلی گرم در متر مکعب) در بسته‌بندی و ماده غذایی در زمان بی نهایت هستند. بنابراین مقدار مهاجرت به ضریب انتشار ماده مهاجر درون بسته‌بندی و همچنین ضریب پخش آن در ماده غذایی وابسته است. شکل ۲ تاثیر هر دو پارامتر را روی فرایند مهاجرت نشان می‌دهد. هنگامی که ضریب انتشار بالا باشد باعث می‌شود که تعادل سریع‌تر برقرار شود، در صورتی که ضریب پخش بالاتر بر مقدار نهایی ماده مهاجر در نقطه تعادل موثر است. $K_{p/f}$ به قطبیت و حلالیت ماده مهاجر در ماده غذایی بستگی دارد [۵].



شکل۲- غلظت ماده مهاجر در ماده غذایی طی زمان [۵].

ضریب پخش ترکیبات بین کاغذ و هوا یک پارامتر کلیدی در ارزیابی مهاجرت به ماده غذایی است. این پدیده به نقطه جوش ماده مهاجر و ساختار شیمیایی آن، نوع کاغذ و حساسیت به افزایش دما بستگی دارد [۷]. قطبیت ترکیب مهاجر تاثیر زیادی بر پخش پذیری ماده مهاجر بین الیاف کاغذ و هوا دارد. بر اساس نتایج پوکاس و همکاران [۱] ترکیبات فتالات غیر قطبی با فشار بخار بالاتر مهاجرت نسبی کمتری در مقایسه با ترکیبات قطبی ولی با فراریت کمتر دارد. مشخص شده است که ترکیبات آلوده کننده فرار موجود در بسته‌بندی ثانویه مانند کارتن‌ها که اغلب برای حمل و نقل استفاده می‌شوند، قادرند از طریق هوا و

کیلوکرم ماده غذایی است [۶۱-۱۱۰].

۲- اندازه گیری مهاجرت ترکیبات از بسته‌بندی به ماده غذایی

روش‌های تعیین مهاجرت ترکیبات از بسته‌بندی به ماده غذایی به میزان زیادی به قابلیت استخراج شدن ماده تحت آزمایش بستگی دارد. این ویژگی به لحاظ کمی از طریق قرار دادن ماده بسته‌بندی در مجاورت ماده غذایی برای یک دوره زمانی و دمایی معین و سپس تعیین ترکیب مهاجر به ماده غذایی مشخص می‌گردد. اما تعیین مهاجرت در شرایط واقعی سخت است به همین دلیل در بیشتر موارد شرایط شبیه سازی شده مهاجرت مورد آزمایش قرار می‌گیرد. برای مثال برای ماده غذایی که زمان نگهداری بالایی دارد آزمایش مهاجرت در زمان کوتاه تر ولی در دمای بالاتر صورت می‌گیرد. علاوه بر این ترکیب‌های استانداردی که تحت عنوان شبیه‌سازهای غذایی[۲۲] شناخته می‌شوند در آزمایش‌های تعیین مهاجرت به جای مواد غذایی برای تسهیل ارزیابی و تحلیل نتایج مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۱].

۲-۱- شبیه ساز های غذایی

---

[۲۰] -Overall Migration Limit (OML)

[۲۱] -Specific Migration Limit (SML)

[۲۲] -Food simulant

به واسطه ساختار بی نهایت پیچیده شیمیایی و فیزیکی مواد غذایی، آزمایش‌های تعیین مهاجرت عموماً با استفاده از شبیه ساز های غذایی صورت می‌گیرد. این شبیه سازها ممکن است جامد یا مایع باشد اما دارای یک ساختار ساده و شناخته شده است که انجام آزمایش و تفسیر نتایج را تسهیل می‌کند. انواع مختلفی از شبیه ساز های غذایی در زمان‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته شده است و بعضی از آن‌ها در حال حاضر توسط قوانین به عنوان شبیه ساز های استاندارد معرفی شده است [۶]. بر اساس دستورالعمل اتحادیه اروپا، شبیه سازهای غذایی بر پایه شباهت آن به گروه های مختلف غذایی طبقه‌بندی شده‌اند. اگرچه شبیه سازی‌های غذایی در گروه های مختلف متمایز شده‌اند اما غذاهایی وجود دارد که مخلوطی از چربی و آب هستند. در ادامه به شبیه ساز های اصلی اشاره می‌گردد. آب: استفاده از آب برای شبیه سازی غذاهای آبکی با pH بالای ۴/۵ معمول است. این گروه مواد غذایی شامل نوشیدنی‌های غیر الکلی یا با غلظت الکل کمتر از ۵ درصد حجمی می‌شود. مانند آب، عصاره ساده یا تغلیظ شده میوه‌ها و سبزیجات، نکتار میوه‌ها، لیموناد‌ها و آب معدنی، شربت‌ها، قهوه، چای شکلات مایع، کیک و فراورده های نانوایی، میوه‌ها، پوره سبزیجات، ماهی، گوشت و فراورده های آن، پنیر، بستنی، تخم مرغ و سایر غذاهای آبکی؛ اسید استیک: محلول ۳ درصد اسید استیک در آب برای شبیه سازی غذاهای آبکی اسیدی با pH پایین‌تر از ۴/۵ مانند سرکه، ماست، دوغ می‌باشد؛ اتانول:محلول ۱۰ درصد اتانول برای شبیه سازی فراورده های الکلی معمول است؛ روغن:روغن زیتون و سایر روغن‌ها مانند روغن آفتابگردان و مخلوط تری گلیسیریدها برای شبیه سازی غذاهای چرب کاربرد دارد. روغن‌ها و چربی‌ها انواع سس‌ها، شیر و سایر غذاهایی که چربی بالایی دارد در این گروه قرار می‌گیرد [۱۱].

۲-۲- شبیه ساز غذایی برای بسته‌بندی های کاغذ و مقوا

حدود مهاجرت مخصوص، مهم‌ترین نوع محدودیت اعمال شده در حوزه بسته‌بندی است. در تعیین مهاجرت ترکیبات بهتر است از روش‌های تشخیص بین‌المللی معتبر استفاده شود. محققین دریافتند که ایزو اکتان و اتانول به عنوان شبیه ساز های مواد غذایی چرب، برای آزمایش مهاجرت کل از مقوا مناسب است. از آنجا که کاغذ و مقوا عموماً در تماس با مواد غذایی

گرفت. در هر دو بررسی مهاجرت کل کمتر از حد توصیه شده است [۱۲]. سامرفیلد و کوپر [۱۳] روش‌های اندازه گیری مهاجرت از کاغذ و مقوا به مواد غذایی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها آزمایش‌های مهاجرت را با تعداد زیادی از مواد غذایی (شکر، آرد، برنج، کیک‌ها، کلوچه و پیتزا) انجام دادند. ترکیبات مورد مطالعه فتالات ها و دی ایزوبروپیل نفتالن ها بودند. مشاهده شد که Tenax شبیه ساز غذایی مناسبی برای غذاهای خشک و غذاهای خشک چرب مانند کیک و کلوچه است. همچنین بیان شده است که این ترکیب شبیه ساز مناسبی برای پیتزا در دماهای بالاتر و زمان کوتاه است. در هر حال در مواردی میزان مهاجرت به مواد غذایی مقداری بیشتر از Tenax بود. برای مثال مهاجرت فتالات در برنج ، از Tenax در شرایط آزمایش بیشتر بود. پوکاس و همکاران [۱] از Tenax به عنوان ماده شبیه ساز در مطالعه الگوی مهاجرت ترکیبات با وزن مولکولی و قطبیت متفاوت از کاغذ استفاده کردند. این محققان نتیجه گرفتند که شدت مهاجرت با افزایش وزن مولکولی ماده مهاجر کاهش پیدا کرد. بازه دمایی مورد آزمایش در این تحقیق(۸-۴۰ درجه سانتی گراد) تاثیر معنی‌داری بر شدت مهاجرت نداشت. Tenax جذب بالاتری در مقایسه با غذاهای خشک دارد و در نتیجه نتایج قابل اطمینان است اما در دماهای بالا، ماده غذایی واقعی نتایج بهتری دارد. ماده تجاری Poropak [۱۲] و مخلوط نیمه جامد خاک دیاتومه به همراه آب و روغن زیتون[۱۳]، ترکیب های شبیه ساز دیگری هستند که در مطالعه مهاجرت از کاغذ و مقوا بکار رفته است. لین و همکاران

[۲۳] -Modified polyphenylene oxide

شرایط خاصی از نظر دمایی و زمانی در مجاورت و تماس با ترکیب شبیه ساز غذایی قرار داده می‌شود. روشی که بیشتر برای ارزیابی مهاجرت بکار رفته است آزمایش وزن سنجی است. در این روش ماده بافی مانده پس از طی زمان تماس وزن شده و درصد مهاجرت محاسبه می‌گردد [۱۵]. حد مهاجرت مخصوص در مواد بسته‌بندی عموماً به صورت میلی گرم ماده در هر کیلوگرم ماده غذایی معین می‌شود. با این فرض که عموماً شش دسی متر مربع بسته‌بندی برای بسته‌بندی یک کیلوگرم ماده غذایی لازم است، حد غلظت در غذا را می‌توان به غلظت ماده در کاغذ بسته‌بندی ، تبدیل کرد

$$\mathrm{SML}\frac{[\mathrm{mg}]}{[\mathrm{kg\ food}]}\times\frac{1[\mathrm{kg\ food}]}{6[\mathrm{dm^2\ paper}]}=0.16\mathrm{SML}\frac{[\mathrm{mg}]}{[\mathrm{dm^2\ paper}]}=\mathrm{Q_a}$$ معادله ۲

مشابه با همین روش، حد مهاجرت کلی برای ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده غذایی معادل ۱۰میلی گرم در دسی‌متر مربع کاغذ است. این غلظت بر پایه سطح بسته‌بندی (Qa) را می‌توان به محدودیت "جرم ماده بسته‌بندی" تبدیل کرد. که این محاسبات بر پایه "جرم واحد سطح کاغذ" بسته‌بندی انجام می‌شود.

$$\mathrm{Q_m}=\frac{\mathrm{Q_a}\times 100000}{\mathrm{G}}$$ معادله ۳

---

۳۴ - isothiazolinone

که در اینجا Q_m غلظت ماده آلوده کننده در کاغذ بر حسب میلی گرم در کیلوگرم، G جرم واحد سطح و Q_a غلظت ماده آلوده کننده در کاغذ بر حسب میلی گرم در دسی متر مربع است. با این فرض که صد درصد ماده آلوده کننده به ماده غذایی مهاجرت خواهد کرد، Q_m حد مجاز غلظت ماده آلوده کننده در بسته‌بندی است [۵].

۵-۳- استخراج و اندازه گیری ترکیبات مهاجر

اندازه گیری مهاجرت مستلزم بکار گیری روش‌های دقیق تجزیه و تحلیل ترکیبات شیمیایی است. روش‌های استخراجی که در تعیین مقدار یک ماده خاص بکار می‌رود شامل استخراج از فاز جامد، استخراج از فاز مایع، استخراج با سیال فوق بحرانی و استخراج از طریق جذب فضای بالای ظرف می‌باشد [۶]. روش‌های تجزیه برای نفتالن ها شامل کروماتوگرافی گازی (GC-FID) و HPLC با شناساگر فلوئورسانس می‌باشد [۱۳]. کمیت سنجی Bisphenol A در بسته بندی‌ها یا مواد غذایی نیز با استفاده از HPLC با شناساگر فلوئورسانس قابل انجام است [۱۶]. فتالات ها در کاغذ، ماده غذایی با یک حلال مناسب مانند هگزان، اتانول، اتیل استات یا استونیتریل استخراج شده و سپس به وسیله کروماتوگرافی گازی- اسپسکتروسکوپی جرمی (GC/MS) شناسایی می‌گردد [۱۳, ۱۷]. بنزوفنون ها نیز استخراج شده و با تکنیک GC-FID یا GC/MS اندازه گیری می‌گردد [۱۸-۱۹]. اندازه گیری فلزات سنگین معمول که انتظار می‌رود در بسته‌بندی مواد غذایی وجود داشته باشد با استفاده از تکنیک‌های پلاسمای القایی- اسپکتروسکوپی جرمی (ICP-MS) برای سرب، کادمیوم و جیوه یا تکنیک‌های پلاسمای القایی-اسپکتروسکوپی نشری اتمی (ICP-AES) برای سرب و کادمیوم انجام شده است. ICP-MS یک روش خیلی حساس با حد تشخیص خیلی کوچک است در حالی که ICP-AES روشی کم خطا تر است که برای آنالیز های روتین کاربرد دارد [۵]. روش‌های مناسب دیگر شامل اسپکتروسکوپی جذب اتمی الکتریکی- گرمایی (ETAAS) برای سرب و کادمیوم، و اسپکتروسکوپی جذب بخار سرد (CVAAS) برای تشخیص جیوه، یا فلوئورسانس پرتو ایکس (XRF) می‌باشد

که از مقایسه مدل و شاخص های آن برای مقایسه مهاجرت ترکیبات و پیشگویی رفتار مهاجرت در شرایط مختلف استفاده می‌گردد. تحقیق در مدلسازی مهاجرت در کاغذ و مقوا توسط محققان به منظور تعیین ضریب انتشار و ضریب پخش در سیستم‌های مورد مطالعه به لحاظ ویژگی های کاغذ، مواد مهاجرت کننده و شرایط محیطی انجام شده است [۷, ۲۱]. مدلسازی مهاجرت در کاغذ و مقوا به دلیل ساختار متخلخل و پدیده جذب و دفع در آن نسبت به پلاستیک دشوار تر است [۷, ۲۱]. زیرج و پایرینگر [۲۲] بیان کردند که برای مدلسازی صحیح مهاجرت در کاغذ و مقوا لازم است که کاغذ به یک سیستم دولایه تقسیم شود؛ جرم اصلی کاغذ و مقوا که لایه مرکزی با شدت انتشار بالا است و لایه نازک که لایه سطحی کاغذ و مقوا بوده و شدت انتشار کمتری دارد، زیرا در این لایه جذب با سرعت کمتری اتفاق می افتد. بررسی های ایشان نشان داد در دماهای بالاتر از دمای اتاق یا رطوبت نسبی بالا، به دلیل افزایش شدت انتشار، می‌توان کاغذ و مقوا را مانند پلاستیک ها یک سیستم تک لایه در نظر گرفت. پوکاس و همکاران [۱] قانون دوم فیک برای انتشار را برای داده های آزمایش مهاجرت از کاغذ به Tenax ضعیف ارزیابی کردند و بیان کردند معادله تجری ویبول[۲۵] بر داده های آزمایشگاهی مهاجرت فتالات ها طی زمان ، به خوبی برازش می یابد.

۶- نتیجه گیری نهایی

---

۲۵ - Weibull

ایمنی بسته‌بندی و به عبارت دیگر عدم تاثیر منفی و مضر بسته‌بندی روی ماده غذایی بسته‌بندی شده از مباحث مهم در صنعت بسته‌بندی بوده و مواد بسته‌بندی کاغذ و مقوا نیز در این مبحث باید مورد توجه قرار گیرد، به ویژه استفاده از کاغذ های بازیافتی به عنوان ماده پایه بسته‌بندی بایستی از جنبه ایمنی و مهاجرت ترکیبات ضد سلامتی در سطح استاندارد باشد. استفاده از ترکیبات مختلف همچون مواد چاپ، چسب ها، افزودنی های ساخت کاغذ و مقوا منابع اصلی آلودگی هستند. بررسی دقیق مهاجرت و تعیین عوامل موثر بر آن نیازمند ابزار های نوین و ایجاد روش های دقیق تر در تجزیه و تحلیل و همچنین طراحی صحیح شرایط آزمایش به منظور شبیه سازی هر چه نزدیک تر به شرایط محیطی طی زنجیره انتقال و نگهداری محصولات غذایی است. مطالعه پدیده مهاجرت به منظور افزایش ایمنی بسته‌بندی و در نتیجه ماده غذایی موضوعی است که زمینه های تحقیقاتی گسترده ای را برای محققان حوزه ایمنی و تولید کنندگان صنعت غذا به همراه دارد.

منابع

1) Poças, M.d.F., et al., Modelling migration from paper into a food simulant. Food Control, 2011. 22(2): p. 303-312.
2) Poças, M.d.F. and T. Hogg, Exposure assessment of chemicals from packaging materials in foods: a review. Trends in Food Science & Technology, 2007. 18(4): p. 219-230.
3) Mousavi, S.M., S. Desobry, and J. Hardy, Mathematical modelling of migration of volatile compounds into packaged food via package free space. Part II: Spherical shaped food. Journal of Food Engineering, 1998. 36(4): p.۴۸۴-۴۷۳ .
4) Helmroth, E., et al., Predictive modelling of migration from packaging materials into food products for regulatory purposes. Trends in Food Science & Technology, 2002. 13(3): p. 102-109.
5) Tiggelman, I., Migration of organic contaminants through paper and plastic packaging. 2012, Stellenbosch: Stellenbosch University.
6) Lee, B.S., K.L. Yam, and L. Piergiovanni, Migration and food package, in food packaging science and technology. 2008, CRC: USA.
7) Triantafyllou, V.I., K. Akrida-Demertzi, and P.G. Demertzis, Determination of

Control, 2007. 18(3): p. 201-210.

12) Arvanitoyannis, I. and K. Kotsanopoulos, Migration Phenomenon in Food Packaging. Food–Package Interactions, Mechanisms, Types of Migrants, Testing and Relative Legislation—A Review. Food and Bioprocess Technology, 2013: p. 1-16.

13) Nerin, C. and D. Acosta, Behavior of Some Solid Food Simulants in Contact with Several Plastics Used in Microwave Ovens. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002. 50(25): p. 748.۷۴۹۲-۸

14) Summerfield, W. and I. Cooper, Investigation of migration from paper and board into food-development of methods for rapid testing. Food Additives & Contaminants, 2001. 18(1): p. 77-88.

15) Lin, Q.B., et al., Kinetic migration of isothiazolinone biocides from paper packaging to Tenax and Porapak. Food Additives & Contaminants: Part A, 2011. 28(9): p. 1294-1301.

16) Grob, K., The future of simulants in compliance testing regarding the migration from food contact materials into food. Food Control ;(۳)۱۹ ,۲۰۰۸ ,p. 263-268.

17) Onn Wong, K., L. Woon Leo, and H. Leng Seah, Dietary exposure assessment of infants to bisphenol A from the use of polycarbonate baby milk bottles. Food Additives & Contaminants, 2005. 22(3): p. 280-288.

18) Aurela, B., H. Kulmala, and L. Soderhjelm, Phthalates in paper and board packaging and their migration into Tenax and sugar. Food Additives & Contaminants, 1999. 16(12): p. 571-577.

19) Johns, S.M., et al., Studies on functional barriers to migration. 3. Migration of benzophenone and model ink components from cartonboard to food during frozen storage and microwave heating. Packaging Technology and Science, 2000. 13(3): p. 99-104.

20) Choi, J.O., et al., Migration of surrogate contaminants in paper and paperboard into water through polyethylene coating layer. Food Additives & Contaminants, 2002. 19(12): p. 1200-1206.

21) Pastorelli, S., et al., Study of the migration of benzophenone from printed paperboard packages to cakes through different plastic films. European Food Research and Technology, 2008. 227(6): p. 1585-1590.

22) Aurela, B. and J.A. Ketoja, Diffusion of volatile compounds in fibre networks: experiments and modelling by random walk simulation. Food Additives & Contaminants, 2002. 19(sup1): p. 56-62.

23) Zülch ,A. and O. Piringer, Measurement and modelling of migration from paper and board into foodstuffs and dry food simulants. Food Additives & Contaminants: Part A, 2010. 27(9): p. 1306-1324.