

ایمنی و کیفیت مواد غذایی در بسته بندیهای پلاستیکی، رهیافتی ساختاری

Safety and Quality of Foodstuffs in Contact with Plastic Materials,
A Structural Approach

By: Alexandre Feigenbaum, Anne-Marie Riquet, Violette Ducruet and Denise Scholler

Journal of Chemical Education, Vol.70, No.11, November 1993

ترجمه: نوشین سجادی

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر

دریافت: ۷۳/۹/۱۷، پذیرش: ۷۳/۴/۱

چکیده

در انتخاب مواد مناسب پلاستیکی برای بسته بندی هر نوع ماده غذایی، عوامل زیادی دخالت دارند. اطلاعات تجربی، مانند داده‌های به دست آمده از کارخانه‌های تولید کننده، هزینه، قابل دسترس بودن ماشینها و قابلیت درزبندی، می‌تواند اساس انتخاب یک یا چند پلیمر باشد. آن گاه، مواد انتخاب شده باید برای برهم کنشهای احتمالی بین مواد غذایی و بسته بندی، که ممکن است ترکیب شیمیایی مواد غذایی بسته بندی شده را تغییر دهند، آزمایش شوند. این مقاله مروری بر انواع مهم این برهم کنشها دارد که عبارت‌اند از: مهاجرت اجزای سازنده پلاستیکها به درون ماده غذایی بسته بندی شده، تراوش گازهای دائمی از آب و ترکیبات آلی از درون پلیمرها.

در این مقاله تاثیر ساختار شیمیایی پلیمر و ناخالصیها مورد تأکید قرار خواهد گرفت. برای وضوح بیشتر، پدیده‌های متفاوت به ترتیب پیچیدگی، با مقدمه‌ای درباره عوامل مؤثر بر تراوش گازهای دائمی و بخار آب از درون پلیمر ارائه می‌شود.

خواص غیر نفوذی مواد بسته بندی پلاستیکی

اصطلاح "خواص غیر نفوذی" به اثر محافظتی بسته بندی مربوط می‌شود. هدف ایجاد مانع در برابر ورود گرد و غبار، میکروارگانیسمها، نور، آب، اکسیژن، کربن دیوکسید و ترکیبات فرار آلی است. مورد اخیر در بخشهای بعد مورد بررسی دقیق قرار می‌گیرد.

مانع در برابر نور

چون مواد غذایی در طول زمان نگاهداری توسط نور قابل تغییرند، بسته بندی آنها باید تابشهای زیان آور را جذب کند. بسیاری از پلیمرهای خالص در ناحیه فرابنفش نزدیک جذب ندارند و این خاصیت تنها با اتصال جاذبه‌های UV قبل از اکستروژن قابل دستیابی است. در میان آنها

می‌توان از پایدار کننده‌های نوری مانند مشتقات ۲- هیدروکسی بنزوفنون، یا پرکننده‌ها مانند تیتان اکسید نام برد.

مانع در برابر بخار آب

برخی مواد غذایی خشک به بخار آب حساس‌اند. بعضی با یک رطوبت نسبی بالا، باید محتوای آب خود را حفظ کنند. در چنین مواردی، بسته بندی باید مانعی در برابر تراوش بخار آب باشد و پلی اولفینهای آبگریز مانع مؤثری برای این مقصودند [۱].

مانع در برابر گازهای دائمی (به ویژه اکسیژن و کربن دیوکسید) کیفیت میکروب شناختی مواد غذایی معمولاً به مقدار اکسیژن یا کربن

آبی کرین دار به کار می‌رود.

تمام این ملاحظات به انتخاب پلیمرهای مناسب کمک می‌کنند. انواع دیگر پدیده‌ها به هنگام تماس ماده غذایی با ماده پلاستیکی روی می‌دهد که منجر به تغییر ترکیب ماده غذایی در اثر آلودگی شیمیایی یا از بین رفتن برخی از اجزای سازنده آن می‌شود.

مهاجرت

واژه "مهاجرت" در اینجا اشاره بر نفوذ مولکولهای کوچک (که به آنها مولکولهای مهاجر می‌گویند) از پلیمر به ماده غذایی دارد. این مولکولهای کوچک، که ابتدا در پلاستیک موجودند، شامل مواد زیرند:

- ذرات مونومرهای باقیمانده: امروزه سازندگان این مواد را در سطوح بسیار پایین نگاه می‌دارند.
- الیگومرها،
- افزودنیها: پایدار کننده‌ها، نرم کننده‌ها، روان کننده‌ها، مواد ضد الکتریسیته ساکن، عوامل هسته زا و غیره.
- محصولات واکنش پلیمر یا افزودنی آن.

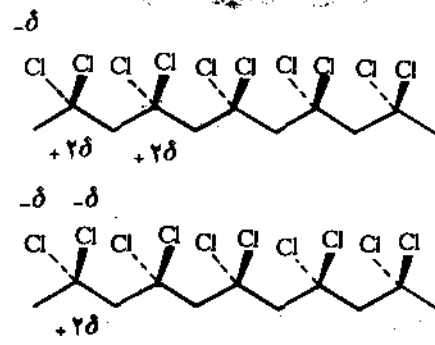
ممکن است چنین موادی سمی باشند و اقدامات قابل توجهی توسط هیتهای ناظر برای فهرست بندی و تنظیم مهاجرت افزودنیها و مونومرهای مورد استفاده صنایع انجام گرفته است [۳]. مولکولهای مهاجر (migrants) روی عطر و مزه مواد بسته بندی شده نیز تاثیر می‌گذارند [۴].

مثالهایی از آلوده شدن مواد غذایی با برخی پلیمرها (مانند استیرن از پلی استیرن، نرم کننده‌ها از PVC، ضد اکسندها از پلی اتیلن و استالدهید از PET) گزارش شده‌اند و مهاجرت در همه آنها پدیده‌ای عمومی است. هدف تمام مقررات تعریف حدود مهاجرت‌هایی است که برای مشتری قابل قبول است. معیار علمی این حدود براساس وسعت مهاجرت و داده‌های مربوط به سمیت مولکولهای مهاجر شناخته شده، هر دو است.

از عواملی که مهاجرت را کنترل می‌کنند، ساختار مولکولهای مهاجر و ماهیت ماده غذایی بسته بندی شده است. در ارتباط با مولکولهای مهاجر دو پارامتر اهمیت ویژه دارند: اندازه مولکولی (حجم واندروالس یا وزن مولکولی M) و شکل، که توسط ساختار آنها مشخص می‌شود. این روندها را می‌توان با در نظر گرفتن جداگانه این دو عامل تعریف کرد.

اثر وزن مولکولی مواد مهاجر

سه دسته مولکول مهاجر براساس توانایی آلوده سازی مواد غذایی خشک یا آبی تعریف می‌شود [۵]:
وزن مولکولی کمتر از ۲۵۰ تا ۳۰۰: بسیاری از مونومرهای متداول، به علاوه،



شکل ۱ - برهم کنش دو قطبی در پلی (وینیلیدن کلرید).

دیوکسید موجود در بسته بندی حساس است. معمولاً تراوایی این دو گاز از پلیمری به پلیمر دیگر تغییرات تقریباً مشابهی دارد. موانع مؤثری توسط پلیمرهایی با انباشتگی تنگاتنگ زنجیر، بلورینگی بالا، یا تحرک زنجیر پایین به دست می‌آید. اشاره می‌شود که عوامل مشابهی نیز بر بلورینگی و دمای انتقال شیشه‌ای پلیمرها تاثیر دارند [۱].

● پلیمرهای دارای برهم کنشهای دو قطبی زیاد بین زنجیرها یا قطعات زنجیر مانند پلی (وینیلیدن دی کلرید) PVDC تحرک پایینی در قطعات درشت مولکولها نشان می‌دهند که مانع نفوذ تراوندها (permeants) می‌شود (شکل ۱). علاوه بر این، در پلیمرهای کلردار اتمهای حجیم کلر، حجم آزاد موجود را پر می‌کنند و بنابراین به کاهش بیشتر سهولت نفوذ کمک می‌کنند [۲].

● پلیمرهایی که برهم کنشهای الکتروستاتیک زیاد بین زنجیرها یا قطعات زنجیر دارند شامل پلیمرهای یونی مانند (پلی روی آکریلات) یا پلیمرهای دارای پیوند هیدروژنی مانند کوپلیمرهای (اتیلن - وینیل الکل)، EVOH (شکل ۲)، و نایلون ۶۶ هستند. انباشتگی زنجیر برپایه پیوند هیدروژنی با حضور مولکولهای آب در شبکه پلیمری، تخفیف می‌یابد (شکل ۲ - ب) و باعث تغییر خواص غیر نفوذی پلیمرهای حساس به رطوبت خواهد شد. در عمل EVOH، که پلیمری بسیار آبدوست است، اغلب در مواد چند لایه مصرف می‌شود که توسط لایه‌های پلی اولفین آبتگریز (وگم هزینه) از ماده غذایی و رطوبت محافظت می‌شود. سلولز نیز رفتار مشابهی نشان می‌دهد و در این طبقه بندی قرار می‌گیرد.

● پلیمرهایی که در پیکره خود واحدهای ساختاری سخت دارند، به طور عمده حلقه‌های آروماتیک، مانند پلی (اتیلن ترفتالات) PET، یا پلی کریناتهای آروماتیک موانع مؤثری هستند. از آنجا که PET اندکی آبتگریز است، خواص غیر نفوذی آن نسبت به اکسیژن و کرین دیوکسید به وسیله رطوبت تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. در مورد نایلون ۶۶ و EVOH نیز این حالت وجود دارد. این ماده در ساخت بطری نوشابه‌های

اثر ماهیت غذا یا شیبه ساز غذا

اثر ماهیت غذا (چربی دار یا آبی) با مایعاتی که مواد غذایی در تماس با پلاستیکها را شیبه سازی می کنند، مطالعه شده است [۷]. دو خاصیت ضروری چنین مواد شیبه سازی شده ای عبارتند از:

- برهم کنش آنها با پلیمر،
- توانایی حل کردن مولکولهای مهاجر، غذاهای چربی دوست (یا چرب) نسبت به آلودگی مولکولهای مهاجر چربی دوست از پلیمرهای چربی دوست حساسترند [۵ و ۷].

برای توضیح فرایند مهاجرت از چند مکانیسم می توان استفاده کرد و دو موقعیت حدی در شکل ۴ ارائه شده است. شکل ۴ الف حالتی را نشان می دهد که بین ماده غذایی و پلاستیک برهم کنش اندکی وجود دارد (برای مثال، آب و پلی اتیلن در دمای اتاق). در این حالت مهاجرت تنها به وسیله نفوذ مولکولهای مهاجر در شبکه پلیمری و انحلال آنها توسط ماده غذایی در سطح کنترل می شود. مهاجرت ترکیبات چربی دوست حتی در شیبه سازهای آبدوست نیز رخ می دهد، ولی مهاجرت در این حالت آهسته تر از شیبه سازهای چربی دوست است. در صورتی که انحلال مولکول مهاجر در غذای شیبه سازی شده به آسانی صورت گیرد، نزدیک سطح جمع نمی شود. بنابراین، گرادیان غلظت بزرگی بین سطح و داخل ماده پلاستیکی وجود خواهد داشت. همچنین هم خوردن یا ارتعاشات ناشی از انتقال نیز تجمع مواد افزودنی را در نزدیک سطح کم می کند و بنابراین سرعت مهاجرت را افزایش می دهد.

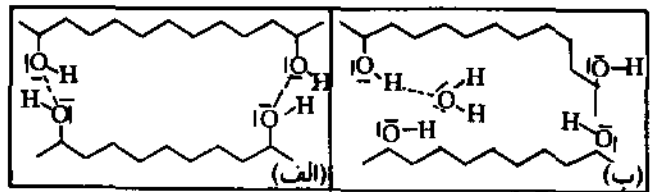
مکانیسم متفاوتی در شکل ۴ ب نشان داده شده است، که در آن یک ماده غذایی با پلیمر برهم کنش قوی دارد. این ماده به درون پلاستیک نفوذ می کند و تحرک مولکولهای کوچک موجود و نیز تمایل آنها به مهاجرت را افزایش می دهد [۱۱]. به طور مثال، این واکنش با استرهای چرب ساده یا تری گلیسیریدهای کوتاه زنجیر که در طول ذخیره سازی به درون پلیمر نفوذ می کنند صورت می گیرد و به تدریج افزودنیها را از توده پلاستیک استخراج می کند. با انجام این پدیده، مکانیسم دوم منجر به سطوح آلودگی بالا خواهد شد.

مهاجرت یک ترکیب از پلاستیک به ماده غذایی با معادله ۱ نشان داده می شود [۲]:

$$Q = -D (dc/dx) \quad (1)$$

که در این معادله Q مقدار مولکول مهاجری است که از واحد سطح پلیمر در واحد زمان عبور می کند، D ضریب نفوذ (diffusivity) مولکول به درون ماده، و dc/dx - گرادیان غلظت مولکول در عمق ماده است. ضریب نفوذ (D) یک افزودنی در بسته بندی، در شرایط زیر کم و بیش ثابت است.

- در صورتی که نفوذ اجزای تشکیل دهنده غذا در پلیمر خواص ماده را



شکل ۲- کوپلیمر (اتیلن - وینیل الکل): (الف) رطوبت نسبی ۰٪ و (ب) در حضور بخار آب.

برخی افزودنیها (مثل BHT، ۲، ۶- دی ترسیوبوتیل ۴ هیدروکسی تولوئن) در این طبقه قرار می گیرند. ثابتهای نفوذ آنها در پلیمر بسیار بزرگ است. این مواد معمولاً بسیار فرارند و از جدار بسته بندی خود به خود جذب می شوند و ممکن است حتی مواد غذایی خشک بسته بندی شده را آلوده سازند.

وزن مولکولی بین ۶۰۰ تا ۱۶۰۰۰ این دسته شامل برخی مونومرها [۳] و بسیاری از افزودنیهای متداول [۴] و همچنین محصولات تخریب است. وسعت مهاجرت این مواد بستگی به ماهیت ماده غذایی در تماس با آنها دارد. انتظار نمی رود که آنها مواد غذایی خشک را آلوده سازند، ولی ترکیبات چربی دوست (lipophilic) در این طبقه به غذاهای چربی دار و آبی مهاجرت می کنند.

وزن مولکولی بالاتر: افزودنیها (مثلاً: پلی آدیپاتهای مورد استفاده به عنوان نرم کننده ها برای چسباندن فیلم)، الیگومرها و محصولات واکنش افزودنیهای دارای جرم مولکولی بالا، به ویژه پلیمری، در این گروه قرار می گیرند. تمایل این مواد به مهاجرت با افزایش جرم مولکولی آنها بسیار کاهش می یابد. ترکیبات چربی دوست در این طبقه مواد غذایی را در حد کمتری آلوده می سازند [۷]. در مورد پلی آدیپاتها، الیگومرهای دارای جرم مولکولی بالاتر از ۱۰۰۰ مهاجرتی نشان نداده اند [۶].

اثر ساختار مولکولی مولکولهای مهاجر

شکل مولکولی مواد مهاجر اثر زیادی بر ثابت توزیع آنها در پلیمرها دارد: مولکولهای بلند بسیار سریعتر از مولکولهای کروی دارای همان حجم وان دروالس در پلیمر توزیع می شوند [۸ و ۲]. ورود زنجیرهای جانبی، مانند گروههای ترسیوبوتیل سرعت نفوذ افزودنیها را به طور قابل توجه کاهش می دهد [۹]. بسیاری افزودنیهای متداول چنین استخلافی را انجام می دهند. ضد اکسندهای فنولی دارای گروههای ترسیو بوتیل در هر طرف هیدروکسیل هستند. این گروهها نه تنها رادیکالهای مربوط را با حفاظت فضایی پایدار می سازند، بلکه تمایل این مولکولها را به مهاجرت کاهش می دهند. ساختارهای بسیار پر شاخه، مانند مشتقات پنتا تری تیل که در شکل ۳ نشان داده شده است در حال حاضر مصرف می شوند [۱۰].

تراوش مواد آلی فرار از میان مواد بسته بندی

سلامتی شیمیایی مواد غذایی بسته بندی شده توسط دو پدیده دیگر قابل تغییر است که باز فرایندهای توزیع به درون ماده پلاستیکی در آنها تعیین کننده است [۳ و ۱۴].

● اجزای تشکیل دهنده غذا می توانند توسط پلیمر جذب شوند.

● بوهای نامطلوب (و طعمهای نامطلوب) به دلیل نفوذ به درون ترکیبات آلی فرار که در محیط بسته بندی قرار دارند ایجاد می شود که خواص ارگانولپتیکی (مربوط به طعم و صورت ظاهر) ماده غذایی را تغییر می دهد.

این دو فرایند از نقطه نظر فیزیکی شیمیایی مشابه اند و با تراوش ترکیبات فرار آلی از میان بسته بندی ارتباط دارند. بدیهی است که از دید خریداران، این دو فرایند آثار متفاوتی بر کیفیت ماده غذایی دارند، زیرا فرایند دوم نه تنها طعم و بوی نامطلوب تولید می کند بلکه آلودگیهای بالقوه سمی را نیز وارد ماده غذایی می سازد.

این تراوشها مشابه نفوذ بخارات غیر آلی است که در بخش اول مقاله بحث شد، با این تفاوت عمده که میل ترکیبی ترکیبات آلی با پلیمرهای مواد بسته بندی غذا بیشتر است. بنابراین، تعریف خواص غیر نفوذی مواد پلاستیکی در ارتباط با ترکیبات آلی مشکلتر می شود.

تراوش یک ماده از میان مواد بسته بندی شامل مراحل زیر است

[۱۵]

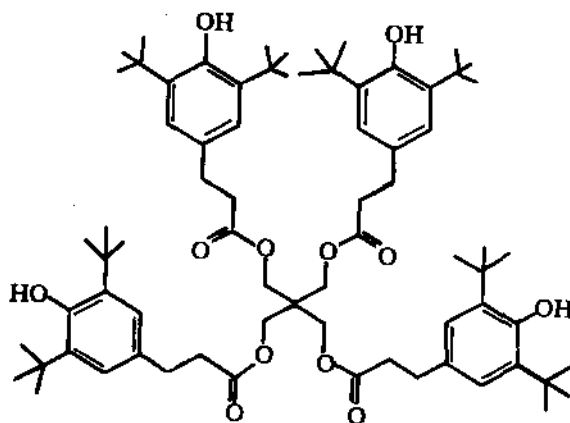
- جذب سطحی ماده توسط پلیمر: حد جذب سطحی بستگی به فراریت ماده و میل ترکیبی آن با پلیمر، مثلاً در پارامترهای ترمودینامیکی، دارد [۲].
- نفوذ ماده در شبکه پلیمری، که شامل پارامترهای سینتیکی است.
- واجدبندی ماده از جداره بسته بندی، که تنها در این حالت مقدار تراونده در طرف دیگر جداره بسته بندی قابل آشکار سازی است.

رفتار تراونده در پلیمر

در آزمایشهای تراوایی، ماده را از یک طرف در تماس با هوا یا محلول شامل تراونده آلی قرار می دهند. در حالت دوم بعد از یک تأخیر زمانی که مشخصه زوج پلیمر - تراونده است و به ضریب نفوذ تراونده بستگی دارد، این ماده در طرف دیگر قابل آشکار سازی است.

بعد از این تأخیر زمانی، میزان تراوش به یک حالت پایا می رسد، که اغلب به وسیله معادله ۱ تعریف می شود. به علاوه، اگر شبکه پلیمری به وسیله تراونده تغییر شکل ندهد، معادله ۱ را می توان با قانون هنری ترکیب کرد و معادله ۳ را به دست آورد [۲]:

قانون هنری: $c = S p$
 که در آن S ضریب انحلال پذیری تراونده در بسته بندی است و Q برابر



شکل ۲- پنتا اریتریتیل تترا [۳- (۴- هیدروکسی - ۳ - ۵ - دی - ترسیو - بوتیل فنیل) - پروپینوات] (ایرگانوکس ۱۰۱۰) که ضد اکسندگی متداول برای مواد غذایی در تماس با مواد پلاستیکی است.

تغییر ندهد (مثلاً تورم پلیمر توسط ماده غذایی) و این پدیده اساساً در غلظتهای کم اتفاق می افتد.

● در صورتی که مهاجرت منجر به تغییرات فیزیکی یا شیمیایی ماتریس پلیمری نشود، از دست رفتن ماده نرم کننده از PVC به طور جدی ساختار پلاستیک را در طی تماس تغییر می دهد. پس از یک تماس طولانی تر، ماده سخت می شود و حتی ممکن است برخی از نرم کننده های را که در ابتدا مهاجرت کرده بودند، دوباره جذب کند [۱۳].
 بیشترین مقدار ماده مهاجر معینی که می تواند غذای مشخصی را آلوده سازد توسط معادله ۲ تخمین زده می شود که برای حادثه ترین مورد، به دست آمده است [۱۲]. فرض شده است که بعد از زمان تماس طولانی، ماده بسته بندی کاملاً به درون ماده غذایی نفوذ کند (شکل ۳ ب). وقتی حالت تعادل برقرار می شود که غلظتهای مولکولهای مهاجر را تنها ضریب توزیع آنها بین ماده غذایی و ماده پلاستیکی متورم تعیین کند. البته، این حالت تعادل در بیشتر حالت های عملی برقرار نمی شود، زیرا در این حالت مواد بسته بندی باید بیشتر افزودنیها و به دنبال آن خواص خود را از دست بدهد.

$$C^f = \frac{C^0 p_0 \gamma V P}{V P + \gamma V^f} \quad (2)$$

در این معادله C^f بیشترین غلظت ممکن مولکول مهاجر در ماده غذایی، و V^f به ترتیب حجمهای اشغال شده توسط پلاستیک و ماده غذایی، و γ ضریب توزیع مولکول مهاجر بین پلاستیک و ماده غذایی است [۱۲].

تغییرات ساختاری D و S منجر به تغییرات هم می شود، که پیش بینی P را مشکل می سازد. همان گونه که قبلاً در مورد مهاجرت اشاره شد، مولکولهای بزرگتر با سرعت کمتری نفوذ می کنند، اما در مواد پلاستیکی بیشتر حل می شوند. در ترکیبات معطر معمول و پلیمرهای لاستیکی، اغلب دامنه تغییرات S بزرگتر از D است [۲، ۱۷ تا ۲۰]. در این صورت، چنین فرایندهای تراوایی بیشتر تحت کنترل ترمودینامیکی (S) هستند تا کنترل سینتیکی (D). این موضوع در رفتار الکلهای ایزومر C در پلی اتیلن سنگین (دارای چگالی بالا) نیز مشاهده می شود، و ۲- متیل ۲- بوتان-۲- ال بسیار سریعتر از پنتان-۲- ال از میان این پلیمر عبور می کند [۱۴].

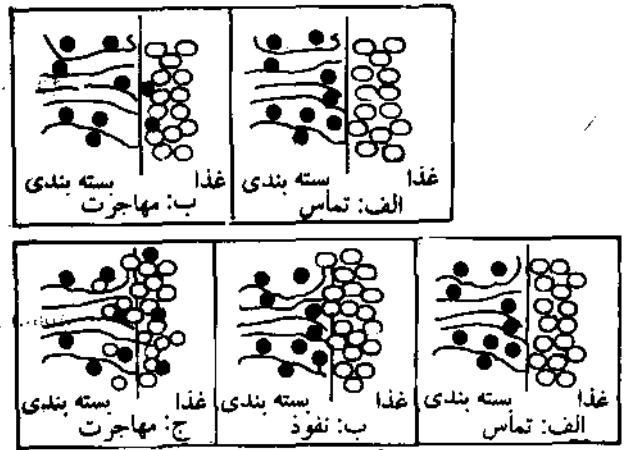
مقایسه رفتار پلیمرهای مختلف

ملاحظات بالا در انتخاب پلیمرهای مانع در برابر مواد معطر اهمیت ویژه دارند. هنگامی که تراوش یک ماده معین از میان پلیمرهای مختلف مقایسه می شود، مشاهده می شود که مثلاً در مورد گازهای دائمی، پلیمرهای دارای انباشتگی تنگاتنگ زنجیر یا حجم آزاد پایین موجب کاهش D می شوند. در لیمونن یا سیترونلول، ثابت نفوذ در PVC حدود سه مرتبه بزرگی کمتر از پلی اتیلن است [۱۸]. این نکات منجر به استفاده از پلیمرهای کلردار یا پوششهای PVDC برای حفاظت بسته بندیها از بوهای نامطلوب در جایگاههای فروش بنزین می شود. به هر حال، مشخصه پیوندهای C-Cl (شکل ۱) نیز موجب افزایش انحلال پذیری S تراونده، خواهد شد. نتیجه کلی اینکه از PE به PVC یا PVDC خواص غیر نفوذی تقویت می شود، ولی کاهش تراوایی برخلاف آنچه که انتظار می رود اهمیت بسیار کمتری می یابد، زیرا تنها تغییرات ضریب نفوذ D در نظر گرفته نشده است [۱۸].

مواد فرار آلی معمولاً چربی دوست اند و بنابراین، انتظار می رود که در پلیمرهای آبدوست انحلال پذیری کمتری داشته باشند. این موضوع منجر به استفاده از EVOH، به عنوان یک مانع در برابر مواد معطر می شود که در آن خاصیت چربی دوستی همراه با انباشتگی تنگاتنگ زنجیر وجود دارد. EVOH مقدار لیمونن جذب سطحی شده در حالت تعادل را نسبت به پلی اتیلن کاهش می دهد [۲۰].

اثر ماهیت ماده غذایی

نکات یاد شده در مورد مواد غذایی جامد و مایع هر دو معتبر است. به ویژه در مایعات، ضریب توزیع ترکیبات معطر بین ماده غذایی و بسته بندی نقش اساسی بازی می کند. این مطلب در بسته بندی مواد غذایی آبی، مانند آب میوهها، با پلی اولفینهای ناقطبی اهمیت دارد، و شدت عطر کل آنها با افزایش زمان ذخیره سازی کاهش می یابد. علاوه بر این، جذب سطحی می تواند گزینش پذیر باشد، که نتیجه آن بهبود عطر یا



● اجزای سازنده پلاستیکی با قابلیت مهاجرت به مواد غذایی
○ اجزای سازنده غذا

شکل ۴- نمونه هایی از مکانیسم برهم کنش مواد غذایی با بسته بندیهای پلاستیکی.

است با:

$$-D \left(\frac{d(Sp)}{dx} \right) = -DS \left(\frac{dp}{dx} \right)$$

هنگامی که یک حالت پایا برقرار می شود:

$$Q = DS (P_i - P_0)/e = P \Delta p/e \quad (3)$$

که در این معادله $P = DS$ ضریب تراوایی، e ضخامت فیلم، P فشار جزئی تراونده و P_i و P_0 فشارهای جزئی تراونده در طرف درونی (i) و طرف بیرونی (o) ماده است.

انحراف از معادله ۳ در صورت متورم شدن پلیمر به وسیله تراونده مشاهده می شود. این مطلب مشابه است با آنچه در بخش اول این گزارش در مورد پلیمرهای آبدوست مانند EVOH (شکل ۲) و آب به عنوان تراونده بیان شد. به محض اینکه پلیمر مقداری از تراونده را در خود حل کند، شبکه نرم می شود، و D کاملاً به غلظت تراونده بستگی پیدا می کند، مثلاً، ضریب نفوذ لیمونن در پلی اتیلن، مستقل از غلظت آن در فاز گازی است و از $2 \times 10^{-10} \text{ g/L}$ تجاوز نمی کند [۱۶]. بیشتر ترکیبات معطر موجود در مواد غذایی چنین غلظتهای کمی دارند. مقدار D باید در غلظتهای بسیار کم تراونده در فاز گازی به دست آید، یا به غلظتی برابر با صفر برون یابی شود [۲].

مقایسه رفتار تراونده های مختلف در یک پلیمر

پارامتر D رفتار سینتیکی تراونده را توصیف می کند، و همان طور که در مورد مهاجرت بیان شد، بستگی به شکل مولکول دارد. در مورد تراونده های آلی، S شامل پارامترهای ترمودینامیکی است، و بستگی زیادی به نوع گروههای عاملی تراونده و پلیمر دارد. در مقایسه رفتار مجموعه ای از تراونده ها نسبت به یک پلیمر معین، مشاهده می شود

- 565-576, 1991.
- 7 Figge, K. *Prog. Polym. Sci.*, **6**, 152-187, 1980.
- 8 Berens, A.R. *Makromol. Chem., Macromol. Symp.*, **29**, 95-108, 1989.
- 9 Scott, G. *Food Addit. Contam.*, **5**, Suppl 1, 421-432, 1988.
- 10 Gugumus, F. *Plastics Additives Handbook*; Gachter, H.; Ed., Hanser Publishers: Munchen, 13, 1990.
- 11 Riquet, A.M.; Sandray, V.; Akermann, O.; Feigenbaum, A. *Sci. Alim.*, **11**, 337-355, 1991.
- 12 Chatwin, P.C.; Katan, L.L., *Pack. Technol. and Science*, **2**, 75-84, 1989.
- 13 Taverdet, J.L.; Vergnaud, J.M. *J. Appl. Polym. Sci.*, **31**, 111-122, 1986.
- 14 Benet, S.; Ducruet, V.J.; Feigenbaum, A. *Analysis*, **20**, 391-396, 1992.
- 15 Landois-Garzo, J.; Hotchkiss, J.H. *Food Engineering*, **39**, (April), 1987.
- 16 Apostopoulos, D.; Winters, N. *Packag. Technol. Sci.*, **4**, 131-138, 1991.
- 17 Koszinowski, J.; Piringer, O. *Verpack. Rund.*, **41** (3), 15-17, 1990.
- 18 Koszinowski, J.; Piringer, O. *J. Plastic Film and Sheeting*, **3**, 96-111, 1987.
- 19 Ikegami, T.; Sbimoda, M.; Osajima, Y. *Nippon Shokubin Kogyo Gakkaishi*, **38**, 425-428, 1991.
- 20 Zobel, M.G.R. *Polymer Testing*, **5**, 153-165, 1985.
- 21 Allen, D.W.; Clench, M.R.; Crowson, A.; Leathard, D.A. *Polym. Degrad. Stabil.*, **39**, 293-297, 1993.

مزه ماده غذایی است. برای مثال، جذب سطحی لیمونن ناقطبی توسط پلی اولفینها خیلی بیشتر از لینالول قطبی تر است. در غذاهای چرب، مکانیسم موجود برای از دست رفتن عطر و بو متفاوت است. چربیها به درون پلاستیکهای چربی دوست نفوذ می کنند و ترکیبات معطر را با خود می برند. بنابراین، عطر و مزه تضعیف می شود که در این حالت گزینش پذیری در مورد مواد از دست رفته نیز بسیار کمتر است.

نتیجه گیری

برهم کنشهای مواد غذایی با پلاستیکها مستلزم پدیده های پیچیده ای است، که گاهی با کاربرد چند مفهوم ساده قابل درک است. ولی، در مورد آلودگی این ملاحظات نباید به خوش بینی زیاد منجر شود، به ویژه چون تعداد آلودگیهای بالقوه زیاد است. فهرست مواد EEC (بازار مشترک اروپا) به عنوان افزودنیها یا مونومرها که در صنعت مصرف می شود [۳] شامل صدها ترکیب شیمیایی است که همگی قابلیت آلوده سازی دارند. واکنش پذیری چنین ترکیباتی در درون مواد غذایی یا سایر مواد در شرایط دمایی بالای اکستروژن یا سترون سازی منجر به ترکیبات شیمیایی بیشتری می شود که نیازمند مطالعات وسیعتر در آینده نزدیک است [۲۱].

مراجع

- 1 Salame, M. *J. Plastic Film and Sheeting*, **2**, 321-334, 1986.
- 2 De V. Naylor, T., *Comprehensive Polymer Science*; C. Booth and C. Price, Ed., Pergamon Press: Oxford, **2**, 643-668, 1989.
- 3 *Commission of European Communities*; DGIII; CS/PM/2064, Brussels, 4/4/1993.
- 4 Risch, S. *J. Food Technology* (July), 96-102, 1988.
- 5 Piringer, O. *Dtsch. Lebensm. Rundsch.*, **86**, 35-51, 1990.
- 6 Castle, L.; Mercer A.J.; Gilbert, *J. Food Addit. Contamin.*, **8**,