
بسم الله الرحمن الرحيم

# بسته‌بندی مواد غذایی

## بررسی تکنیک‌های کنترل اتمسفر، جنس بسته‌بندی و استفاده از فناوری نانو
## بررسی تأثیرها بر حفظ کیفیت تغذیه‌ای و ایمنی مواد غذایی


**مؤلفین:**

دکتر پیمان قجربیگی
عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی قزوین

دکتر اشرف حاج حسینی
عضو هیأت علمی دانشگاه زنجان

دکتر انوشه شریفان
عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی
واحد علوم و تحقیقات

دکتر کورش رحمانی
معاون استانداردسازی و آموزش
اداره کل استاندارد قزوین

صاحبه قنبری
کارشناس مرکز تحقیقات ایمنی محصولات بهداشتی
دانشگاه علوم پزشکی قزوین

نیما بابلانی مقدم
دانشجوی دکترای ایمنی و بهداشت مواد غذایی
دانشگاه علوم پزشکی تهران

## ✍ پیشگفتار

امروزه اهمیت بسته‌بندی موادغذایی، به صورتی که ایمنی و سلامت ماده غذایی را به‌درستی حفظ کند و همچنین مقرون به‌صرفه و دوست‌دار محیط‌زیست باشد، برکسی پوشیده نیست. آلودگی و فساد مواد غذایی موجب کاهش ارزش غذایی و در نهایت خروج مواد با ارزش غذایی از چرخه مصرف می‌گردد. در این راستا، استفاده از تکنولوژی‌های نوین منجر به سهولت دستیابی به اهداف ذکرشده خواهد گردید. مسئله‌ای که در جوامع پیشرفته‌ی امروزی مورد توجه مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد علاوه بر حفظ سلامت و کیفیت غذا که جزء ویژگی‌های اولیه‌ی یک بسته‌بندی مناسب است، تأثیر مواد و روش‌های بسته‌بندی بر غذا می‌باشد. همچنین با توجه به تهدید روزافزون آلودگی محیط‌زیست با پلیمرهایی که هم‌اکنون در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند، لزوم مطالعه و استفاده‌ی بیشتر از بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر بیش از پیش احساس می‌شود.

در این کتاب تکنیک‌های کنترل اتمسفر، جنس بسته‌بندی و استفاده از فناوری نانو مورد بحث قرار می‌گیرد و تأثیرات آن‌ها بر حفظ کیفیت تغذیه‌ای و ایمنی مواد غذایی بررسی می‌شود. مطالب تألیف شده در ضمن کتاب می‌توانند در ادامه مطالعه در مورد اصول نگهداری مواد غذایی و سایر روش‌های نگهداری مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرند.

کتاب حاضر در ۶ فصل تألیف و گردآوری شده است. منابع مورد استفاده شامل کتاب‌ها، آخرین پژوهش‌های انجام شده در حوزه صنایع غذایی، بهداشت و ایمنی مواد غذایی و آمارهای به روز سازمان‌های جهانی می‌باشند. این کتاب می‌تواند مورد استفاده دانشجویان رشته علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشجویان مقطع کارشناسی‌ارشد بهداشت و ایمنی مواد غذایی، پژوهشگران حوزه مواد غذایی و بسته‌بندی و تمامی علاقه‌مندان به صنعت غذا و بسته‌بندی قرار گیرد.

## فهرست مطالب

**فصل ۱– آشنایی با مفاهیم بسته‌بندی ..... ۱**
۱-۱ تعریف بسته‌بندی ..... ۱
۱-۲ تاریخچه بسته‌بندی ..... ۱
۱-۳ ضرورت نیاز به بسته‌بندی ..... ۲
۱-۴ کاربرد و اهمیت بسته‌بندی مواد غذایی ..... ۳
۱-۵ کاربردهای بسته بندی ..... ۵
۱-۵-۱ عامل محافظت‌کنندگی ..... ۵
۱-۵-۱-۱ محافظت غیرفعال ..... ۵
۱-۵-۱-۱-۱ محافظت مکانیکی ..... ۵
۱-۵-۱-۱-۲ محافظت در برابر انتقال مواد ..... ۶
۱-۵-۱-۱-۳ محافظت در برابر انتقال انرژی ..... ۷
۱-۵-۱-۱-۴ محافظت در برابر میکروارگانیسم های موجود در محیط ..... ۸
۱-۵-۱-۲ محافظت فعال ..... ۹
۱-۵-۱-۲-۱ استریلیزاسیون بعد از بسته‌بندی ..... ۹
۱-۵-۱-۲-۲ بسته‌بندی‌های استریل (آسپتیک) ..... ۹
۱-۵-۱-۲-۳ بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح‌شده و نگهداری در دمای پایین در مورد محصولات تازه ..... ۱۰
۱-۵-۱-۲-۴ بسته‌بندی‌های خاص ..... ۱۰
۱-۵-۲ عامل اطلاع‌رسانی بسته‌بندی ..... ۱۱
۱-۵-۲-۱ درج اطلاعات بر روی بسته‌بندی‌های مواد غذایی ..... ۱۱
۱-۵-۲-۱-۱ اطلاعاتی که باید بر روی بسته‌ها درج شوند ..... ۱۱
۱-۵-۲-۱-۲ استثنائاتی که در مورد درج اطلاعات و برچسب زنی محصولات غذایی وجود دارند ..... ۱۲
۱-۵-۲-۱-۳ محصولاتی که نیازی به درج عناصر و مواد متشکله بر روی بسته‌بندی ندارند ..... ۱۲
۱-۶ خصوصیات مواد اولیه بسته‌بندی ..... ۱۳
۱-۶-۱ بی‌ضرر و خنثی بودن بسته‌بندی ..... ۱۳
۱-۶-۲ خصوصیات مواد اولیه بسته‌بندی از نظر تاثیر بر مواد غذایی ..... ۱۴
۱-۶-۳ خصوصیات مواد اولیه بسته‌بندی از نظر تولیدکنندگان و مصرف کنندگان ..... ۱۵
۱-۷ استانداردهای بسته‌بندی مواد غذایی ..... ۱۵
۱-۸ معایب بسته بندی ..... ۱۶
۱-۹ منابع ..... ۱۸

**فصل ۲– تأثیر بسته‌بندی کنترل شده بر روی ترکیبات مواد غذایی ..... ۱۹**
۲-۱بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل‌شده ..... ۱۹
۲-۱-۱ بسته‌بندی فعال ..... ۱۹
۲-۱-۱-۱انواع سیستم‌های بسته‌بندی فعال ..... ۱۹
۲-۱-۱-۲طبقه‌بندی سیستم بسته‌بندی فعال بر اساس سیستم مورداستفاده ..... ۲۰
۲-۱-۱-۲-۱ ساشه ..... ۲۰
۲-۱-۱-۲-۲ پد ..... ۲۰
۲-۱-۱-۳ طبقه‌بندی سیستم فعال از نظر تکنیک‌های بسته‌بندی ..... ۲۱
۲-۱-۱-۳-۱جاذب‌ها ..... ۲۱
۲-۱-۱-۳-۱-۱جاذب اکسیژن ..... ۲۱
۲-۱-۱-۳-۱-۲ جاذب دی‌اکسیدکربن ..... ۲۲
۲-۱-۱-۳-۱-۳ جاذب رطوبت ..... ۲۲
۲-۱-۱-۳-۱-۴ جاذب اتیلن ..... ۲۲
۲-۱-۱-۳-۱-۵ جاذب طعم ..... ۲۳
۲-۱-۱-۳-۲ انتشاردهنده‌ها ..... ۲۳
۲-۱-۱-۳-۲-۱ انتشاردهنده‌های دی‌اکسیدکربن ..... ۲۳
۲-۱-۱-۳-۲-۲ انتشاردهنده‌های طعم ..... ۲۴
۲-۱-۱-۳-۲-۳ انتشاردهنده‌های ترکیبات میکروبی ..... ۲۴
۲-۱-۱-۳-۳ سایر واکنش‌ها ..... ۲۴
۲-۱-۱-۳-۳-۱ Self-heating can ..... ۲۴
۲-۱-۱-۳-۳-۲ Self-chilling can ..... ۲۴
۲-۱-۱-۴ سایر انواع بسته‌بندی‌های فعال ..... ۲۴
۲-۱-۱-۴-۱ مواد افزودنی فعال ..... ۲۴
۲-۱-۱-۴-۲ بسته‌بندی ضدمیکروبی ..... ۲۵
۲-۱-۱-۴-۳ بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر ..... ۲۶
۲-۱-۱-۴-۳-۱ پوشش‌های خوراکی ..... ۲۶
۲-۱-۱-۴-۳-۲ فیلم‌های خوراکی ..... ۲۶
۲-۱-۱-۴-۳-۲-۱ مزایای فیلم‌های خوراکی ..... ۲۸
۲-۱-۱-۴-۳-۲-۲ منابع تولید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی ..... ۲۸
۲-۱-۱-۴-۳-۲-۳ فیلم‌های ضدمیکروبی ..... ۲۹
۲-۱-۱-۵ مزایای بسته‌بندی فعال ..... ۲۹

۲-۱-۲ بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده ۳۰
۲-۱-۲-۱ گازهای مورداستفاده در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده ۳۲
۲-۱-۲-۱-۱ دی‌اکسیدکربن ۳۲
۲-۱-۲-۱-۲ اکسیژن ۳۳
۲-۱-۲-۱-۳ نیتروژن ۳۵
۲-۱-۲-۲ انواع فیلم‌های مورداستفاده در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده ۳۶
۲-۱-۲-۲-۱ پلی‌آمید (Polyamide (PA)) ۳۶
۲-۱-۲-۲-۲ پلی‌الفین (Polyolefins) ۳۶
۲-۱-۲-۲-۳ پلی‌اتیلن (Polyethylene (PE)) ۳۷
۲-۱-۲-۲-۴ پلی‌اتیلن با چگالی پایین (Low-Density Polyethylene (LDPE)) ۳۷
۲-۱-۲-۲-۵ پلی‌اتیلن با چگالی بالا High-Density Polyethylene (HDPE) ۳۷
۲-۱-۲-۲-۶ پلی‌اتیلن با چگالی پایین خطی (Linear LDPE) ۳۷
۲-۱-۲-۲-۷ اتیلن وینیل الکل (Ethylene Vinyl Alcohol (EVOH)) ۳۸
۲-۲ اثرات بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل‌شده بر ارزش تغذیه ای محصولات فاقد تنفس ۳۸
۲-۲-۱ اثرات بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل‌شده بر ارزش تغذیه ای میوه ها و سبزیجات تازه. ۳۹
۲-۲-۱-۱ ویتامین C ۳۹
۲-۲-۱-۲ ویتامین A ۴۱
۲-۲-۱-۳ کاروتنوئیدها ۴۲
۲-۲-۱-۴ ترکیبات فنلی ۴۲
۲-۲-۱-۵ گلوکوزینولات‌ها ۴۴
۲-۲-۲ بررسی تأثیر بسته‌بندی‌های کنترل‌شده بر روی انواع میوه‌ها و صیفی‌جات ۴۷
۲-۲-۲-۱ سیب ۴۷
۲-۲-۲-۲ کنگر فرنگی ۴۷
۲-۲-۲-۳ موز ۴۸
۲-۲-۲-۴ کلم بروکلی ۴۸
۲-۲-۲-۵ کلم ۴۸
۲-۲-۲-۶ هویج ۴۸
۲-۲-۲-۷ بادمجان ۴۸
۲-۲-۲-۸ کلم بروکلی **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
۲-۲-۲-۹ کیوی ۴۸

۲-۲-۲-۱۰ کلم‌قمری ۴۸
۲-۲-۲-۱۱ کاهو ۴۹
۲-۲-۲-۱۲ انبه ۴۹
۲-۲-۲-۱۳ خربزه و هندوانه ۴۹
۲-۲-۲-۱۴ سالاد مخلوط سبزی‌ها ۴۹
۲-۲-۲-۱۵ قارچ ۴۹
۲-۲-۲-۱۶ هلو ۴۹
۲-۲-۲-۱۷ پاپایا ۵۰
۲-۲-۲-۱۸ گلابی ۵۰
۲-۲-۲-۱۹ فلفل ۵۰
۲-۲-۲-۲۰ خرمالو ۵۰
۲-۲-۲-۲۱ آناناس ۵۰
۲-۲-۲-۲۲ انار ۵۰
۲-۲-۲-۲۳ دارابی ۵۱
۲-۲-۲-۲۴ سیب‌زمینی ۵۱
۲-۲-۲-۲۵ چغندر قرمز ۵۱
۲-۲-۲-۲۶ اسفناج ۵۱
۲-۲-۲-۲۷ توت‌فرنگی ۵۱
۲-۲-۲-۲۸ گوجه‌فرنگی ۵۱
۲-۳ منابع ۵۲
**فصل ۳– مروری بر استفاده از بسته‌بندی‌های پلیمری و پلاستیکی بر ایمنی مواد غذایی با رویکردی بر پدیده مهاجرت ..... ۵۷**
۳-۱ مقدمه ۵۷
۳-۲ کلیات ۵۸
۳-۳ انواع بسته‌بندی ۶۰
۳-۳-۱ طبقه‌بندی بسته‌بندی‌ها بر اساس جنس مواد مصرفی ۶۰
۳-۴ کاربرد پلاستیک در بسته‌بندی مواد غذایی ۶۰
۳-۴-۱ تاریخچه تولید و مصرف پلاستیک‌ها ۶۰
۳-۴-۲ گسترش مصرف پلاستیک ۶۱

۳-۴-۳ انواع بسته‌بندی پلاستیکی ۶۱
۳-۴-۴ ترموپلاستیک‌های ساده ۶۲
۳-۴-۴-۱ سلوفان ۶۲
۳-۴-۴-۲ پلی‌اولفین‌ها ۶۳
۳-۴-۴-۲-۱ پلی‌اتیلن با دانسیته پائین (LDPE) ۶۳
۳-۴-۴-۲-۲ پلی‌اتیلن خطی با دانسیته پائین (LLDPE) ۶۴
۳-۴-۴-۲-۳ پلی‌اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) ۶۴
۳-۴-۴-۳ پلی‌پروپیلن (PP) ۶۴
۳-۴-۴-۴ کو پلیمر اتیلن– وینیل استات (EVA) ۶۵
۳-۴-۴-۵ وینیل پلاستیک‌ها ۶۵
۳-۴-۴-۵-۱ پلی وینیل کلراید (PVC) ۶۶
۳-۴-۴-۵-۲ کو پلیمرهای وینیل کلراید ۶۶
۳-۴-۴-۵-۳ پلی وینیلیدین کلراید (PVDC) ۶۶
۳-۴-۴-۶ پلی‌استرها (PE) ۶۷
۳-۴-۴-۷ پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) ۶۷
۳-۴-۴-۸ پلی آمید یا نایلون (PA) ۶۷
۳-۴-۴-۹ پلی استایرن (PS) ۶۸
۳-۴-۴-۹-۱ ساختار پلی استایرن ۷۰
۳-۴-۴-۹-۲ کوپلیمرهای استایرن ۷۱
۳-۴-۴-۹-۲-۱ استایرن آکریلونتیریل (SAN) ۷۱
۳-۴-۴-۹-۲-۲ اکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS) ۷۱
۳-۴-۴-۹-۳ درجه‌بندی پلی استایرن ۷۲
۳-۴-۴-۹-۳-۱ پلی استایرن جهت مصارف عمومی (GPS) ۷۲
۳-۴-۴-۹-۳-۲ پلی استایرن با وزن مولکولی بالا ۷۲
۳-۴-۴-۹-۳-۳ پلی استایرن مقاوم در برابر حرارت ۷۲
۳-۴-۴-۹-۳-۴ پلی استایرن با سیالیت زیاد ۷۳
۳-۴-۴-۱۰ اتیلن وینیل الکل (EVOH) ۷۴
۳-۴-۵ ترموپلاستیک‌های مرکب ۷۴
۳-۴-۵-۱ نمونه‌هایی از فیلم‌های مرکب ۷۵
۳-۴-۵-۲ خصوصیات فیلم‌های مرکب ۷۶

۳-۴-۶ وضعیت تولید مواد اولیه پلاستیک‌ها در ایران ۷۷
۳-۴-۷ قابلیت شکل‌پذیر مواد بسته‌بندی پلیمری ۷۷
۳-۵ برهم‌کنش‌های مابین ترکیبات غذایی و بسته‌بندی‌ها ۷۸
۳-۵-۱ مهاجرت ۷۸
۳-۵-۱-۱ مواد موثر در مهاجرت ۷۹
۳-۵-۱-۲ علل مهاجرت ۸۲
۳-۶ مهاجرت شیمیایی و عوامل اصلی کنترل آن ۸۳
۳-۶-۱ مهاجرت مکانیکی ۸۳
۳-۶-۲ ترکیب مواد بسته بندی ۸۴
۳-۶-۳ ماهیت و وسعت تماس ۸۴
۳-۶-۴ طبیعت مواد غذایی ۸۵
۳-۶-۴-۱ نا سازگاری ۸۵
۳-۶-۴-۲ قابلیت انحلال ۸۶
۳-۶-۴-۳ دمای تماس ۸۶
۳-۶-۴-۴ طول مدت تماس ۸۶
۳-۶-۴-۵ تحرک مواد شیمیایی موجود درمواد بسته بندی ۸۶
۳-۶-۴-۶ ویژگی سطوح ۸۷
۳-۶-۴-۷ مواد نفوذ ناپذیر ۸۷
۳-۶-۴-۸ موادنفوذ پذیر ۸۷
۳-۶-۴-۹ مواد متخلخل ۸۹
۳-۶-۴-۱۰ خلاصه ای از عوامل که سبب کنترل روند مهاجرت ۸۹
۳-۶-۴-۱۱ طبقه‌بندی سیستم‌های بسته‌بندی ازلحاظ مهاجرت: ۹۱
۳-۶-۴-۱۱-۱ فاقد مهاجرت ۹۱
۳-۶-۴-۱۱-۱ سیستم های دارای مهاجرت مستقل ۹۲
۳-۶-۴-۱۱-۲ سیستم نشتی ۹۴
۳-۶-۴-۱۲ فیزیک و مدل های مهاجرت ۹۵
۳-۶-۴-۱۳ انواع مهاجرت ۹۷
۳-۶-۴-۱۳-۱ مهاجرت جامع یا کلی ۹۸
۳-۶-۴-۱۳-۲ مهاجرت ویژه ۹۸

۳-۶-۴-۱۴ مشکلات مربوط به اندازه گیری مقدار مهاجرت ۹۸
۳-۶-۴-۱۵ استفاده از مقلدهای غذایی در تعیین میزان مهاجرت ۹۹
۳-۶-۴-۱۶ راه های مهاجرت ۱۰۰
۳-۶-۴-۱۶-۱ مهاجرت از طریق بسته‌بندی‌های پلاستیکی ۱۰۰
۳-۶-۴-۱۶-۲ مهاجرت ترکیبات رزین‌های پلاستیکی ۱۰۰
۳-۶-۴-۱۶-۳ مهاجرت افزودنی‌های با کاربرد خاص یا تعمدی (Intentional Additives) ۱۰۱
۳-۶-۴-۱۶-۳-۱ مواد بهبود دهنده خاص ۱۰۱
۳-۶-۴-۱۶-۳-۲ تثبیت کننده‌ها (Stabilizers) ۱۰۲
۳-۶-۴-۱۶-۳-۳ کمک‌های تکنیکی ۱۰۳
۳-۶-۴-۱۶-۳-۴ عوامل ضد مه (Antifog Agents) ۱۰۳
۳-۶-۴-۱۶-۳-۵ عوامل جفت‌کننده (Anchoring Agents) ۱۰۳
۳-۶-۴-۱۶-۳-۶ عوامل فوم کننده (Foeming Agents) ۱۰۴
۳-۶-۴-۱۶-۳-۷ کندکننده‌های اشتعال(Flame Retardants) ۱۰۴
۳-۶-۴-۱۶-۳-۸ عواملی که شفافیت رزین‌های پلاستیک را تغییر می‌دهند ۱۰۴
۳-۶-۴-۱۷ مضرات پلی استایرن ۱۰۶
۳-۶-۵ اثر مایکروویو بر بسته‌بندی مواد غذایی ۱۰۷
۳-۷ مروری بر تحقیقات پیشین: ۱۰۷
۳-۸ منابع ۱۱۰
**فصل ۴– مطالعه استفاده از تکنولوژی نانو در بسته‌بندی مواد غذایی و ایمنی آن ۱۱۳**
۴-۱ مقدمه: ۱۱۳
۴-۲ نانو ذرات ۱۱۴
۴-۳ پلیمرهای نانو ۱۱۵
۴-۳-۱ انواع پلیمرهای نانو ۱۱۵
۴-۳-۱-۱ نانو پلیمرهای پیشرفته ۱۱۵
۴-۳-۱-۲ نانوپلیمرهای فعال ۱۱۵
۴-۳-۱-۲-۱ نانوکامپوزیت و نانو بیوکامپوزیت‌ها ۱۱۶
۴-۳-۱-۳ روش‌های آماده‌سازی پلیمرهای نانوکامپوزیتی ۱۱۹
۴-۳-۱-۳-۱ روش بالا به پایین ۱۱۹
۴-۳-۱-۳-۲ روش پایین به بالا ۱۲۰
۴-۳-۲ نقش نانوکامپوزیت‌های پلیمری در سطح مشترک پلیمر ۱۲۱

۴-۳-۲-۱ ماتریس‌های میانی پلیمرها و نانوپلیمر های کامپوزیتی ۱۲۲
۴-۳-۳ نانوپلیمیرهای زیست تخریب پذیر ۱۲۳
۴-۳-۳-۱ نشاسته و مشتقات آن ۱۲۳
۴-۳-۳-۲ سلولز ۱۲۳
۴-۳-۳-۳ پلی‌استرهای زیستی ۱۲۴
۴-۴ انواع نانوذرات استفاده‌شده در نانوکامپوزیت‌های بسته‌بندی موادغذایی ۱۲۴
۴-۴-۱ نانورس ۱۲۵
۴-۴-۱-۱ خاصیت بازدارندگی نانوکامپوزیت‌های پلیمر رس ۱۲۷
۴-۴-۱ نانوذرات نقره ۱۲۷
۴-۴-۱-۱ فرآیندهای نانوذرات نقره ۱۲۹
۴-۴-۱-۱-۱ فرآینـــد کاتالیســـتی تولید اکســـیژن فعال بـــا نقره ۱۳۰
۴-۴-۱-۱-۲ فرآیند یونـــی (تبدیل پیوندهای SH – به SAG) ۱۳۰
۴-۴-۱-۱-۳ اتصال با دیواره سلولی ۱۳۰
۴-۴-۱-۱-۴ از بین بردن آنزیم‌های میکروارگانیسم‌ها ۱۳۰
۴-۴-۱-۱-۵ سایر فرآیندهای نانونقره ۱۳۱
۴-۴-۲ نانوذرات اکسید سیلیکون و اکسید نقره ۱۳۱
۴-۴-۳ نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید ۱۳۱
۴-۴-۴ نانوذرات اکسید روی ۱۳۱
۴-۴-۴-۱ مکانیسم عمل نانو ذرات اکسید روی ۱۳۲
۴-۴-۴-۲ مطالعه اثر ZnO ۱۳۴
۴-۵ نانوسنسورها و نانوپلیمرهای هوشمند ۱۳۴
۴-۶ اثرات سمیت و پدیده مهاجرت مواد موجود در بسته‌بندی نانویی ۱۳۷
۴-۷ نتیجه‌گیری ۱۴۵
۴-۸ منابع ۱۴۸
**فصل ۵– پیشرفت نانوتکنولوژی در جهت بهبود قابلیت نگهداری جیره‌های حیاتی و عملیاتی..... ۱۵۷**
۵-۱ مقدمه ۱۵۷
۵-۲ کلیات ۱۵۷
۵-۳ بسته بندی مواد غذایی ۱۵۸
۵-۴ پلیمر و بیوپلیمرها ۱۵۸

۵-۵ نانوفیلرها ۱۶۰
۵-۶ رس و سیلیکا ۱۶۰
۵-۷ سلولز ۱۶۴
۵-۸ کیتین و کیتوزان ۱۶۵
۵-۹ نانولوله‌های کربنی و گرافین ۱۶۶
۵-۱۰ نانو فیلترهای ضد میکروبی ۱۶۷
۵-۱۱ نانوحسگرها ۱۶۸
۵-۱۲ نانوحسگر شناساگر اکسیژن ۱۶۹
۵-۱۳ نانوحسگر جاذب اکسیژن ۱۷۰
۵-۱۴ نانوکامپوزیت‌های تثبیت‌کننده‌ی آنزیم ۱۷۱
۵-۱۵ جمع‌بندی ۱۷۲
۵-۱۶ منابع ۱۷۴
**فصل ۶– اندازه گیری مهاجرت کلی در ظروف پلیمری** ۱۸۲
۶-۱ مقدمه ۱۸۲
۶-۲ ....روش آزمون مهاجرت کلی مشابه غذا یی آبکی در تماس مواد و ظرف پلاستیکی به روش پر کردن ( EN1186-9 ) ۱۸۲
۶-۲-۱ هدف و دامنه ۱۸۲
۶-۲-۲ اصول ۱۸۲
۶-۲-۳ معرف ۱۸۳
۶-۲-۴ دستگاه ۱۸۳
۶-۲-۵ تهیه نمونه‌های آزمایشی ۱۸۳
۶-۲-۵-۱ کلیات ۱۸۳
۶-۲-۶ تعداد نمونه ۱۸۴
۶-۲-۶-۱ ظروف با حجم اسمی بیش از ۲۰۰ میلی لیتر ۱۸۴
۶-۲-۶-۲ ظروف با حجم اسمی کمتر از ۲۰۰ میلی لیتر ۱۸۴
۶-۲-۷ تعیین و ثبت مساحت سطح نمونه در معرض مشابه مواد غذایی ۱۸۴
۶-۲-۸ روش آزمون ۱۸۵
۶-۲-۸-۱ قرار گرفتن در معرض مشابه مواد غذایی ۱۸۵
۶-۲-۹ تعیین مهاجرت مواد ۱۸۵

۶-۲-۹-۱ آماده‌سازی ظروف ۱۸۵
۶-۲-۹-۲ روش تبخیر ۱۸۶
۶-۲-۹-۳ روش تقطیر ۱۸۶
۶-۲-۱۰ بیان نتایج ۱۸۷
۶-۲-۱۰-۱ روش محاسبه ۱۸۷
۶-۲-۱۰-۲ دقت ۱۸۹
۶-۲-۱۱ گزارش آزمون ۱۸۹
۶-۳ ..روش آزمون مهاجرت کلی در مشابه غذایی روغن زیتون در تماس با ظروف با روش پر کردن EN1186-8 ۱۹۰
۶-۳-۱ هدف و دامنه ۱۹۰
۶-۳-۲ اصول روش آزمون ۱۹۰
۶-۳-۳ مواد /واکنشگرها ۱۹۲
۶-۳-۴ وسایل ۱۹۳
۶-۳-۵ آماده سازی آزمونه ۱۹۵
۶-۳-۵-۱ کلیات ۱۹۵
۶-۳-۶ تعداد آزمونه ۱۹۵
۶-۳-۷ برش نمونه کالاهای دارای شکل غیر عادی و بزرگ ۱۹۶
۶-۳-۸ روش کار ۱۹۶
۶-۳-۸-۱ توزین اولیه آزمونه ۱۹۶
۶-۳-۹ تماس با مشابه غذایی ۱۹۷
۶-۳-۱۰ توزین نهایی آزمونه ها ۱۹۹
۶-۳-۱۱ استخراج روغن زیتون جذب شده ۱۹۹
۶-۳-۱۲ آماده سازی متیل استرهای چرب ۲۰۰
۶-۳-۱۳ تشخیص متیل استرهای چرب ۲۰۱
۶-۳-۱۳-۱ ابزار ۲۰۱
۶-۳-۱۴ گراف کالیبراسیون ۲۰۲
۶-۳-۱۴-۱ روش۱ : روش ارتفاع پیک ۲۰۲
۶-۳-۱۴-۲ روش۲: روش سطح پیک ۲۰۲
۶-۳-۱۴-۳ روش ۳: روش سطح پیک درحالت تداخل نمونه ۲۰۳

۶-۳-۱۵ تعیین روغن زیتون جذب شده توسط آزمونه ۲۰۳
۶-۳-۱۶ روش گرافیکی ۲۰۴
۶-۳-۱۶-۱ محاسبه از پارامترهای رگرسیون ۲۰۴
۶-۳-۱۷ بیان نتایج ۲۰۵
۶-۳-۱۷-۱ روش محاسبه ۲۰۵
۶-۳-۱۷-۲ دقت ۲۰۶
۶-۳-۱۸ گزارش آزمون ۲۰۷
۶-۴ اندازه گیری استالدئید از بطریPET به داخل محلول مدل غذایی (روش EPA554) ۲۰۷
۶-۴-۱ اصول روش آزمون ۲۰۸
۶-۴-۲ تجهیزات و وسایل مورد نیاز ۲۰۹
۶-۴-۲-۱ دستگاه HPLC ۲۰۹
۶-۴-۲-۲ فاز متحرک ۲۰۹
۶-۴-۲-۳ معرف‌ها ۲۰۹
۶-۴-۲-۴ مواد واکنش‌گر ۲۰۹
۶-۴-۲-۵ مواد شیمیایی ۲۰۹
۶-۴-۲-۶ محلول‌ها ۲۱۰
۶-۴-۲-۷ سایر تجهیزات ۲۱۱
۶-۴-۳ آماده سازی نمونه های آزمایش ۲۱۲
۶-۴-۳-۱ کلیات ۲۱۲
۶-۴-۳-۲ آماده سازی نمونه های شاهد ۲۱۲
۶-۴-۳-۳ آماده سازی نمونه های کالیبراسیون ۲۱۳
۶-۴-۳-۴ روش تجزیه و تحلیل ۲۱۳
۶-۴-۳-۵ آماده سازی نمونه ۲۱۴
۶-۴-۳-۶ کالیبراسیون ۲۱۴
۶-۴-۳-۷ بررسی داده ها ۲۱۴
۶-۴-۳-۸ دخالت اسپکتروسکوپی ۲۱۴
۶-۴-۳-۹ محاسبه سطح آنالیت ۲۱۵
۶-۴-۳-۱۰ محاسبه مهاجرت ویژه استالدئید ۲۱۵
۶-۴-۳-۱۱ دقت ۲۱۶

۶-۴-۳-۱۲ حد تشخیص استالدئید ۲۱۶
۶-۴-۳-۱۳ تأییدیه / تصدیق ۲۱۶
۶-۵ مهاجرت ویژه دی و مونو اتیلن گلایکول ۲۱۸
۶-۵-۱ تعیین مهاجرت ویژه مونومرهای مونو اتیلن گلیکول و دی اتیلن گلیکول ۲۱۹
۶-۵-۱-۱ اصول روش آزمون ۲۲۰
۶-۶ بررسی و تعیین مهاجرت ویژه مونومر ایزو فتالیک اسید، ایزو فتالیک اسید دی‌متیل استر . ۲۳۵
۶-۶-۱ مواد و روش ها ۲۳۷
۶-۷ بررسی و تعیین مهاجرت ویژه فلز ات سنگین و فلز آنتیموان ۲۴۳
۶-۷-۱ اصول روش ۲۴۳
۶-۷-۲ مواد لازم ۲۴۶
۶-۷-۳ وسایل لازم ۲۴۶
۶-۷-۴ آماده سازی نمونه ها ۲۴۶
۶-۷-۵ روش صحه گذاری آزمون ۲۴۸
۶-۸ منابع: ۲۵۱
پیوست ها ۲۶۱

# ۱ آشنایی با مفاهیم بسته‌بندی

## ۱-۱ تعریف بسته‌بندی

مؤسسه بین‌المللی بسته‌بندی، بسته‌بندی را به‌عنوان پوشش محصول تلقی می‌کند، این حصار بایستی دارای ویژگی‌های ذیل باشد:

ظرف باشد، از کالا محافظت و نگهداری نماید، با خریدار ارتباط برقرار نموده و اطلاعات را به او منتقل نماید، کالا و سودمندی آن را نمایش دهد. در استاندارد بریتانیا واژه‌ی بسته‌بندی به‌عنوان هنر یا عملیات مورداستفاده در آماده‌سازی کالا برای حمل، نگهداری و یا تحویل به مشتری تعریف شده است. در تعریفی ساده‌تر، بسته‌بندی به ظرفی است که مظروفی را در خود جای می‌دهد. بسته‌بندی یک عملیات تجاری پیچیده، پویا، علمی، هنری و بحث‌آفرین است که کارکردهای محافظت، نگهداری، حمل‌ونقل، اطلاع‌رسانی و فروش را شامل می‌شود (۱).

## ۱-۲ تاریخچه بسته‌بندی

مطالعات تاریخی نشان داده است که در ابتدای تمدن بشری نیازی به بسته‌بندی مواد غذایی نبوده است و مردم برای به دست آوردن غذا از محلی به محل دیگر می‌رفتند تا زمانی که پناهگاه‌های دائمی برای خود پیدا کردند. در چنین شرایطی ناچار بودند غذا را از محل‌های مختلف جمع‌آوری نموده، و به محل سکونت خود بیاورند. این نیاز باعث شد که اولین انواع بسته‌بندی مانند کدوهای خشک‌شده، صدف‌ها، برگ‌ها، پوست حیوانات و دیگر مواد طبیعی مورداستفاده قرار بگیرند. برای انتقال آب، شیر، ماست، روغن یا دوغ، از پوست حیوانات استفاده می‌شد و از شاخ حیوانات نیز برای حمل‌ونقل و ذخیره غذا و محصولات کشاورزی استفاده می‌کردند. هنوز هم در مناطق استوایی از بامبو برای ذخیره‌سازی مواد غذایی استفاده می‌شود (۲).

قوطی سازی و بسته‌بندی فلزی از زمان ناپلئون شروع شد و برای مدت مدیدی قوطی‌های کنسرو با دست‌ساخته می‌شد. پس از پیدایش کاغذ، بسته‌بندی به‌صورت مقوایی و کاغذی به‌وجود آمد و روند تکمیلی خود را به‌سرعت طی نمود. اولین کارخانه مدرن ایران در سال ۱۳۴۹ شمسی در هفت‌تپه خوزستان به‌منظور تولید کاغذهای تحریر با استفاده از تفاله

نیشکر[1] احداث شد و متعاقب آن، کارخانه چوب و کاغذ ایران (چوکا) با استفاده از خمیرهای وارداتی و داخلی، کاغذهای کرافت و بسته‌بندی را تولید نمود.
بسته‌بندی پلاستیکی به سال ۱۸۴۳ میلادی برمی‌گردد که دکتر مونت گومری آفریقایی گزارش داد که می‌توان با استفاده از ماده اولیه کائوچو، دسته خوبی برای چاقو ساخت. با اختراع پلی‌اتیلن، پیشرفت غیرمنتظره‌ای در صنعت بسته‌بندی رخ داد. در سال ۱۹۳۹ میلادی، مایکل پرین با استفاده از یک واکنش تحت فشار بالا و قابل تکرار برای پلی‌اتیلن، مبنایی برای آغاز تولید صنعتی آن را فراهم نمود (۳).
تاریخچه بسته‌بندی شیشه‌ای نیز به‌پیش از اواخر قرن نوزدهم برمی‌گردد که محصولاتی مانند آب‌معدنی، سس، ترشی و مربا، برای فروش در ظروف شیشه‌ای بسته‌بندی می‌شدند. استفاده از شیشه برای بسته‌بندی، بعد از جنگ جهانی دوم همواره سیر صعودی داشته است، چرا که شیوه‌های تولید سریع، پیوسته و خودکار تولید بطری‌ها و پر کردن آن‌ها به تولیدکنندگان این امکان را داده که تقاضاهای بیشتری را برآورده کرده و قیمت تولید آن‌ها را نیز پایین نگه‌دارند (۴).

### ۱-۳ ضرورت نیاز به بسته‌بندی

محصولاتی که ساخته دست بشر بوده و با استفاده از منابع طبیعی تولید می‌شوند، نیازمند بسته‌بندی می‌باشند. این نیاز را می‌توان از جنبه‌های گوناگون مورد بحث و بررسی قرارداد. هویت‌بخشی، امنیت، ایمنی و سلامت و درنهایت حمل‌ونقل، همگی نیاز مبرمی به بسته‌بندی برای تحقق این امر دارند. حضور بسته‌بندی در دنیای مدرن، محصور به زمان و مکان خاصی نیست. هم‌اکنون حتی محصولات زراعی و باغی نیز حداقل دارای یک برچسب می‌باشند و برچسب نیز خود شکلی از بسته‌بندی است. بسته‌بندی از ابتدایی‌ترین نیاز هر محصول، پیش از عرضه به بازار می‌باشد چراکه تولیدکنندگان برای شناساندن خود و محصولاتشان و البته محافظت از محصول در حین حمل‌ونقل و نگهداری پیش از فروش به آن نیاز مبرمی دارند. بسته‌بندی می‌تواند ضمن معرفی نام، خواص، مشخصات فنی و شیمیایی، تاریخ‌مصرف،

[1]. Bagasse

قیمت، طریقه مصرف و نگهداری صحیح، محافظت آن کالا را تا زمان مصرف به عهده گیرد و درعین‌حال یک بسته‌بندی مطلوب قادر است موجب افزایش زمان حفظ و نگهداری کالای فاسدشدنی باشد. (۴).

## ۴-۱ کاربرد و اهمیت بسته‌بندی مواد غذایی

بسته‌بندی مواد غذایی یکی از مهم‌ترین و حساس‌ترین مراحل تولید یک ماده غذایی است و اگر چنان‌چه به میزان لازم به این امر توجه نگردد، تمام زحماتی که برای تولید بهینه ماده غذایی به‌کار گرفته می‌شود، به هدر خواهد رفت. همچنین با بسته‌بندی نمودن مواد غذایی می‌توان از ضایعات آن‌ها جلوگیری کرده، طول مدت نگهداری آن‌ها را افزایش داده و نیز غذایی سالم به مصرف‌کننده عرضه نمود.

بدین منظور با استفاده از بسته‌بندی، محیطی در اطراف ماده غذایی فراهم می‌گردد که منجر به ایجاد حداقل فساد و کاهش کیفیت غذا در حین نگهداری آن خواهد شد. ایجاد چنین محیطی به نوع محصول غذایی بسته‌بندی‌شده نیز بستگی دارد، برای مثال بهترین روش برای بسته‌بندی گوشت، نگهداری آن در فضای حاوی نسبت معینی از اکسیژن و دی‌اکسید کربن می‌باشد، در غیر این صورت دچار خروج آب از بافت گوشت و تیرگی رنگ می‌گردد (۲).

در مورد سبزی‌ها، پدیده تنفس این محصولات بعد از برداشت و در حین نگهداری باید در نظر گرفته شود؛ لذا بسته‌بندی مناسب در این مورد، بایستی به‌صورت سدی در مقابل نفوذ رطوبت عمل نموده ولی تا حدودی در برابر اکسیژن و دی‌اکسیدکربن نفوذپذیر باشد. بدین ترتیب می‌توان امکاناتی را ایجاد نمود تا محصولات تولید شده در فصول مختلف، در دیگر فصل‌ها نیز قابل‌استفاده باشند و محصولات کشاورزی را بدون تغییر در کیفیت آن‌ها، از محلی به محل دیگر انتقال داد.

بسته‌بندی، چهره کالاست و خریدار از طریق آن محصول را شناسایی می‌کند. درضمن محافظ و نگهدارنده کالا و مواد غذایی در برابر عوامل مختلفی از قبیل ضربه، ارتعاش، متلاشی شدن، میکروارگانیسم‌ها، گازها، فشار ناشی از آن‌ها، رطوبت، شرایط جوی مختلف و حشرات نیز می‌باشد. بسته‌بندی می‌تواند به‌عنوان عاملی جهت توقف عابران در برابر ویترین

عمل نماید که بستگی به جذابیت و سلیقه در انتخاب بسته‌بندی دارد. به‌علاوه بسته‌بندی مناسب، حمل و ذخیره‌سازی مواد غذایی را نیز آسان‌تر می‌کند.
در راستای تأمین اهداف فوق، استحکام، شفافیت و قابلیت چاپ بسته نیز از پارامترهای مهم در انتخاب بسته‌بندی مناسب می‌باشد. نکته دیگر در انتخاب بسته‌بندی مناسب، تأثیر آن بر روی محیط‌زیست است. بسته‌بندی در حقیقت جزئی از محصول تولیدی است که توسط مصرف‌کننده استفاده نمی‌گردد؛ درنتیجه اگر مجدداً قابل مصرف نباشد باید دور ریخته شود. به‌طور یقین کمترین آسیب به محیط‌زیست زمانی حاصل می‌شود که بسته‌بندی‌هایی با قابلیت بازیافت و استفاده مجدد به‌کار گرفته شوند.
به‌طورکلی بسته‌بندی محصولات غذایی، مهم‌تر و حساس‌تر از بسته‌بندی سایر کالاهاست و دلایل این مسئله را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود (۲):

- بسیاری از مواد غذایی فرآوری شده را اصولاً بدون بسته‌بندی نمی‌توان عرضه کرد.
- مواد غذایی در معرض آلودگی، فساد، تابش نور و درنهایت تغییر خواص شیمیایی و حسی می‌باشند و یکی از بهداشتی‌ترین و بی‌ضررترین روش‌های نگهداری آن‌ها بسته‌بندی است.
- به دلیل این‌که می‌توان مواد غذایی را دربسته‌های کوچک و مناسب برای یک نفر یا یک خانواده در یک یا چند وعده غذایی عرضه کرد، می‌توان به کمک آن اطلاعات، روش‌های نگهداری و مصرف، موارد ایمنی، آثار جانبی و غیره را به اطلاع مصرف‌کننده رساند.
- در خصوص برخی از غذاها، ماده غذایی در بسته‌بندی باید قابل‌رؤیت باشد؛ زیرا مصرف‌کننده مایل است از ورای بسته، کیفیت مطلوب ماده غذایی را مشاهده نماید.

به این دلایل، به‌طورکلی، بسته‌بندی صحیح، بهداشتی و جذاب مواد غذایی را باید عامل عمده موفقیت در بازاریابی داخلی و بین‌المللی کالا دانست. به‌طور خلاصه، بسته‌بندی به معنی تهیه ظرف، محافظ یا سیستمی است که سلامت کالای مظروف خود را در فاصله تولید تا مصرف حفظ کند و آن را از ضربات، صدمات لرزش، فشار و غیره مصون دارد. از سوی دیگر بسته‌بندی به معنای سیستمی است که موجبات ایجاد ارتباط بین تولیدکننده و توزیع‌کننده را از یک طرف و ارتباط با مصرف‌کننده را از طرف دیگر فراهم می‌سازد. همچنین می‌توان

گفت: بسته‌بندی، سیستمی است مرکب که هم وظیفه حفاظتی و هم وظیفه ارتباطی و اطلاع‌رسانی را بر عهده دارد.

## ۱-۵ کاربردهای بسته‌بندی

### ۱-۵-۱ عامل محافظت‌کنندگی

نقش بسته‌بندی در کمک به نگهداری مواد غذایی، نقشی چندگانه است:

#### ۱-۵-۱-۱ محافظت غیرفعال

این نوع محافظت در زمانی استفاده می‌شود که بسته‌بندی مستقل از تکنیک‌های تهیه و نگهداری ماده غذایی باشد، مثل بسته‌بندی بیسکوئیت‌ها.

در این نوع، بسته‌بندی به‌خصوص به‌عنوان سدی بین محصول و محیط خارجی عمل می‌نماید که شکلی از محافظت غیرفعال است. این نوع محافظت، به‌طور طبیعی در برخی از محصولات دیده می‌شود مثل محافظت میوه‌جاتی نظیر موز و پرتقال توسط پوستشان یا مغزها مثل گردو و فندق و تخم‌مرغ توسط پوسته خارجی‌شان. از این خاصیت در برخی محصولات غذایی استفاده‌شده است مثل پنیر ادام[1] (۶، ۴و ۸).

از محافظت غیرفعال بسته‌بندی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

##### ۱-۵-۱-۱-۱ محافظت مکانیکی

حفاظت مکانیکی، هدف اولیه تمام بسته‌بندی‌هاست. تمام مواد غذایی، بسته به خواص فیزیکی‌شان باید در برابر عوامل زیر محافظت شوند:

الف- خروج ترکیبات: خروج محتویات داخل بسته‌بندی در مدت جابجایی و انبارداری می‌تواند در اثر ضربات آنی مثل شکستن یا ترک برداشتن محصولات ظریفی مثل تخم‌مرغ یا

[1] Edam Cheese

کیک و شکلات و یا فشارهای مداوم مثل تغییر شکل بافت قابل‌انعطاف مواد غذایی (مثل خمیرها، چربی‌هایی نظیر کره و مارگارین، پنیر و ماست و غیره) روی دهد.
ب- نشت مایعات: نشت مایعات در محصولات، می‌تواند درنتیجه درزبندی ناقص بسته‌بندی صورت گیرد که مقاومت کافی در برابر ضربات را نداشته باشد.
ج- ورود حشرات: ورود حشرات به بسته‌ها، به‌خصوص بسته‌های سلولزی، می‌تواند باعث خسارات قابل ملاحظه‌ای در کشورهای گرمسیری شود.

### ۱-۵-۱-۱-۲ محافظت در برابر انتقال مواد

انتقال ممکن است در حالت مایع (به علت نفوذپذیری بسته‌بندی نسبت به مایع یا وجود خلل و فرج) یا به‌طور معمول در حالت گازی (به علت دربندی ناقص یا نفوذپذیری بسته‌بندی نسبت به گازها، بخارآب و دیگر مواد فرار) انجام گیرد.
الف- نفوذپذیری (انتقال مایعات): مسئله نفوذناپذیری و دربندی محکم (به‌خصوص درزهای جوش‌خورده) در برابر مایعات عمدتاً در بسته‌بندی‌های جدید در هر دو نوع ساده و مرکب درنظر گرفته می‌شود (به‌عنوان مثال مقوای پوشش داده‌شده با پلی‌اتیلن و فویل آلومینیومی)
ب- انتقال گازها: هیچ ماده بسته‌بندی شده‌ای در مقابل نفوذ گازها به‌طور کامل مقاوم نیست؛ البته قوطی‌های قلعی (جوش‌خورده) و یا ظروف شیشه‌ای درصورتی‌که درب‌شان کاملاً بسته باشد تا حدودی مناسب هستند. برعکس، خیلی از مواد (مثل مقواها، فویل‌های فلزی و انواع پلاستیک‌ها) نسبت به گازها نفوذپذیرند. شدت و سرعت انتقال گازها بر اساس قوانین کلاسیک انتقال جرم، به‌ویژه قوانین فیک و برحسب ویژگی‌های ماده صورت می‌پذیرد.
با توجه به انتقال گازها، بسته‌بندی دو نقش زیر را بازی می‌کند:

- بسته‌بندی به‌عنوان یک سد بازدارنده در برابر انتقال گازها از خارج به داخل بسته عمل می‌نماید. در این رابطه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مقاومت به نفوذ اکسیژن و بخارآب برای محصولات حساس به اکسیژن و رطوبت. اکسیژن احتمال رشد کپک‌ها و باکتری‌های هوازی و اکسیداسیون چربی‌ها (تند شدن)، و نفوذ بخارآب احتمال خراب شدن بافت، کاهش تردی محصولاتی نظیر بیسکوئیت، تشکیل

محلول‌های اشباع برای محصولات نمک‌زده شده و احتمال رشد کپک‌ها را به دلیل افزایش فعالیت آبی محصول، افزایش می‌دهند.
مقاومت به نفوذ ترکیبات فرّاری که ممکن است در محیط وجود داشته باشند. به‌عنوان مثال کربوهیدرات‌ها، دود، عطرها و غیره می‌توانند خواص ارگانولپتیکی مواد غذایی مثل عطر و طعم آن را تغییر دهند.

- بسته‌بندی به‌عنوان یک سد بازدارنده در برابر انتقال گازها از داخل به خارج بسته عمل می‌نماید. این عمل می‌تواند از موارد زیر جلوگیری نماید:

- افت آرومای (عطر) خاص محصول.
- خشک شدن محصول، زمانی که محصول مرطوب یا نیمه‌مرطوب باشد.
- خروج و افت هر گاز یا مخلوط گازی که جهت نگهداری محصول به داخل بسته وارد شده باشد (مثل دی‌اکسیدکربن، نیتروژن، بخار الکل و غیره) (۴).

### ۱-۵-۱-۱-۳ محافظت در برابر انتقال انرژی

انتقال انرژی باعث فعالیت و تسریع فرآیندهای میکروبی و شیمیایی و درنتیجه فساد مواد غذایی می‌شود. دو نوع انتقال انرژی از محیط خارجی به محصول از طریق بسته‌بندی ممکن است انجام پذیرد:
الف– انتقال انرژی تابشی (نور): محصولات زیادی به نور حساس هستند، نور می‌تواند باعث واکنش‌های فتوشیمیایی و درنتیجه افت رنگ، افت ویتامین‌ها، فتولیز اسیدهای آمینه و اکسیداسیون ترکیبات چرب گردد.
ب- انتقال انرژی حرارتی (از سه طریق تابش، جابجایی و هدایت): برای نگهداری بسیاری از محصولات غذایی، لازم است که تحت کنترل شدید دمایی باشند. به‌عنوان مثال، در حین نگهداری و حمل‌ونقل مواد غذایی منجمدشده، بسته‌بندی باید مانع تغییر دمای محصول گردد.

### ۱-۵-۱-۱-۴ محافظت در برابر میکروارگانیسم های موجود در محیط

یکی از نقش‌های مهم بسته‌بندی، حفظ سلامتی و کیفیت میکروبیولوژیکی مواد غذایی است. بسته‌بندی مثل یک سد فیزیکی در برابر میکروارگانیسم‌ها که همواره به تعداد زیادی در هوای محیط محصول بسته‌بندی‌شده وجود دارند، عمل می‌نماید و بدین‌گونه از آلودگی مجدد یا افزایش آلودگی آن جلوگیری می‌کند. همچنین بسته‌بندی از جایگزینی گازهایی که ممکن است رشد اسپورهای حاضر در مواد غذایی را تسهیل کنند، جلوگیری نموده یا آن را محدود می‌سازد.

در این رابطه باید به چهار مورد زیر اشاره کرد:

- محصولات غیراستریل (بیسکوئیت، نان، شیرینی) که اصولاً مستعد آسیب‌های میکروبی نیستند (به‌دلیل خشک بودن و کاهش فعالیت آبی یا استفاده از عوامل نگهدارنده ضدمیکروبی)؛ در این حالت بسته‌بندی از گسترش آلودگی یا آلودگی به‌وسیله اسپورهای بیماری‌زا توسط افرادی که محصول را جابه‌جا می‌کنند، جلوگیری می‌کند.
- محصولاتی که دارای فلور میکروبی خاصی هستند؛ بنابراین اسپورهای خارجی نمی‌توانند با فلور طبیعی محصول رقابت کرده و آن را آلوده نمایند مانند محصولات تخمیری از قبیل پنیر، ماست و سرکه.
- محصولاتی که اگر استریل نباشند باید روش‌های بهداشتی به‌صورت جدی مد نظر قرار گیرد تا آن محصولات به‌دلیل فعالیت میکروب‌های مولد سم تبدیل به یک ماده غذایی عامل بیماری نشوند؛ در این بخش می‌توان از محصولاتی مانند گوشت، ماهی و برخی سبزی‌ها نام برد.
- محصولات استریل که در آن‌ها بسته‌بندی باید مقاوم به میکروب‌ها و اسپورها بوده و درضمن کاملاً درزبندی شده باشند (مثل شیر استریل). در این موارد بسته‌بندی باید تحمل فرآیند حرارتی استریلیزاسیون را داشته باشد یا مناسب برای بسته‌بندی تحت شرایط استریل (اسپتیک) باشد. این نوع بسته‌بندی‌ها ممکن است در دسته‌ی بسته‌بندی‌های فعال طبقه‌بندی شوند.

### ۱-۵-۱-۲ محافظت فعال

در موارد زیادی نقش بسته‌بندی فقط به حفاظت از غذا در برابر عوامل خارجی خلاصه نشده و می‌بایستی در حین فرآیند و نگهداری نیز نقش خاصی را دارا باشد. در این حال، بسته‌بندی‌ها به‌منظور کاربرد تکنیک‌های خاص تولید، طراحی می‌شوند و در این وضعیت، بسته‌بندی نقش فعالی را به‌عنوان جزئی از مجموعه عملیات واحد یک فرآیند دارا می‌باشد.
این نوع بسته‌بندی زمانی است که بسته‌بندی، وابسته به فناوری تولید و نگهداری ماده غذایی بوده یا هنگامی که طراحی بسته‌بندی به‌عنوان عامل حیاتی در نگهداری محصول صورت گرفته باشد؛ مثل بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح‌شده یا بسته‌بندی‌های خوراکی.

#### ۱-۵-۱-۲-۱ استریلیزاسیون بعد از بسته‌بندی

اولین و قدیمی‌ترین نمونه‌های این نوع بسته‌بندی‌ها، قوطی‌های فلزی و شیشه‌ای درزبندی‌شده هستند. این ظروف به گونه‌ای طراحی شده‌اند که به‌طور کامل در مقابل مایعات، گازها و میکروارگانیسم‌ها درزبندی شده و همچنین مقاوم به عملیات حرارتی باشند. در این مورد موادی نظیر شیشه‌های پیرکس و یا شیشه‌های ضخیم، قوطی‌های فلزی و برخی پلاستیک‌های مقاوم به حرارت انتخاب می‌شوند که در برابر انبساط و انقباض اتمسفر داخلی ظرف در طول مدت حرارت دادن و خنک کردن مقاوم بوده و دستخوش شکستن، ترکیدن یا انقباض نشوند.

#### ۱-۵-۱-۲-۲ بسته‌بندی‌های استریل (آسپتیک)

تکنیک بسته‌بندی‌های استریل که عمدتاً برای مایعات استفاده می‌شود تا جامدات (مثل شیر و آب میوه‌جات)، مستلزم این است که هم توده محصول که باید بسته‌بندی شود و هم ماده بسته‌بندی استریل بوده و سپس بسته‌بندی تحت شرایط استریل صورت گیرد. ظروف بسته‌بندی غالباً در خود ماشین بسته‌بندی به‌طور مداوم تولید می‌شود. این ظروف شامل فیلم‌های چندلایه‌ای است که با مقوا و پلاستیک‌های قابل‌انعطاف که قابلیت شکل‌پذیری و پوشش‌پذیری دارند، ترکیب شده‌اند و سپس مستقیماً استریل شده (به‌وسیله غوطه‌ور شدن در مواد شیمیایی یا تابش اشعه ماوراء بنفش) و در نهایت پر و درزبندی می‌شوند. مواد

بسته‌بندی همچنین می‌توانند ظروف پلاستیکی اکسترود شده در دمای بالا باشند که طبیعتاً استریل نیز بوده و سپس پر و دربندی می‌شوند.

### ۱-۵-۱-۲-۳ بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح شده و نگهداری در دمای پایین در مورد محصولات تازه

بسته‌بندی تحت گاز بی‌اثر یا تحت اتمسفر اصلاح شده (مخلوط ویژه‌ای از گازها بسته به نوع محصول) در دمای ۵-۰ درجه سلسیوس یا پایین‌تر از نقطه انجماد برای محصولات تازه به‌طور روزافزونی در حال افزایش است. این توسعه همراه با پیشرفت‌های مشابهی در تکنولوژی ماشین‌های بسته‌بندی و شناخت ترکیب مناسب مواد برای بسته‌بندی امکانی فراهم آورده است که از طریق آن قابلیت نفوذ بسته‌بندی نسبت به گازها قابل کنترل باشد؛ درنتیجه خواص گازی در اتمسفر داخلی بسته‌بندی بدون توجه به فعالیت متابولیکی محصول ثابت باقی می‌ماند.

### ۱-۵-۱-۲-۴ بسته‌بندی‌های خاص

برای برخی محصولات گران‌قیمت، بسته‌بندی‌های خاصی تولید شده‌اند، مثل کیسه‌های دارای شیر تنظیم فشار داخلی یا چندلایه‌های مرکبی که در ساختمان آن‌ها از موادی استفاده شده که اکسیژن را به دام می‌اندازند؛ بنابراین احتمال اکسیداسیون به حداقل می‌رسد. علی‌رغم کیفیت بالای این حالات بسته‌بندی، هزینه‌های بالای آن‌ها، مصرفشان را فقط در محصولات تجملی نظیر قهوه، محدود کرده است.

در تمامی موارد، اولین نیازی که با در نظر گرفتن مصرف‌کننده توسط قوانین وضع گردیده است، خنثی بودن بسته‌بندی در ارتباط با محصول است؛ بدین معنی که بسته‌بندی، خود تحت هیچ شرایطی نباید موجب فساد یا تجزیه گردد. برای یک محصول معین، بسته‌بندی ممکن است ساده یا پیچیده باشد؛ پیچیده بدین معنی است که بسته‌بندی‌ها ممکن است از چند لایه مواد مختلف ساخته شده باشند، تشکیل‌شده که خود این مجموعه در یک بسته‌بندی خارجی که عموماً جعبه‌های مقوایی است قرار گرفته باشند. در چنین بسته‌بندی‌های پیچیده‌ای، هر لایه عمل محافظتی لایه‌های دیگر را تکمیل می‌کند.

بسته‌بندی‌های مرکب باید به‌صورت کامل با توجه به تمام عوامل مرتبط با نگهداری در نظر گرفته شوند (۲).

### ۱-۵-۲ عامل اطلاع‌رسانی بسته‌بندی

علاوه بر نقش حفاظتی که بسته‌بندی در برابر عوامل مختلفی که ذکر شد دارد، بسته‌بندی‌ها عموماً حاوی اطلاعاتی در مورد محصول نیز می‌باشند. اطلاعات درج شده بر روی بسته‌بندی مانع هرگونه اشتباه در کمیت و کیفیت محصول شده و موجب اطمینان خاطر مصرف‌کننده می‌گردد. البته باید توجه کرد که خود بسته‌بندی نیز نباید برای محصول نامناسب بوده یا موجب اغفال مصرف‌کننده گردد.

#### ۱-۵-۲-۱ درج اطلاعات بر روی بسته‌بندی‌های مواد غذایی

بسیاری از مواد غذایی به‌صورت بسته‌بندی شده هستند و همین بسته‌بندی می‌تواند به‌عنوان وسیله‌ای جهت درج اطلاعات و برچسب‌زنی ماده غذایی بسته‌بندی شده استفاده گردد. در این مورد قوانین و مقررات خاصی وجود دارند که اشاره بر چگونگی درج اطلاعات روی بسته‌ها دارند، ازجمله قوانین و مقررات اداره غذا و داروی امریکا، مصوبات جامعه اروپا (۷۹/۱۱۱۲۹-۱۸ دسامبر ۱۹۸۷) مبنی بر برچسب‌زنی و ارائه اطلاعات در مورد مواد غذایی و مصوبه ۱۲ دسامبر ۱۹۸۴ فرانسه.

##### ۱-۵-۲-۱-۱ اطلاعاتی که باید بر روی بسته‌ها درج شوند

طبق قوانین، به جز موارد استثناء که مورد اغماض قرار می‌گیرند برچسب روی بسته‌بندی مواد غذایی باید شامل اطلاعات زیر باشد (براساس مصوبه ۱۲ دسامبر ۱۹۸۴ فرانسه)

- نام محصول
- لیست مواد و عناصر موجود در محصول
- مقدار خالص وزن یا حجم
- تاریخ خالص وزن یا حجم
- تاریخ‌های مثل تاریخ تولید و انقضاء

- نام شرکت‌های تولیدکننده، بسته‌بندی‌کننده و فروشنده
- آموزش طریقه استفاده
- درج سایر اطلاعات که به‌وسیله قوانین مربوطه در مورد ماده غذایی خاصی لازم دانسته شده است.

### ۱-۵-۲-۱-۲ استثنائاتی که در مورد درج اطلاعات و برچسب زنی محصولات غذایی وجود دارند

محصولاتی که درج اطلاعات روی آن‌ها فقط بر طبق مقررات EC انجام می‌گیرد شامل:
- شربت و آب انگور غلیظ شده جهت تولید شراب (RN ۳۵۵/۷۹)
- تخم‌مرغ (RN ۲۷۷۲/۷۵)
- میوه‌جات و سبزی‌ها (RN ۱۰۳۵/۷۲)

برخی مواد غذایی دیگر نیز تحت قوانین EC بوده و قوانین درج اطلاعات در حال حاضر بر روی این مواد خاص، بستگی به نحوه کاربرد و اصلاحاتی که تا آن زمان صورت گرفته دارد مثل کاکائو، محصولات شکلاتی، عسل، برخی مواد قندی، شیر استریلیزه، آب‌میوه‌ها، قهوه و عصاره کاسنی.

### ۱-۵-۲-۱-۳ محصولاتی که نیازی به درج عناصر و مواد متشکله بر روی بسته‌بندی ندارند

این محصولات شامل:
- میوه‌جات و سبزی‌های تازه
- آب کربناته
- سرکه و نظایر آن
- کره، پنیر، شیر، خامه تخمیری و موادی نظیر آن‌ها
- محصولات تشکیل‌شده از یک ماده مشخص
- طعم و عطردهنده‌ها

درج تاریخ‌های مربوط به فروش برای محصولات زیر نیاز نمی‌باشد:
- سبزی‌ها و میوه‌جات تازه، برخی شراب‌ها
- نوشابه‌های الکلی دارای بیش از ۱۰٪ الکل
- کیک‌های تازه
- سرکه
- شکر و سایر محصولات شیرینی‌پزی
- آدامس‌ها
- پنیرهای تخمیری
- صدف‌ها

درج مقادیر برای محصولات زیر نیاز نمی‌باشد:
- بسته‌های کوچک شیرینی و مربا
- تمام پنیرها

## ۱-۶ خصوصیات مواد اولیه بسته‌بندی

### ۱-۶-۱ بی‌ضرر و خنثی بودن بسته‌بندی

گرچه نیاز به بسته‌بندی مواد غذایی جهت اطمینان از سلامتی و حفظ آن‌ها یک امر ضروری و بدیهی به نظر می‌رسد، ولی برآورده کردن این نیاز چندان ساده نیست چراکه خود بسته‌بندی می‌تواند منبع برخی آلودگی‌های غذایی باشد. افزایش استفاده از بسته‌بندی‌های مرکب به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای خطر انتقال مواد فرّار یا مواد حل‌شونده را از بسته‌بندی به مواد غذایی که در آن قرار دارند افزایش می‌دهد؛ بدین دلیل که بسته‌بندی‌های مرکب از چندین ماده با ماهیت‌های متفاوت تشکیل شده‌اند (مثل پلاستیک، فویل‌های فلزی، کاغذ و ...) که همچنین جهت بهبود عرضه و ظاهر آن‌ها به مقدار زیادی مواد دیگر نظیر رنگ‌ها، جوهرها و جلادهنده‌ها نیز استفاده می‌شود (۵).

برخی مواد آلوده‌کننده ممکن است سمی باشند مثل سرب و قلع در قوطی‌های فلزی، مونومر وینیل کلراید در ظروف پلاستیکی، یا برخی مواد ممکن است خواص ارگانولپتیکی مواد غذایی را از طریق ایجاد طعم و بوی به غیرقابل قبول تنزل دهند. قوانین وضع‌شده در مورد موادی که با غذا در تماس هستند، تأکید بر خنثی بودن این مواد نسبت به مواد غذایی دارند. لیست موادی که ممکن است در مواد بسته‌بندی وجود داشته باشند موجود است و تولیدکنندگان و استفاده‌کنندگان این مواد به‌عنوان مواد بسته‌بندی، ملزم به رعایت قوانین مربوطه می‌باشند. آلودگی محصولات غذایی می‌تواند در اثر مهاجرت مواد بسته‌بندی، در یک دوره ۳ تا ۴ هفته‌ای قبل از این‌که تغییرات ارگانولپتیکی قابل‌تشخیص در غذا (یعنی زمانی که برای بازاریابی و توزیع اکثر محصولات غذایی موردنیاز است) روی دهد، صورت بگیرد.

### ۱-۶-۲ خصوصیات مواد اولیه بسته‌بندی از نظر تاثیر بر مواد غذایی

در مورد بسته‌بندی مواد غذایی، نوع مواد اولیه بکار رفته در بسته‌ها، ویژگی‌ها و کیفیت آن‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار است. این ویژگی‌ها را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

- ✓ برای مواد غذایی سمی نباشد.
- ✓ ازنظر شکل ظاهری قابل توجه مصرف‌کننده باشد که بتواند به فروش محصول کمک نماید.
- ✓ در مقابل نور، رطوبت، چربی، گاز و بو (بسته به نیاز محصول) مقاومت کافی داشته باشد.
- ✓ ازنظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد، به‌طوری‌که کارخانجات تولیدکننده بتوانند محصول بسته‌بندی‌شده را در بازار رقابت نگه دارند.
- ✓ در مقابل عوامل خارجی مانند ضربات مکانیکی مقاوم باشد.
- ✓ درب آن به سهولت باز شود و دوخت و چاپ‌پذیری آن به راحتی انجام گیرد.
- ✓ بازیافت زباله آن آسان بوده و کمترین آسیب را به محیط‌زیست برساند (۷).

### ۱-۶-۳ خصوصیات مواد اولیه بسته‌بندی از نظر تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان

خصوصیاتی که برای مواد اولیه بسته‌بندی مورد نظر قرار می‌گیرند از دیدگاه افراد مختلف، متفاوت می‌باشد ازجمله:

- ✓ از نظر تولیدکنندگان مواد اولیه و دستگاه‌های بسته‌بندی، خنثی بودن مواد اولیه بسته‌بندی، کاهش میزان مصرف مواد اولیه و در نهایت کاهش هزینه بسته‌بندی، کاهش اثر تخریبی روی محیط‌زیست و آسان بودن تولید آن‌ها حائز اهمیت است.
- ✓ از نظر تولیدکنندگان مواد غذایی بسته‌بندی‌شده، خنثی بودن و کیفیت مواد اولیه بسته‌بندی، کاهش اثر تخریبی روی محیط‌زیست و آسان بودن تولید آن‌ها حائز اهمیت است.
- ✓ از نظر تجّار و مصرف‌کنندگان، عدم افت کیفیت کالا، حمل‌ونقل راحت و هزینه تمام‌شده آن دارای اهمیت است.
- ✓ نهادهای نظارتی دولتی نیز بر جنبه‌های خنثی بودن و کاهش اثر تخریبی روی محیط‌زیست توجه دارند.

برای تازه نگهداشتن مواد غذایی باید از بسته‌بندی‌هایی استفاده نمود که خصوصیات فوق را دارا بوده و نظر افراد را تأمین نمایند و اگر بدون توجه به این خصوصیات بسته‌بندی مواد غذایی صورت پذیرد، ارزش کافی نداشته و محصول در اثر فساد، قابل‌مصرف نخواهد بود (۷).

### ۱-۷ استانداردهای بسته‌بندی مواد غذایی

تمامی ظروف پلاستیکی و پلیمرهای مورداستفاده در صنعت بسته‌بندی و تولید غذا از نظر استانداردهای تولیدی، نیازمند کسب مجوزهای لازم از استانداردهای FDA و EEC می‌باشند. ارائه‌دهندگان خدمات بسته‌بندی مواد غذایی، به‌طور کامل در زنجیره مواد غذایی دخیل هستند و بر ایمنی و سلامت مواد غذایی تأثیر زیادی دارند. این استانداردها دورنمای فنی خاصی را ترسیم می‌کنند تا مسئولیت‌پذیری تولیدکنندگان را از طریق پایه‌گذاری گسترده‌ی سامانه‌های مدیریت ایمنی شناخته شده برای مواد غذایی، نهادینه کنند. این استانداردها بیانگر الزامات ایجاد مسئولیت برای تولیدکنندگان بسته‌بندی‌ها، ارائه‌کنندگان خدمات بسته‌بندی و توزیع‌کنندگان، به‌منظور ارائه شواهد لازم در دفاع حقوقی و نشان دادن تمهیدات لازم برای جلوگیری از حوادث هستند. این استانداردها عبارتند از:

استانداردBRC IOP: الزامات مربوط به تولیدکنندگان مواد قابل‌استفاده در بسته‌بندی و همچنین محصولات مشابه مرتبط با غذا همچون ورق آلومینیوم، کارد و چنگال یک‌بار مصرف و فنجان‌های پلاستیکی را ارائه می‌دهد.
استاندارد GMP FEFCO: به‌طور انحصاری به تولیدکنندگان مقوای مورد استفاده در بسته‌بندی اختصاص داده‌شده است.
استاندارد ISO – 22000: استانداردی پایه است که به سازمان‌ها و شرکت‌ها این امکان را می‌دهد تا خطرات مربوطه را شناخته و آن‌ها را از لحاظ ایمنی و صرفه اقتصادی به‌طور اثربخشی مدیریت کنند. این استاندارد، رویکردی سازمانی در اختیار صنایع مواد غذایی قرار می‌دهد که تمام جنبه‌های زنجیره‌ی غذا، از خرید مواد خام تا مصرف نهایی در رستوران، آشپزخانه‌های تهیه غذا[1]، تولید تجهیزات، ماشین‌آلات و مواد شیمیایی، و همچنین بخش خدماتی نظیر کنترل آفات، شستشو، حمل‌ونقل و تدارکات را نیز پوشش می‌دهد.

## ۱-۸ معایب بسته بندی

از آن‌جایی‌که بسته‌بندی‌های سلولزی و پلیمری مزایا و قابلیت‌های زیادی ازجمله چاپ‌پذیری عالی و شکل‌پذیری با هزینه پایین دارند، نقش مهمی را در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی ایفا می‌کنند. البته در کنار تمامی مزایا، مشکلاتی هم وجود دارد که نباید از آن‌ها چشم‌پوشی کرد. یکی از مشکلات بسته‌بندی‌های سلولزی (کاغذ و مقوا) و حتی برخی پلیمرها، احتمال مهاجرت مواد مضر است. این امر منجر به انتقال مواد ناخواسته به مواد درون بسته‌ها و تغییر طعم و بوی محصول خواهد شد و از آن‌جایی‌که بیشتر محصولات دارای مواد شیمیایی هستند، این مهاجرت محتمل‌تر نیز خواهد شد. امروزه آزمایش‌های مختلفی ازجمله آزمون سمیت مواد مهاجر و آزمون میزان در معرض قرارگیری محصول توسط دستگاه‌های خاصی روی بسته‌بندی‌ها انجام می‌شود تا از سلامت آن اطمینان حاصل گردد.
آزمون میزان مواد مهاجر، به نوع ماده غذایی، نوع ماده مورد استفاده در بسته‌بندی و ماده مهاجر و آزمون میزان سمیت مواد مهاجر، به مطالعات سم‌شناسی وابسته است.

---

[1]. Catering

واژه مهاجرت مواد به معنی فرآیند انتقال جرم از مواد بسته‌بندی به محتویات داخل آن است؛ البته در پدیده مهاجرت، خواص مکانیکی و نفوذپذیری بسته‌بندی تغییر زیادی نمی‌کند، اما خصوصیات چشایی محصول را به‌طور چشم‌گیری تغییر می‌دهد. ازجمله موادی که در مهاجرت مواد نقش اصلی دارند عبارتند از: مونومرها، حلال‌ها، مواد حاصل از برهم‌کنش‌ها و ناخالصی‌های ناشی از بسته‌بندی نامرغوب مواد غذایی (۹ و ۱۰).

## ۱-۹ منابع


1- Shin, J., & Selke, S. E. (2014). Food packaging. *Food Processing: Principles and Applications, Second Edition*, 249-273.

2- Paine, F. A., & Paine, H. Y. (2012). *A handbook of food packaging*. Springer Science & Business Media.

3- Brody, A. L., & MARSH, E. (1997). *The wiley encyclopedia of packaging technology*. John Wiley & Sons.

4- Risch, S. J. (2009). Food packaging history and innovations. *Journal of agricultural and food chemistry*, *57*(18), 8089-8092.

5- Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging—roles, materials, and environmental issues. *Journal of food science*, *72*(3).

6- Coles, R., McDowell, D., & Kirwan, M. J. (Eds.). (2003). *Food packaging technology* (Vol. 5). CRC Press.

7- Kadoya, T. (Ed.). (2012). Food packaging. Academic Press.

8- Use and Production of Paper Packaging for Food .Raheem, D. (2016)

9- Levy, G. M. (Ed.). (1993). *Packaging in the Environment* (pp. 1-33). London: Blackie Academic & Professional.

10- Barnes, K., Sinclair, R., & Watson, D. (Eds.). (2006). Chemical migration and food contact materials. Woodhead Publishing.

## ۲ تأثیر بسته‌بندی کنترل شده بر روی ترکیبات مواد غذایی

### ۲-۱ بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل‌شده[1]

بسته‌بندی در اتمسفر تغییریافته یا کنترل‌شده، به‌صورت بسته‌بندی محصول در اتمسفری متفاوت با هوا تعریف می‌شود. این بسته‌بندی می‌تواند به چهار روش مختلف باشد:

۱- بسته‌بندی در خلأ

۲- بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل‌شده غیرفعال[2]

۳- واردکردن یک گاز در حین بسته‌بندی

۴- بسته‌بندی فعال

#### ۲-۱-۱ بسته‌بندی فعال

تکنولوژی بسته‌بندی فعال شامل برهم‌کنش‌هایی بین غذا، ماده بسته‌بندی (یا پوشش) و اتمسفر گازی داخل بسته می‌باشد که بایستی درعین‌حال که کیفیت و ایمنی محصول را حفظ می‌کند، قادر به افزایش ماندگاری آن نیز باشد (۱ و ۳).

بسته‌بندی فعال می‌تواند نقش‌های متعددی داشته باشد که در بسته‌بندی‌های رایج وجود ندارد. این نقش‌ها عبارتند از: فعالیت ضدمیکروبی، گرفتن اکسیژن، رطوبت یا اتیلن (ویژگی اسکاونجری)، رها کردن مواد طعمی و یا اتانول (۱ و ۲).

##### ۲-۱-۱-۱ انواع سیستم‌های بسته‌بندی فعال

سیستم‌های بسته‌بندی فعال به‌منظور افزایش مدت‌زمان نگهداری مواد غذایی و افزایش مدت‌زمانی که طی آن مواد غذایی دارای کیفیت بالایی هستند، توسعه یافته‌اند (۴).

بسته‌بندی‌های فعال ضمن نگهداری ماده خوراکی، شرایط و فضای اطراف ماده خوراکی بسته‌بندی شده را به‌منظور افزایش ماندگاری، حفظ تازگی، بهبود ایمنی و یا بهبود

---

[1] -MAP: Modified Atmosphere Packaging

[2]-Passive

خصوصیات حسی تغییر می‌دهند. در واقع بسته‌بندی فعال توانایی واکنش با ماده خوراکی و یا فضای درون بسته‌بندی را دارد و این واکنش در راستای اهداف فوق صورت می‌گیرد (۴).

### ۲-۱-۱-۲ طبقه‌بندی سیستم بسته‌بندی فعال بر اساس سیستم مورداستفاده

بسته‌بندی فعال شامل دو نوع سیستم است:

#### ۲-۱-۱-۲-۱ ساشه[1]

برای جذب یا توزیع گازها در فضای داخلی بسته‌بندی، معمولاً از ساشه‌ها و پدها استفاده می‌شود. ساشه‌ها اواخر سال ۱۹۷۰ میلادی در ژاپن تولید شدند. ساشه‌ها اساساً برای حذف اکسیژن به‌منظور جلوگیری از فرایند زنگ زدن یا اکسیداسیون ترکیبات آهنی در حضور اکسیژن و آب استفاده می‌شوند. زدایندگان اکسیژن[2] از طریق فرایند آنزیمی نیز تولید می‌شوند. عوامل جذب‌کننده اکسیژن معمولاً از پودر آهن یا اسکوربیک اسید تهیه می‌شوند و معمولاً در بسته‌بندی محصولاتی نظیر گوشت، مرغ، قهوه، پیتزا، محصولات پخته و غذاهای خشک‌شده به‌صورت ساشه استفاده می‌شوند. البته ساشه‌هایی که علاوه بر جذب اکسیژن، قادر به جذب دی‌اکسیدکربن نیز می‌باشند، در دسترس هستند که بیشتر در بسته‌بندی قهوه برشته‌شده استفاده می‌گردند. برخی از ساشه‌ها توانایی آزادسازی اتانول را به‌عنوان یک عامل ضدمیکروبی، به‌منظور افزایش مدت‌زمان نگهداری محصولات خمیری با رطوبت بالا، دارا می‌باشند.

#### ۲-۱-۱-۲-۲ پد[3]

پدهای جاذب قطرات آب، در بسته‌بندی گوشت‌هایی که ممکن است پس از نوسان دما آب از داخل آن‌ها به خارج تراوش کند استفاده می‌شوند. همچنین این پدها از رشد کپک‌ها یا باکتری‌ها جلوگیری می‌کنند. اگرچه ساشه‌ها در بسیاری از موارد به‌خوبی عمل می‌کنند اما

---

[1] Sachet
[2] Oxygen Scavengers
[3] Pad

برای هر وضعیتی مناسب نیستند. به‌طور مثال نمی‌توان از آن‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی مایع استفاده کرد و همچنین قابلیت استفاده در بسته‌بندی تهیه شده از فیلم انعطاف‌پذیر را ندارند؛ زیرا فیلم به ساشه می‌چسبد و اجازه نمی‌دهد تا ساشه کار خود را انجام دهد. البته این خطر نیز وجود دارد که ساشه‌ها به‌طور تصادفی توسط مصرف‌کنندگان بلعیده شوند (۵).

### ۲-۱-۱-۳ طبقه‌بندی سیستم فعال از نظر تکنیک‌های بسته‌بندی

تکنیک‌های بسته‌بندی فعال را می‌توان به‌صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

- بر اساس جذب
- بر اساس نشر
- سایر واکنش‌ها

این تکنیک‌ها می‌توانند از طریق سیستم‌هایی مانند بالشتک، برچسب، فیلم و ... اثرات فعال یک بسته‌بندی را ایجاد نمایند.

### ۲-۱-۱-۳-۱ جاذب‌ها

#### ۲-۱-۱-۳-۱-۱ جاذب اکسیژن

معمولی‌ترین سیستم بسته‌بندی فعال، حذف اکسیژن از داخل بسته‌بندی یا محصول است که ممکن است توسط یک منبع خارجی صورت بگیرد (۶). حضور اکسیژن می‌تواند اثرات مخربی بر مواد خوراکی داشته باشد؛ به‌عنوان مثال آغازکننده واکنش‌های اکسیداسیون باشد و یا رشد میکروب‌های هوازی را بهبود دهد. البته تکنیک‌های MAP نیز در این راستا برنامه‌ریزی شده‌اند، اما بااین‌حال نمی‌توانند به‌خوبی اکسیژن را حذف کنند. درحالی‌که جاذب‌ها می‌توانند اکسیژن را تا ۰/۰۱ درصد کاهش دهند.

جاذب‌های عمده اکسیژن عبارتند از:

- پودر آهن که اساس کار آن بر مبنای اکسیداسیون آهن و مصرف اکسیژن است
- رنگ‌های سنتزی حساس به اکسیداسیون بر روی فیلم‌های اتیل سلولز
- اکسیداسیون آنزیمی مانند گلوکز اکسیداز به همراه پراکسیداز

- اسید آسکوربیک
- مخمرهای تثبیت‌شده در یک بستر جامد
- اسیدهای چرب غیراشباع

این جاذب‌ها بایستی به‌صورت جداگانه و بدون تماس مستقیم با ماده خوراکی باشند (۵).

### ۲-۱-۱-۳-۱-۲ جاذب دی‌اکسیدکربن

در مواردی مانند بسته‌بندی سبزیجات، تنفس سلولی منجر به تولید $CO_2$ می‌شود که این خود سبب کاهش pH و تغییر رنگ و طعم می‌گردد. همچنین برای قهوه‌های تازه برشته شده که حجم قابل‌توجهی $CO_2$ تولید می‌کنند، مناسب است. رایج‌ترین سیستم‌های جاذب $CO_2$ بسته‌های حاوی اکسید کلسیم و یک ژل سیلیکای جاذب آب است تا به‌این‌ترتیب آب با اکسید کلسیم ترکیب شده و هیدروکسید کلسیم ایجاد گردد. سپس هیدروکسید کلسیم با $CO_2$ واکنش داده تا به شکل کلسیم کربنات درآید (۵):

$$CaO+H_2O=Ca(OH)_2+CO_2=CaCo_3+H_2O$$

### ۲-۱-۱-۳-۱-۳ جاذب رطوبت

اهداف اصلی کنترل رطوبت عبارتند از:

- کاهش فعالیت آبی و فعالیت میکروبی
- حذف آب ناشی از دیفراست محصولات گوشتی
- حذف آب ناشی از کندانس شدن بخارآب طی تنفس محصولات باغی و گیاهی

از سیستم‌های جاذب رطوبت می‌توان به دولایه با منافذ ریز از پلی‌اتیلن که یک‌لایه جاذب بین آن‌ها قرار دارد اشاره کرد. لایه جاذب می‌تواند نمک‌های پلی‌آکریلات، کربوکسی‌متیل‌سلولز و ... باشد (۵).

### ۲-۱-۱-۳-۱-۴ جاذب اتیلن

اتیلن یک هورمون گیاهی است که میزان تنفس را تسریع می‌کند و منجر به نرم شدن و رسیدن بیش از حد محصول می‌گردد. جاذب‌های اتیلن بر سه اصل زیر عمل می‌کنند:

- اکسیدکنندگی؛ که در این روش پرمنگنات پتاسیم، اتیلن را اکسید کرده و استات و اتانول تولید می‌کند. بایستی توجه داشت که پرمنگنات بایستی به‌صورت غیرمستقیم و در بالشتک‌های مخصوص قرار گیرد.
- جذب بر روی کاتالیست و شکستن مولکول اتیلن
- جذب مستقیم مانند زغال فعال

### ۲-۱-۱-۳-۱-۵ جاذب طعم

جاذب‌های طعم می‌توانند بو و طعم نامطبوع، مانند آمین‌های حاصل از تجزیه پروتئین‌های عضله ماهی و آلدئیدهای حاصل از اتواکسیداسیون چربی‌ها را حذف کنند. براین‌اساس، ازآن‌جایی‌که آمین‌ها قلیایی هستند، با نمک‌های آهن و یک اسید آلی مانند اسید آسکوربیک حذف می‌شوند و آلدئیدها می‌توانند به‌وسیله جذب براساس غربال مولکولی جدا شوند؛ و یا جاذب‌های لیمونین مانند استات سلولز در داخل بسته‌بندی آب مرکبات می‌تواند در جذب طعم تلخ این نوع آبمیوه‌ها مؤثر باشد. ایجاد بوی ناشی از استالدهید هنگام قالب‌گیری بطری‌های PET از دیگر مواردی است که می‌تواند با جاذب‌های طعم و بو برطرف شود.

### ۲-۱-۱-۳-۲ انتشاردهنده‌ها

#### ۲-۱-۱-۳-۲-۱ انتشاردهنده‌های دی‌اکسیدکربن

وجود دی‌اکسید کربن در بسته‌بندی، می‌تواند مزایایی نظیر موارد زیر را به همراه داشته باشد:

- جلوگیری از رشد میکروب‌های هوازی در محصولاتی مانند گوشت تازه، مرغ و ...
- کاهش تنفس محصولات کلایمتریک
- جلوگیری از چروکیده شدن بسته‌بندی در مواقعی که از جاذب اکسیژن استفاده شده است (بیشتر در بسته‌بندی‌هایی استفاده می‌شود که ظاهر بسته‌بندی از اهمیت برخوردار است)

اساس آزادکننده‌های دی‌اکسیدکربن، واکنش بی‌کربنات سدیم با رطوبت و تولید $CO_2$ است (۵).

**۲-۱-۱-۳-۲-۲ انتشاردهنده‌های طعم**

مانند دی‌هیدراته کردن قهوه برای ایجاد طعم قهوه

**۲-۱-۱-۳-۲-۳ انتشاردهنده‌های ترکیبات میکروبی**

باکتریوسین‌ها: مانند نایسین و آنتروسین A و B در بسته‌بندی

ادویه‌ها و روغن‌های فرّار: که حاوی ترکیبات فنلی و فلاوونوئیدی مانند سیر و پونه کوهی هستند.

آنزیم‌ها: مانند آنزیم لیزوزیم که بر پپتیدوگلیکان دیواره باکتری‌های گرم منفی و مثبت اثر می‌کند.

ترکیبات آزادکننده کلر: درواقع شکل جامد دی‌اکسیدکلر است که با رطوبت به فرم گازی تبدیل می‌شود (۵).

**۲-۱-۱-۳-۳ سایر واکنش‌ها**

**۲-۱-۱-۳-۳-۱ Self-heating can**

نوع دیگری از بسته‌بندی فعال است که طی آن براساس واکنش اکسید کلسیم با آب در جداره قوطی گرما ایجاد می‌شود.

**۲-۱-۱-۳-۳-۲ Self-chilling can**

نوع دیگری از بسته‌بندی فعال است که طی آن براساس تبخیر فلوئوروکربن در جداره قوطی و گرفتن گرمای نهان آن سرما ایجاد می‌شود که به دلیل تهدیدهای زیست‌محیطی از دی‌اکسیدکربن به‌عنوان عامل خنک‌کننده استفاده می‌گردد.

**۲-۱-۱-۴ سایر انواع بسته‌بندی‌های فعال**

**۲-۱-۱-۴-۱ مواد افزودنی فعال**

تلاش‌های اخیر در زمینه بسته‌بندی فعال، بر روی ترکیبات حذف‌کننده اکسیژن با مواد بسته‌بندی متمرکز شده است. از افزودنی‌های فعال می‌توان در بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات

(PETE)[1] و نیز ظروف و درب‌های فلزی استفاده کرد. افزودن ترکیبات حذف‌کننده اکسیژن به پلاستیک در مقایسه با ساشه دارای مزیت‌هایی است. به‌عنوان‌مثال در یک فیلم بسته‌بندی فشرده و محکم مثل یک بسته پنیر، ساشه جذب کننده اکسیژن کاربرد ندارد؛ زیرا فیلم فشرده و محکم بر روی عملکرد ساشه اثر منفی می‌گذارد. بنابراین افزودن مواد جذب کننده اکسیژن به داخل ترکیبات پلاستیکی مواد بسته‌بندی کاراتر و مؤثرتر خواهد بود.

یک‌راه برای افزودن مواد جاذب اکسیژن به داخل مواد پلاستیکی، استفاده از یک ماده جاذب با پایه پلیمر است. ماده جاذب اکسیژن از طریق اشعه فرابنفش فعال می‌شود به همین دلیل ظرفیت اکسیژن‌زدایی قبل از پایان مدت‌زمان نگهداری محصول تمام نمی‌شود (۷). امکان استفاده از مواد جاذب طعم و بو در بسته‌بندی فعال وجود دارد (۸).

### ۲-۱-۱-۴-۲ بسته‌بندی ضدمیکروبی

بسته‌بندی‌های ضدمیکروبی، نوع خاصی از بسته‌بندی‌های فعال هستند که می‌توانند عمر محصول را افزایش داده و ایمنی میکروبی بیشتری را برای مصرف‌کننده تأمین نمایند. این بسته‌بندی‌ها در جهت کاهش، مهار و یا به تأخیر انداختن رشد پاتوژن‌ها در غذاهای بسته‌بندی شده و یا مواد بسته‌بندی عمل می‌کنند (۱۱-۹). علت اصلی فساد میکروبی بسیاری از مواد غذایی نگهداری شده در یخچال، رشد میکروبی در سطح محصول است. استفاده از عوامل ضدمیکروب (مانند اسانس‌ها) در تهیه ماده بسته‌بندی برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم که ممکن است در ماده غذایی بسته‌بندی شده یا ماده بسته‌بندی موجود باشد، سودمند است و بنابراین باعث افزایش ماندگاری می‌گردد (۱). در بسته‌بندی ضدمیکروبی، انتشار مواد ضدمیکروبی از اجزاء بسته‌بندی به سطح ماده غذایی، به‌صورت آهسته و در زمان طولانی انجام می‌شود و درنتیجه برای مدت‌زمان بیشتری، غلظت بالایی از ماده ضدمیکروبی در سطح فرآورده وجود خواهد داشت (۱ و ۱۰).

[1] Polyethylene Terephthalate

### ۲-۱-۱-۴-۳ بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر

بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر که قابلیت خوراکی بودن و مصرف به همراه ماده غذایی را دارند، به دو دسته فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی تقسیم می‌شوند. استفاده از فیلم‌های زیست‌فعال برای بسته‌بندی مواد غذایی روش مناسبی برای حفظ کیفیت مواد غذایی محسوب می‌شود. فیلم‌های خوراکی قبل از کاربرد در بسته‌بندی ماده غذایی به‌صورت لایه‌ای نازک تولید می‌شوند و بعد همانند پلیمرهای سنتزی برای بسته‌بندی به کار می‌روند. فیلم‌ها می‌توانند به شکل لفاف، کپسول یا کیسه تولید شوند که این محصولات با ضخامت زیاد قالب‌گیری می‌شوند. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی نوعی از مواد بسته‌بندی و همچنین جزئی از ترکیبات مواد غذایی می‌باشند (۳ و ۱۶-۱۲).

#### ۲-۱-۱-۴-۳-۱ پوشش های خوراکی

پوشش‌های خوراکی به‌صورت لایه‌های نازکی از مواد خوراکی به‌طور مستقیم بر روی سطح ماده غذایی تشکیل می‌شوند. پوشش‌های خوراکی جزء ماده غذایی شده، بر روی محصول باقی مانده و با آن مصرف می‌گردند (۱۷).

روش‌های متداول برای پوشش‌دهی مواد غذایی به‌وسیله محلول سازنده فیلم خوراکی بوده که شامل غوطه‌وری یا فروبردن درون محلول و اسپری نمودن می‌باشد (۱۵ و ۱۸). پوشش‌های مواد خوراکی روی غذاهای تازه به کار می‌روند تا انتقال رطوبت و اکسیداسیون را کاهش دهند. این پوشش‌ها به‌عنوان یک بازدارنده در کاهش تنفس و از دست رفتن آب عمل کرده و در افزایش عمر ماندگاری و بهبود کیفیت چنین غذاهایی مهم می‌باشند (۱۹). پوشش‌های خوراکی می‌توانند به‌عنوان حامل ترکیبات ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی مختلفی همچون اسیدهای آلی، آنزیم‌ها (لیزوزیم)، ضدقارچ‌ها (بنومیل) و ضدمیکروب‌های طبیعی نظیر بسیاری از ادویه‌ها و اسانس‌های روغنی مورد استفاده قرار گیرند (۱۱ و ۱۵).

#### ۲-۱-۱-۴-۳-۲ فیلم های خوراکی

فیلم، پوششی یکنواخت و یکپارچه با ضخامت کمتر از ۰/۰۱ اینچ است. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به‌عنوان حامل برای افزودنی‌ها و مواد ضدمیکروبی، یا آنتی‌اکسیدان‌ها عمل کرده که

در این حالت به آن‌ها بسته‌بندی فعال گفته می‌شود (۱، ۱۱ و ۱۵). فیلم‌های خوراکی در اثر گستردن محلول‌های فیلم‌ساز بر روی یک سطح و خشک کردن آن پدید می‌آیند (۱۲، ۱۸). فیلم‌های خوراکی لایه نازک و یکپارچه‌ای هستند که ابتدا به شکل جامد تهیه می‌شوند و سپس مواد غذایی را درون آن قرار می‌دهند (۱۹). در حال حاضر، فیلم‌های خوراکی به‌طور فزاینده‌ای جایگزین فیلم‌های پلیمری سنتزی برای بسته‌بندی مواد غذایی شده‌اند که می‌توان به پوشش دادن انواع این فیلم‌ها بر سطح فرآورده‌های غذایی نظیر فرآورده‌های قنادی، میوه‌ها و سبزی‌های تازه، برخی فرآورده‌های گوشتی، برخی فرآورده‌های لبنی، شکلات، تنقلات، غلات صبحانه‌ای، طیور و ماهی، فرآورده‌های منجمد، فرآورده‌های خشک‌شده و خشک شده‌ی انجمادی اشاره داشت (۱۲). فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی می‌توانند عمر ماندگاری فرآورده‌های غذایی را افزایش داده و باعث بهبود کیفیت سیستم‌های غذایی از طریق کنترل انتقال جرم، رطوبت، نفوذ روغن، نفوذپذیری گازهایی مانند اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و همچنین از دست رفتن طعم و رایحه شوند (۱، ۲ و ۱۶). استفاده مستقیم از مواد ضدمیکروبی دارای محدودیت‌هایی است زیرا این احتمال وجود دارد که مواد مؤثره آن‌ها خنثی یا تبخیر شده و یا به‌طور نامتناسب در مواد غذایی منتشر شوند. اگر مواد ضدمیکروبی به فیلم‌ها اضافه شوند به آرامی در سطح غذا آزاد می‌شوند؛ بنابراین در تمام طول عمر ماندگاری ماده غذایی که به این روش افزایش یافته، در غلظت‌های بالا در دسترس خواهند بود. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، یک نوع بسته‌بندی و نیز جزئی از ترکیبات مواد غذایی محسوب می‌شوند؛ بنابراین باید دارای ویژگی‌هایی باشند تا نیازهای موجود در بسته‌بندی مواد غذایی را تأمین نمایند (۳). این بسته‌بندی‌ها بایستی بدون طعم و عاری از هرگونه مواد سمی باشند و به‌عنوان سدی در برابر آب، گازها و مواد معطر عمل نموده و همچنین دارای ویژگی‌های مکانیکی مناسبی برای حمل‌ونقل فرآورده‌های غذایی باشند (۱). فیلم خوراکی می‌تواند حاوی آنتی‌اکسیدان، مواد رنگی، مواد ضدمیکروبی و اسانس‌ها باشد؛ همچنین همراه غذا و به‌عنوان مانعی برای آروما استفاده می‌شود. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از طریق کنترل انتقال رطوبت، اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، لیپید، آروما، طعم و افزودنی‌های غذایی سبب حفظ کیفیت و زمان ماندگاری محصولات غذایی می‌شوند.

### ۲-۱-۱-۴-۳-۲-۱ مزایای فیلم های خوراکی

پوشش محصولات غذایی با فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، مزایای بسیاری از نظر جنبه‌های سلامتی، حسی و اقتصادی دارد. برخی ازمهم‌ترین این مزایا به شرح زیر هستند:

- برخلاف فیلم‌های سنتزی، به علت زیست‌تخریب‌پذیر بودن، باعث آلودگی محیط‌زیست نمی‌شوند.
- دارای ارزش تغذیه‌ای می‌باشند.
- مانع فساد و آلودگی میکروبی می‌شوند.
- ظاهر یا جلوه ماده غذایی را حفظ می‌کنند.
- مانع جذب رطوبت یا آبگیری مواد غذایی با رطوبت کم می‌شوند.
- مانع از دست رفتن رایحه غذا می‌شوند.
- مانع قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیرآنزیمی مواد غذایی می‌شوند.
- بر استحکام و یکپارچگی بافت مواد غذایی می‌افزایند.
- از افت ترکیبات مغذی در اثر واکنش‌های ناخواسته مانند اکسایش و واکنش‌های قهوه‌ای شدن جلوگیری می‌کنند.
- بدطعمی و بدرنگی ماده غذایی را کاهش می‌دهند.
- به‌عنوان حامل مواد افزودنی نظیر ترکیبات ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدان، مواد طعم‌دهنده و رنگ‌ها عمل می‌کنند (۱، ۲، ۳).

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی که از ترکیبات مختلف تهیه می‌شوند (فیلم‌های مرکب) برای بهتر شدن ویژگی‌های کاربردی فیلم‌هایی که از یک نوع ترکیب تولید شده و همچنین به‌منظور غلبه بر مشکلات فناوری مربوطه، توسعه یافته‌اند.

### ۲-۱-۱-۴-۳-۲-۲ منابع تولید فیلم ها و پوشش های خوراکی

مواد اولیه مورداستفاده در تولید فیلم‌ها یا پوشش‌های خوراکی به سه دسته تقسیم می‌شوند: پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و ترکیبات لیپیدی (۲۰). از مهم‌ترین مواد مورد استفاده برای تهیه فیلم‌های خوراکی، نشاسته و مشتقات آن، سلولز و مشتقات آن، آرابینوزیلان‌ها، گالاکتومانان‌ها، آلژینات، ژلان، لوبیای خرنوب، پکتین، کیتوزان، کاراگینان، کلاژن، ژلاتین،

گلوتن گندم، زئین ذرت، پروتئین‌های میوفیبریلی گوشت، پروتئین‌های سویا، پروتئین‌های شیر، پروتئین بادام‌زمینی، پروتئین پنبه‌دانه و همچنین فیلم‌های بر پایه لیپید هستند. فیلم‌های خوراکی ممکن است تجزیه‌پذیر یا تجزیه‌ناپذیر باشند. ترکیبات سلولزی، پکتین، کیتین و کیتوزان ازجمله مواد خوراکی هضم‌ناپذیر به‌شمار می‌آیند.

### ۲-۱-۱-۴-۳-۲-۳ فیلم‌های ضدمیکروبی

استفاده از فیلم‌های ضدمیکروبی در مقایسه با افزودن مستقیم ماده ضدمیکروب بسیار مؤثرتر است، زیرا ترکیبات ضدمیکروبی به‌کندی از سطح بسته‌بندی به ماده غذایی آزاد می‌شوند و در غلظت موردنیاز برای جلوگیری از رشد میکروبی حفظ می‌گردد. فیلم ضدمیکروبی باید در برابر دامنه گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها و در غلظت کم مؤثر باشد و هیچ‌گونه تغییری در ویژگی‌های حسی فرآورده ایجاد نکند؛ همچنین از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و با قوانین موجود مطابقت داشته باشد. انواع ترکیبات ضدمیکروبی شامل الکل، باکتریوسین‌ها، عوامل چنگالی‌کننده، آنزیم‌ها، اسیدهای آلی (پروپیونیک و سوربیک) و پلی‌ساکاریدها (آمینوپلی‌ساکاریدهای کاتیونی) می‌باشند (۱ و ۳).

### ۲-۱-۱-۵ مزایای بسته‌بندی فعال

در طی سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی و افزایش آگاهی مصرف‌کننده، تمایل به استفاده از مواد غذایی تازه که متحمل کمترین فرایند شده باشند، گسترش زیادی یافته است. بسیاری از روش‌های رایج فرایند و نگهداری مواد غذایی، به‌ویژه برای مواد غذایی تازه (مانند گوشت تازه) مناسب نبوده و علاوه بر کاهش ارزش غذایی محصول، اثرات نامطلوبی بر کیفیت نهایی آن دارند. استفاده از بسته‌بندی فعال، روش نوینی برای نگهداری این نوع مواد غذایی می‌باشد و در سال‌های اخیر پژوهش‌های گسترده‌ای برای تولید و اقتصادی کردن آن انجام شده است. تکنولوژی بسته‌بندی فعال شامل برهم‌کنش‌هایی بین غذا، ماده بسته‌بندی (پوشش) و اتمسفر گازی داخل بسته می‌باشد که بایستی درعین‌حال که کیفیت و امنیت محصول را حفظ می‌کند، قادر به افزایش ماندگاری آن نیز باشد (۲۱).

### ۲-۱-۲ بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده

صنعت غذا روزبه‌روز به گسترش تکنولوژی برای افزایش ماندگاری محصولات گوشتی و بهبود پذیرش آن توسط مصرف‌کننده، به همراه حفظ کیفیت و ایمنی آن‌ها می‌پردازد (۲۲).

جهت افزایش ماندگاری گوشت، راه‌های مختلفی ارائه‌شده است که شامل نگهداری سرد (chilled storage)، بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده ( modified atmosphere packaging)، بسته‌بندی با خلأ (vacuum packaging)، کنسرو کردن (canning)، منجمد کردن (freezing) و استفاده از مواد نگهدارنده (preservatives) می‌باشد (۲۳).

بااین‌حال، به دلیل این‌که مصرف‌کنندگان فرآیند کمتری را بر روی ماده غذایی خام را می‌پسندد، دو تکنولوژی بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده و بسته‌بندی خلأ، بیشتر موردتوجه می‌باشند. بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده می‌تواند به‌خوبی ظاهر محصول را بهبود بخشد. اثر بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده (MAP) در افزایش ماندگاری محصولات به اثر آنتی‌باکتریایی گاز دی‌اکسیدکربن موجود در بسته‌بندی برمی‌گردد. درصد گاز دی‌اکسیدکربن موجود در بسته‌بندی از رشد باکتری جلوگیری کرده و باعث تغییر در میزان میکروارگانیسم‌های موجود در بسته‌بندی می‌گردد و فساد محصول را کاهش می‌دهد (۲۴).

MAP به‌عنوان یک روش مؤثر نگهداری مواد غذایی در نظر گرفته می‌شود. این روش برای افزایش ماندگاری انواع مواد غذایی، ازجمله گوشت تازه شناخته شده است (۲۵). استفاده از MAP تا حد زیادی در سال‌های اخیر افزایش یافته است، اما بهینه‌سازی ترکیب گاز آن هنوز هم برای اطمینان از کیفیت و ایمنی مواد غذایی موردتوجه است. گازهای متداول مورداستفاده در MAP شامل دی‌اکسیدکربن برای مهار رشد باکتری، اکسیژن برای جلوگیری از رشد بی‌هوازی و حفظ رنگ گوشت قرمز و نیتروژن برای جلوگیری از اکسیداسیون چربی‌ها و فروپاشی بسته می‌باشد. این گازها را می‌توان به‌صورت جداگانه و یا در ترکیب با هم برای رسیدن به نتیجه مطلوب و همچنین بسته به نیاز حفظ مواد غذایی خاص مورداستفاده قرار داد. قاعده‌ی اولیه MAP حذف اکسیژن با استفاده از یک فیلم و یا مانع، با تغییر محیط گازی اطراف گوشت است که باعث ترشیدگی اکسیداتیو و یا با افزایش رشد میکروارگانیسم‌های عامل فساد باعث کاهش ماندگاری گوشت می‌شود (۲۵).

در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده، گاز موردنظر به داخل یک ظرف یا کیسه تزریق می‌شود و سپس آن ظرف یا کیسه، به‌طوری‌که نسبت به گازها نفوذناپذیر باشد، درب‌بندی می‌شود. چنین فضایی می‌تواند بر فلور میکروبی ماده غذایی تأثیر بگذارد و درنتیجه ماندگاری محصول را افزایش دهد (۲۵).

اتمسفر غنی‌شده با دی‌اکسیدکربن قادر به سرکوب میکروارگانیسم‌های عامل فساد هوازی که موجب ایجاد بو و طعم نامطلوب در گوشت مرغ هستند، می‌باشد (۲۶). میکروارگانیسم‌هایی که توسط MAP از رشدشان جلوگیری می‌شود، بیشتر باکتری‌های گرم منفی مانند *سودوموناس* و همچنین مخمرها می‌باشند (۲۷).

حفظ رنگ در ماده غذایی بسیار مهم می‌باشد؛ زیرا اولین عامل جهت تشخیص کیفیت و تازگی در محصول از دید مصرف‌کننده، رنگ آن است؛ بنابراین حفظ رنگ تأثیر بسزایی در خرید محصول توسط مصرف‌کننده دارد.

با استفاده از بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده (MAP)، رنگ گوشت پایدار می‌ماند و در برخی موارد نیز باعث بهبود آن می‌شود. گوشت قرمز و مرغ به علت این‌که از حیوانات خون‌گرم به‌دست می‌آیند، حاوی میکروارگانیسم‌های مختلفی مانند مزوفیل‌ها، سایکروفیل‌ها و باکتری‌های بیماری‌زا هستند که از طریق بافت‌های بدن حیوان مثل پوست، دستگاه گوارش و یا به‌هنگام آماده‌سازی گوشت و از طریق دست انسان آلوده می‌شوند.

اثرات مفید بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده (MAP) با نگهداری محصول در شرایط دمایی نامناسب، به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. هنگامی‌که یک محصول با بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده (MAP) در دمای نامناسب نگهداری شود، واکنش‌های شیمیایی و همچنین رشد میکروارگانیسم‌ها افزایش‌یافته و گاز درون بسته‌بندی تغییر می‌کند و فساد زودتر رخ می‌دهد (۲۸).

MAP می‌تواند ماندگاری گوشت و مرغ را ۴۰۰-۵۰٪ افزایش دهد که همین امر موجب کاهش تلفات شده و اجازه می‌دهد تا توزیع محصولات در مسافت‌های طولانی با حفظ کیفیت بالا امکان‌پذیر باشد. مطالعات در مورد اثر $CO_2$ در کاهش سرعت رشد و سوخت‌وساز میکروارگانیسم‌ها تحت شرایط بی‌هوازی و در فضای سرشار از $CO_2$ مبنای علمی برای توسعه

این فناوری بوده و مشخص شده است که دی‌اکسیدکربن با غلظت ۲۰-۱۰٪ از اتمسفر به‌طور مؤثری مانع از رشد باکتری‌های گرم منفی عامل فساد گوشت می‌شود.

### ۲-۱-۲-۱ گازهای مورداستفاده در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده

گازهای مختلفی در این تکنولوژی استفاده می‌شوند و هرکدام اثرات به‌خصوصی دارند. مهم‌ترین گازها اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و نیتروژن می‌باشند. این گازها عموماً به شکل‌های زیر با یکدیگر ترکیب شده و مورداستفاده قرار می‌گیرند:

۱- محتوای گاز بی‌اثر شامل گاز نیتروژن

۲– محتوای گاز به‌صورت نیمه‌واکنشی شامل ترکیب دی‌اکسیدکربن و نیتروژن یا ترکیب دی‌اکسیدکربن، اکسیژن و نیتروژن

۳– محتوای گاز به‌صورت تمام واکنشی شامل دی‌اکسیدکربن یا ترکیب دی‌اکسیدکربن و اکسیژن.

چند گاز دیگر هم مانند نیتروز (مونوکسید دی‌نیتروژن)، نیتریک‌اکسید، اتان، کلرین، کربن‌مونوکسید و سولفور دی‌اکسید به‌صورت اندک و آزمایشی و با توجه به شرایط و محدودیت‌های امنیتی و نظارتی مورداستفاده قرار می‌گیرند. علاوه براین‌ها گازهای هلیوم، آرگون، زنون و نئون نیز در مورد بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده (MAP) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛ چراکه این گازها بسیار بی‌اثر هستند و به‌عنوان یک پرکننده‌ی عالی عمل می‌کنند (۲۹).

گازی که برای ضدعفونی مرغ و یا تکه‌های گوشت قرمز می‌توان استفاده کرد، گاز دی‌اکسیدکلر می‌باشد. با توجه به قدرت اکسید این گاز، خاصیت ضدمیکروبی، فعالیت در pH بالا و نیز عدم واکنش با مواد آلی، می‌تواند در صنعت گوشت به‌عنوان یک ضدعفونی‌کننده‌ی مناسب استفاده شود (۲۹).

#### ۲-۱-۲-۱-۱ دی‌اکسیدکربن

دی‌اکسیدکربن اغلب بخشی از گاز مخلوط مورد استفاده در محصولات گوشتی تازه بوده و این به دلیل خاصیت ضدمیکروبی آن به‌خصوص در برابر باکتری‌های گرم منفی هوازی مانند

*سودوموناس‌ها* می‌باشد که باعث به تأخیر افتادن فساد ماده غذایی می‌شود. اثر دی‌اکسیدکربن بر میکروارگانیسم‌ها، افزایش فاز تأخیری و همچنین کاهش سرعت رشد در فاز لگاریتمی می‌باشد. این اثر در میکروارگانیسم، بستگی به میزان غلظت گاز موجود در بسته‌بندی، میزان بار اولیه میکروبی و درجه حرارت نگهداری محصول دارد (۵ و ۲۹).

برخی مطالعات نشان داده‌اند که اثر ضدمیکروبی دی‌اکسیدکربن برای محصولاتی که تا ۱۰ درجه سلسیوس ذخیره می‌شوند، نسبت به محصولاتی که در دمای ۱۵ درجه سلسیوس یا بالاتر نگهداری می‌شوند، بالاتر است.

همچنین مطالعات نشان داده‌اند که اثر ضدمیکروبی دی‌اکسیدکربن، ناشی از توانایی آن در عبور از دیواره سلولی و درنتیجه تغییر فرآیند متابولیکی داخل سلولی میکروارگانیسم می‌باشد (۵). توضیحات احتمالی دیگر برای اثر مهاری دی‌اکسیدکربن عبارت است از جذب بستر مورد نظر میکروارگانیسم، تأثیر مستقیم بر آنزیم‌ها و همچنین تغییر در خواص پروتئین‌های میکروارگانیسم. به‌علاوه، این واقعیت نیز وجود دارد که دی‌اکسیدکربن با کاهش pH مانع از رشد میکروارگانیسم در محصول می‌گردد.

همچنین، دی‌اکسیدکربن می‌تواند توسط گوشت جذب شود. این جذب شدن بستگی به دما، pH، فشار گاز دی‌اکسیدکربن، میزان فضای خالی بسته‌بندی، میزان سطح گوشت در دسترس گاز، حجم گوشت و میزان آب و چربی دارد (۵ و ۲۹).

اگرچه غلظت بالای دی‌اکسیدکربن مانع از رشد میکروارگانیسم‌ها می‌گردد، اما از طرف دیگر با ایجاد مت‌میوگلوبین، باعث تیرگی گوشت می‌شود. همچنین به علت تغییر رنگ کمتر آشکار در گوشت مرغ نسبت به گوشت قرمز، می‌توان در گوشت مرغ از غلظت‌های بالای این گاز بدون تغییر رنگ مرغ استفاده کرد.

### ۲-۱-۲-۱-۲ اکسیژن

اکسیژن نقش مهمی را در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده گوشت قرمز ایفا می‌کند. هدف اصلی از اکسیژن در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده (MAP) توسعه و حفظ رنگ قرمز مطلوب گوشت می‌باشد. طبق یافته‌های Kropf (۲۰۰۴) رنگ‌دانه‌های اکسی‌میوگلوبین می‌توانند در فشار اتمسفری معمولی گسترش یابند. بااین‌حال، افزایش میزان سطح اکسیژن

در بسته‌بندی، می‌تواند منجر به افزایش رنگ‌دانه اکسی‌میوگلوبین در سطحی عمیق‌تر شود و این خود باعث افزایش ماندگاری رنگ قرمز گوشت می‌گردد.
مسئله مهم دیگر که توسط Solomon (۲۰۰۴) اعلام شد این است که گوشت تازه بسیار حساس به تغییر رنگ ناشی از سطوح پایین اکسیژن است. فشار پایین اکسیژن باعث گسترش رنگ قهوه‌ای گوشت می‌گردد و این به دلیل تبدیل میوگلوبین به مت‌میوگلوبین می‌باشد. بااین‌حال، افزایش فشار گاز در بسته‌بندی گوشت باعث کاهش کیفیت آن می‌گردد (۲۹).
افزایش فشار اکسیژن می‌تواند باعث افزایش اکسیداسیون چربی و درنتیجه تغییر نامطلوب عطر و طعم گوشت گردد که این تغییر به‌راحتی توسط مصرف‌کننده درک می‌شود (۳۰).
سطح بالای اکسیژن می‌تواند باعث اتصال عرضی (cross-linking) بین مولکولی گردد که این خود سبب کاهش میزان تردی و آبدار بودن گوشت می‌شود؛ همچنین سطح بالای اکسیژن می‌تواند باعث کاهش ارزش غذایی گوشت همراه با از دست دادن اسیدآمینه‌های ضروری گوشت شده و میزان قابلیت هضم آن نیز کاهش یابد (۳۱).
از لحاظ میکروبیولوژی، اکسیژن می‌تواند باعث رشد باکتری‌های هوازی و از طرف دیگر مانع رشد باکتری‌های شدیداً بی‌هوازی گردد. بااین‌حال، حساسیت میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی به اکسیژن تا حد زیادی متفاوت می‌باشد.
دی‌اکسیدکربن خاصیت ضدمیکروبی دارد و گاز اکسیژن نیز سبب حفظ رنگ در محصولات گوشتی تازه، مهار کاهش میزان اکسید تری‌متیل‌آمین ماهی و جلوگیری از تنفس بی‌هوازی محصولات تازه می‌گردد.
رنگ گوشت تازه توسط شرایط وجود میوگلوبین در گوشت مشخص می‌شود. در فقدان اکسیژن، میوگلوبین تبدیل به مت‌میوگلوبین و سبب ایجاد رنگ قهوه‌ای و نامطلوب در گوشت می‌گردد؛ بنابراین، واردکردن اکسیژن (۴۰٪) در هنگام بسته‌بندی باعث می‌شود که میوگلوبین اکسیژنه شده و رنگ قرمز روشن جذابی به گوشت دهد. بااین‌حال، مدت‌زمان ماندگاری این محصول نسبت به گوشت بسته‌بندی‌شده در اتمسفر عاری از اکسیژن کمتر است.

تری‌متیل‌آمین ترکیب فعالی است که مسئول بوی بد و نامطلوب ماهی بوده و در شرایطی که میزان اکسیژن کم باشد (مانند نگهداری در یخ) به وجود می‌آید. بااین‌حال، استفاده از غلظت بالای اکسیژن، احیاء اکسید تری‌متیل‌آمین را به تأخیر انداخته و مدت‌زمان ماندگاری ماهی را افزایش می‌دهد. در صورت بسته‌بندی محصولات تازه، تنفس در آن‌ها ادامه می‌یابد و پیشگیری از تنفس بی‌هوازی در این محصولات از اهمیت بسزایی برخوردار است؛ زیرا تنفس بی‌هوازی سبب ایجاد ترکیباتی نظیر اتانول و استالدهید می‌شود که بوی نامطلوبی دارند. استفاده از اکسیژن در این مورد می‌تواند مفید باشد.

### ۲-۱-۲-۱-۳ نیتروژن

گاز نیتروژن اثر حفاظتی ندارد، بلکه به‌عنوان یک پرکننده عمل کرده و از مچاله شدن بسته‌بندی در حین انحلال دی‌اکسیدکربن در محصول غذایی، جلوگیری می‌نماید. نیتروژن دارای اثرات بسیار کمی بر واکنش‌های متابولیکی در گوشت می‌باشد و این به دلیل حلالیت کم آن در آب و چربی است (۵ و ۲۹).

در بسته‌بندی گوشت، وجود یک گاز جهت پر کردن فضای بسته‌بندی بسیار مفید است؛ زیرا گاز دی‌اکسیدکربن به دلیل قابلیت حلالیت بالا در بافت گوشت، باعث افتادگی و بدشکل شدن بسته‌بندی می‌گردد. گاز نیتروژن در بسته‌بندی‌ها به‌عنوان جایگزین اکسیژن استفاده می‌شود تا ترشیدگی اکسیداتیو را به تعویق بیاندازد و از طرف دیگر مانع رشد میکروارگانیسم‌های هوازی گردد. همچنین باید توجه شود که حذف اکسیژن و جایگزینی نیتروژن می‌تواند شرایط را برای رشد باکتری‌های بی‌هوازی و بی‌هوازی اختیاری مانند *لاکتوباسیلوس‌ها* فراهم کند. بسته‌بندی در اتمسفر ۱۰۰٪ نیتروژن، باعث جلوگیری از ایجاد واکنش‌های شیمیایی و همچنین از دست رفتن عطر و طعم می‌شود و ماندگاری محصول را افزایش می‌دهد. (۲۹).

### ۲-۱-۲-۲ انواع فیلم‌های مورداستفاده در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده

انتخاب مناسب فیلم بسته‌بندی، کلید اصلی فرآیند برای بسته‌بندی مطلوب می‌باشد. کیفیت مواد غذایی در داخل بسته‌بندی، وابسته به خواص مواد بسته‌بندی است. اکثر فیلم‌های بسته‌بندی که برای بسته‌بندی گوشت و مرغ استفاده می‌شوند شامل نایلون، پلی‌استر و پلی‌پروپیلن می‌باشند. با توجه به تقاضای مصرف‌کنندگان برای استفاده از مواد بسته‌بندی سازگار با محیط‌زیست، فیلم‌های بیوپلیمر به‌طور بالقوه ممکن است جایگزین فیلم‌های مصنوعی در بسته‌بندی شوند (۳۲).

برخی از پلاستیک‌هایی که بیشتر در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده (MAP) استفاده می‌شوند شامل پلی‌آمید، پلی‌اتیلن با چگالی کم (LDPE)، پلی‌اتیلن با چگالی بالا (HDPE)، پلی‌اتیلن با چگالی کم خطی (Linear LDPE)، اتیلن‌وینیل‌الکل (EVOH)، اتیلن‌وینیل‌استات (EVA)، پلی‌پروپیلن (OPP)، پلی‌وینیل‌کلراید (PVC)، پلی‌اتیلن‌ترفتالات (PET)، پلی‌وینیلیدین‌کلراید (PVdC) هستند که برخی از آن‌ها در ادامه به‌اختصار توضیح داده می‌شوند (۲۹).

#### ۲-۱-۲-۲-۱ پلی‌آمید (Polyamide (PA)):

پلی‌آمیدها که به نایلون‌ها معروف هستند، دارای گروه قطبی آمید بوده و ویژگی آن‌ها این است که نفوذپذیری بخارآب پایینی دارند. پلی‌آمیدهایی که از زنجیره‌های کربن بزرگ تشکیل‌شده‌اند (< ۶) دارای نقاط ذوب و نفوذپذیری بخارآب پایین‌تری هستند. فیلم PA در برابر حرارت، پایدار و در دماهای پایین، انعطاف‌پذیر و نیز در برابر اسید و مواد قلیایی رقیق، مقاوم هستند(Robertson 2006). این فیلم‌ها از نظر قدرت و مقاومت در برابر سوراخ شدن، سایش و پارگی مورداستفاده قرار می‌گیرند (۲۹).

#### ۲-۱-۲-۲-۲ پلی‌الفین (Polyolefins)

الفین یک نام متداول در پلاستیک بوده که به‌معنی تشکیل‌شده از نفت است و اشاره به موادی دارد که از مشتقات اتیلن و یا پروپیلن می‌باشند. پلی‌الفین شامل پلی‌اتیلن، پلی‌اتیلن

با چگالی کم، پلی‌اتیلن با چگالی بالا، پلی‌اتیلن با چگالی کم خطی و پلی‌پروپیلن می‌باشد (۲۹).

### ۲-۱-۲-۲-۳پلی‌اتیلن (Polyethylene (PE))

پلی‌اتیلن ماده‌ای است که دارای انعطاف‌پذیری بالا بوده و از مقاومت بالا در برابر سرما و خاصیت ضدآب مناسب برخوردار می‌باشد. خواص مکانیکی آن به شدت به درجه زنجیره شاخه‌های آن و همچنین وزن مولکولی پلیمر مرتبط است. علاوه‌براین، PE به اسید و مواد قلیایی مقاوم است اما می‌تواند توسط اسید نیتریک اکسید شود (۲۹).

### ۲-۱-۲-۲-۴ پلی‌اتیلن با چگالی پایین (Low-Density Polyethylene (LDPE))

LDPE نسبت به بخارآب نفوذپذیری پایینی دارد، اما نسبت به گازها نفوذپذیر است و در نتیجه یک مانع ضعیف در برابر مواد معطر و دارای بو بوده و نسبت به روغن‌های اساسی دارای نفوذپذیر خوبی است. LDPE یک ماده قوی و محکم در نظر گرفته می‌شود، زیرا این ماده دارای خاصیت ارتجاعی خوب، مقاومت در برابر پارگی و ضربه می‌باشد. همچنین این ماده در برابر مواد قلیایی و اسیدها و محلول‌های معدنی بسیار مقاوم می‌باشد. با این حال به هیدروکربن‌ها، هیدروکربن‌های هالوژنی، روغن‌ها و چربی‌ها حساس است (۲۹).

### ۲-۱-۲-۲-۵پلی‌اتیلن با چگالی بالا High-Density Polyethylene (HDPE)

HDPE نسبت به LDPE نقطه نرم شدن بالاتری دارد. این مواد نمی‌توانند برای دوخت حرارتی مورد استفاده قرار گیرند. بااین‌حال، این مواد بسته‌بندی قادر هستند در فرم‌های اکسترود شده در لایه بالایی بسته‌بندی قرار گیرند (۲۹).

### ۲-۱-۲-۲-۶پلی‌اتیلن با چگالی پایین خطی (Linear LDPE)

این مواد نسبت به LDPE، دارای سفتی بیشتر، استحکام ضربه‌ای بهتر، مقاومت در برابر پارگی و استحکام کششی بالاتری هستند. این مواد در دماهای بالاتر پایداری بیشتری دارند. همچنین دارای پتانسیل کشیدگی بهتری می‌باشند. بااین‌حال، این مواد دارای اشکالاتی نیز

نسبت به LDPE هستند، مانند احتیاج به دمای بالاتر برای دوخت، براقیت و شفافیت نامطلوب (۲۹).

### ۲-۱-۲-۲-۷اتیلن وینیل الکل (Ethylene Vinyl Alcohol (EVOH))

کوپلیمرهای EVOH به‌راحتی فرآیند می‌شوند و مانعی مناسب در برابر مواد معطر، گازها و حلال‌ها می‌باشند. این مواد دارای کشش مکانیکی بالا، سختی سطحی، و همچنین پایداری حرارتی بالایی می‌باشند. EVOH ممکن است به‌جای ظروف شیشه‌ای و فلزی مورداستفاده قرار گیرد. (۲۹).

## ۲-۲ اثرات بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل‌شده بر ارزش تغذیه ای محصولات فاقد تنفس[1]

با توجه به این‌که در صورت بسته‌بندی در اتمسفر تغییر یافته، مدت زمان نگهداری مواد غذایی ۵۰ تا ۲۰۰٪ افزایش می‌یابد، نتایج تغذیه‌ای آن نیز بایستی مشخص گردد. اطلاعات بسیار اندکی در ارتباط با اثرات بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل‌شده بر ارزش تغذیه‌ای محصولات فاقد تنفس وجود دارد. در بیشتر موارد در بسته‌بندی محصولات فاقد تنفس، اکسیژن از اتمسفر حذف شده و در نتیجه باعث به تأخیر انداختن تخریب اکسیداتیو می‌گردد. همچنین، محصولات غذایی بسته‌بندی شده تحت شرایط اتمسفر تغییریافته، باید منجمد شوند تا گاز دی‌اکسیدکربن حل شده و عمل ضدمیکروبی خود را انجام دهد. در این شرایط دمایی خنک، واکنش‌های تخریب شیمیایی اهمیت بسیار اندکی دارند (۳۳ و ۳۴).

هیچ اطلاعاتی در رابطه با نتایج تغذیه‌ای استفاده از غلظت بالای اکسیژن در اتمسفرهای تغییر یافته در مورد گوشت و ماهی تازه بسته‌بندی شده وجود ندارد. البته ممکن است بعضی از واکنش‌های اکسیداتیو با ترکیبات مهم تغذیه‌ای مانند ویتامین‌ها و اسیدهای چرب غیراشباع اتفاق بیافتد.

[1] -Non- respiring

## ۲-۲-۱ اثرات بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل‌شده بر ارزش تغذیه‌ای میوه‌ها و سبزیجات تازه

نگهداری میوه‌ها و سبزیجات تازه تحت محدوده مطلوب اکسیژن پایین و یا دی‌اکسیدکربن بالا، شدت تنفس و تولید گاز اتیلن توسط آن‌ها را کاهش می‌دهد. اتمسفر کنترل‌شده مطلوب، کاهش میزان کلروفیل، بیوسنتز کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها و بیوسنتز و اکسیداسیون ترکیبات فنلی را به تأخیر می‌اندازد. به‌طورکلی، اتمسفر کنترل شده از طریق مهار کاهش اسیدیته، تبدیل نشاسته به قند و بیوسنتز مواد فرّار آروماتیک به‌ویژه استرها، کیفیت طعم و مزه مواد غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اطلاعات اندکی در ارتباط با اثرات بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل شده بر حفظ مواد مغذی در مدت زمان نگهداری وجود دارد. در مباحث آتی به اثرات بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل شده بر آنتی‌اکسیدان‌های مرتبط با کیفیت تغذیه‌ای میوه‌ها و سبزیجات، شامل ویتامین C، کاروتنوئیدها، ترکیبات فنلی و گلوکوزینولات‌ها اشاره می‌شود (۳۷ و ۳۹).

### ۲-۲-۱-۱ ویتامین C

آسیب‌پذیری میوه‌ها و سبزیجات مختلف در برابر به هدر رفتن اکسیداتیو اسید اسکوربیک، متفاوت است. میوه‌های دارای pH پایین (مثل مرکبات) نسبتاً پایدارند، درحالی‌که میوه‌های نرم (مثل توت فرنگی و تمشک) دستخوش تغییرات سریع می‌گردند. سبزیجات برگی (مثل اسفناج) در برابر فساد و اتلاف اسید اسکوربیک بسیار حساس می‌باشند، درحالی‌که سبزیجات ریشه‌ای (مثل سیب‌زمینی) کیفیت و نیز اسید اسکوربیک را تا مدت‌ها حفظ می‌کنند.

کاهش درجه حرارت و غلظت اکسیژن به حفظ ویتامین C میوه‌ها و سبزیجات کمک می‌کند. بااین‌حال، در مطالعه‌ای نشان داده‌شده است که میزان اسید اسکوربیک در غلظت‌های اکسیژن بسیار پایین (ULO[1]) کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر، افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بالاتر از یک حد آستانه معین، اثرات معکوسی بر محتوای ویتامین C دارد. گزارش شده است که اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر محتوای اسید اسکوربیک در مواد

[1] -Ultra low oxygen

غذایی گوناگون متفاوت است و به میزان دی‌اکسیدکربن، درجه حرارت و مدت‌زمان نگهداری بستگی دارد. در محصولاتی که به تازگی برش داده شده‌اند نیز وجود غلظت بالای دی‌اکسیدکربن باعث تخریب ویتامین C می‌شود.

افزایش اتلاف ویتامین C در پاسخ به غلظت دی‌اکسیدکربن بالاتر از ۱۰٪ می‌تواند ناشی از اثر تحریکی بر اکسیداسیون اسید اسکوربیک و یا مهار احیاء دهیدروکسید اسکوربیک به اسید اسکوربیک باشد. همچنین احیاء اسید اسکوربیک و افزایش دهیدروکسید اسکوربیک نشان می‌دهد که دی‌اکسیدکربن، اکسیداسیون اسید اسکوربیک را توسط اسکوربات پراکسیداز تحریک می‌کند. فعالیت اسکوربات پراکسیداز در حضور اتیلن نیز افزایش می‌یابد.

دی‌اکسیدکربن در غلظت‌های مضر، از طریق افزایش تولید اتیلن و در نتیجه فعالیت اسکوربات پراکسیداز، میزان اسید اسکوربیک را کاهش می‌دهد. اسکوربات اکسیداز کدوسبز که اکسیداسیون اسید اسکوربیک به دهیدرو اسید اسکوربیک را کاتالیز می‌کند، ناپایدار بوده و در pH زیر ۴ فعالیت خود را از دست می‌دهد. این مسأله می‌تواند محتوای پایین دهیدرو اسید اسکوربیک توت فرنگی (pH=۳/۴ -۳/۷) و محتوای بالای آن در خرمالو (pH=۵/۴-۶) و نیز اتلاف اسید اسکوربیک برخی سبزیجات در pH نزدیک به خنثی را در مدت‌زمان نگهداری توجیه نماید.

برای بسیاری از محصولات، ۴ الی ۱۱ کیلوپاسکال اکسیژن موجب کاهش سرعت نابودی ویتامین C می‌گردد. همچنین تأثیر دی‌اکسیدکربن بر روی این ویتامین می‌تواند وابسته به نوع محصول، غلظت دی‌اکسیدکربن، دما و زمان نگهداری، مثبت یا منفی باشد.

مطالعات نشان داده است میزان ویتامین C در سیب‌های نگهداری شده در اتمسفر دارای غلظت کم اکسیژن، کاهش می‌یابد.

همچنین میزان ویتامین C در میوه کیوی تازه برش داده‌شده در فشارهای ۰/۵ تا ۴ کیلوپاسکال در دمای صفر درجه سلسیوس در طی ۱۲ روز تا میزان ۱۸درصد کاهش می‌یابد؛ همچنین با افزایش میزان فشار اکسیژن تا ۲۰ کیلوپاسکال، میزان ویتامین C ۳۴درصد کاهش یافته است.

به‌طورکلی غلظت بالای دی‌اکسیدکربن نیز باعث کاهش میزان ویتامین C در میوه کیوی تازه برش‌داده شده است که علت آن نیز احتمالاً به دلیل تحریک اکسیداسیون ویتامین C و یا ممانعت از احیاء دهیدروآسکوربیک اسید به ویتامین C است.
همچنین محققین گزارش نموده‌اند میزان ویتامین C در سیب، کشمش و گلابی، توت‌فرنگی و توت سیاه نیز در شرایط مشابه کاهش می‌یابد.
همچنین نتایج مشابهی برای فلفل شیرین نگهداری شده در اتمسفر دارای غلظت بالای دی‌اکسیدکربن گزارش گردیده است؛ ولی میزان ویتامین C برای کلم بروکلی، در شرایط مشابه افزایش نشان داد.
البته بایستی اضافه نمود کاهش میزان اکسیژن در اتمسفر دارای دی‌اکسیدکربن، تأثیر بسیار کمی بر روی میزان محتوای ویتامین C دارد؛ ولی غلظت بالای دی‌اکسیدکربن می‌تواند به‌وسیله فعالیت اسکوربات پراکسیداز موجب کاهش میزان ویتامین C در مواد غذایی بسته‌بندی‌شده تحت شرایط اتمسفر کنترل‌شده گردد.
همچنین محققین گزارش نموده‌اند میزان ویتامین C باقی‌مانده در گل‌کلم، سیب‌زمینی و اسفناج در بسته‌بندی‌های اتمسفر کنترل‌شده و اصلاح‌شده دارای میزان دی‌اکسیدکربن و اکسیژن بالا، بسیار بیشتر از بسته‌بندی‌های هوای معمولی می‌باشد.
به‌طورکلی، می‌توان گفت اتلاف ویتامین C پس از برداشت محصول و ذخیره میوه‌ها و سبزیجات در اتمسفری با اکسیژن پایین و یا دی‌اکسیدکربن تا ۱۰٪ کاهش می‌یابد؛ ولی اگر غلظت دی‌اکسیدکربن بالا باشد، شرایط اتمسفر کنترل شده اثر مفیدی بر ویتامین C نخواهد داشت (۳۸، ۳۷ و ۳۵).

### ۲-۲-۱-۲ ویتامین A

میوه و سبزی‌های تازه منبع بسیار مهمی برای پیش‌سازهای ویتامین A نظیر کارتنوئیدها، محسوب می‌شوند. اتمسفر کنترل‌شده به دلیل این‌که رسیدن میوه‌ها را به تأخیر می‌اندازد، مانع سنتز کارتنوئیدهایی نظیر لیکوپن در گوجه‌فرنگی و یا بتاکاروتن در انبه می‌شود؛ اما این رنگ‌دانه در زمان انتقال محصول در هوای معمولی، تولید می‌شود. محققین گزارش نموده‌اند اتمسفر با اکسیژن پایین موجب حفظ بهتر کاروتن در هویج می‌شود، ولی دی‌اکسیدکربن در

فشار ۵ کیلوپاسکال موجب کاهش این پیش‌ساز ویتامین A می‌گردد؛ درحالی‌که اگر این میزان دی‌اکسیدکربن مقداری بیشتر گردد باعث ایجاد مقدار بیشتری از آن می‌گردد. همچنین میزان کاروتن در تره‌فرنگی نگهداری شده دارای دی‌اکسیدکربن و اکسیژن، بسیار بیشتر از نگهداری آن در هوا گزارش شده است. همچنین گزارش شده است میزان حفظ کاروتن در این محصول در شرایط MAP و هوا به ترتیب ۹۲ و ۵۲ درصد بوده است.

### ۲-۲-۱-۳ کاروتنوئیدها

کاروتنوئیدها در غشاءها (به‌صورت میکروکریستال) و در اتصال با پروتئین‌ها و یا در داخل قطرات روغن وجود دارند و در برابر pH اسیدی، اکسیژن و نور ناپایدارند. تاکنون اثرات اتمسفرهای تغییر یافته بر محتوای کاروتنوئید میوه‌های سالم مورد مطالعه قرار نگرفته است. به‌طورکلی، اتمسفرهای تغییریافته شامل اکسیژن پایین یا دی‌اکسیدکربن بالا، اتلاف پرو‌ویتامین A را کاهش داده و بیوسنتز کاروتنوئیدها را مهار می‌کنند. کاهش اکسیژن باعث حفظ کاروتن هویج می‌شود (۳۵ و ۳۴).

### ۲-۲-۱-۴ ترکیبات فنلی

این ترکیبات به علت دارا بودن ویژگی حذف رادیکال‌های آزاد گروه‌های هیدروکسیل، به‌عنوان مواد آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند. بااین‌حال، مطالعات انجام‌شده تنها اثرات بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل شده را بر خواص ظاهری این ترکیبات مورد بررسی قرار داده‌اند و مطالعات بسیار اندکی در زمینه تأثیر بر کیفیت تغذیه‌ای انجام گرفته است. به‌طورکلی، افزایش در میزان ترکیبات فنلی با افزایش ارزش تغذیه محصولات گیاهی رابطه مستقیمی دارد.

اتمسفر کنترل شده با استفاده از به تأخیر انداختن در رسیدن میوه‌ها، باعث تأخیر در تولید آنتوسیانین‌ها در برخی از محصولات نظیر هلو نیز می‌شود. گزارش شده است حضور دی‌اکسیدکربن تأثیر بسیار کمی بر روی آنتوسیانین‌های قسمت خارجی تمشک و توت‌فرنگی دارد؛ ولی باعث کاهش بسیار زیادی در قسمت بافت داخلی آن می‌گردد که می‌تواند ناشی از تأثیر دی‌اکسیدکربن بر میزان pH قسمت داخلی میوه گردد.

همچنین Allende و همکاران در سال ۲۰۰۷ گزارش نمودند کاهش میزان ترکیبات فنلی و ویتامین C در توت‌فرنگی نگهداری‌شده در اتمسفر دارای دی‌اکسیدکربن و اکسیژن بسیار کمتر از نگهداری آن در شرایط هوای معمولی است.

خواص تغذیه‌ای ارگانولپتیک میوه‌ها و سبزیجات به شدت تحت تأثیر رنگدانه‌های قهوه‌ای قرار می‌گیرد. قهوه‌ای شدن اکسیداتیو عمدتاً ناشی از آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز است که هیدرکسیلاسیون مونوفنل‌ها را به O–دی‌فنل‌ها و در مرحله دوم، اکسیداسیون O–دی‌فنل کمتر رنگی را به O-کینون رنگی کاتالیز می‌کند. O-کینون‌ها به‌صورت غیرآنزیمی پلیمریزه شده و پیگمان‌های سیاه، قهوه‌ای یا قرمز رنگی را که ملانین نامیده می‌شوند، بوجود می‌آورند که کیفیت تغذیه‌ای و ارگانولپتیک را کاهش می‌دهند. اتمسفرهای کنترل‌شده و بسته‌بندی در اتمسفرهای کنترل شده می‌توانند به‌طور مستقیم ترکیبات فنلی را تحت تأثیر قرار دهند. اتمسفرهایی با غلظت بالای دی‌اکسیدکربن (۲۰٪ <) که به‌منظور جلوگیری از فساد و افزایش مدت‌زمان ماندگاری توت‌فرنگی مورداستفاده قرار می‌گیرند، باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در محتوای آنتوسیانین قسمت داخلی بافت می‌شوند. این کاهش رنگ را با کاهش فعالیت آنزیم‌های مهم دخیل در بیوسنتز آنتوسیانین، فنیل‌آلانین آمونیالیاز[1] و گلوکوزیل ترانسفراز[2] مرتبط می‌دانند.

غلظت متوسط دی‌اکسیدکربن (۱۰٪)، مدت‌زمان نگهداری انار را افزایش داده و کیفیت و رنگ قرمز آن را حفظ می‌کند. بااین‌حال، انواعی که در حضور هوا نگهداری می‌شوند رنگ قرمز تیره‌تری دارند.

همچنین، اتمسفرهای تغییریافته اثر مثبتی بر کیفیت مرتبط با فنلی دارند. به‌عنوان‌مثال، پیشگیری از قهوه‌ای شدن کاهویی که تحت کمترین فرآیند[3] قرارگرفته است.

بعلاوه، اتمسفر کنترل‌شده در بسته‌بندی کاهوی قرمزی که تحت کمترین فرآیند قرار گرفته است، محتوای فلاونول و آنتوسیانین آن را کاهش می‌دهد. افزایش فنیل پروپانوئیدهای محلول مشاهده شده در رگبرگ‌های کاهوی قرمزی که تحت کمترین فرآیند قرارگرفته است

---

[1] -Phenylalanine ammonialyase
[2] -Glucosyltransferase
[3] -Minimally processed

پس از نگهداری در حضور هوا، در بسته‌بندی در اتمسفر کنترل‌شده دیده نمی‌شود. قهوه‌ای شدن غیرطبیعی نیز در میوه‌های ذخیره شده در غلظت‌های پایین اکسیژن مشاهده می‌شود. تیمار بلند مدت در حضور نیتروژن خالص، سطوح قهوه‌ای رنگ را در میوه‌ها افزایش می‌دهد که در صورت مواجهه مجدد با هوا به‌سرعت فاسد می‌شوند.

### ۲-۲-۱-۵ گلوکوزینولات‌ها

سبزیجات خانواده بروسیکا[1] مانند کلمبروکلی و گل‌کلم منابع غذایی مهم گروهی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی می‌باشند که با نام گلوکوزینولات‌ها شناخته می‌شوند. گلوکوزینولات‌های حاوی سولفور نیز جزو گلوکوزیدها می‌باشند و توسط آنزیم گیاهی اندوژن میروزیناز[2] (تیوگلوکوزید گلوکوهیدرولاز[3]) هیدرولیز می‌شوند. میروزیناز و گلوکوزینولات‌ها در سلول‌های گیاهی به‌صورت جدا از هم قرار دارند؛ بنابراین، هیدرولیز تنها زمانی اتفاق می‌افتد که سلول‌ها در اثر بریدن یا جویدن آسیب ببینند. هیدرولیز باعث تجزیه بیشتر گلوکوزینولات به ایزوتیوسیانات، نیتریل، تیوسیانات، اندول و اگزازولیدین تیون[4] می‌شود. محصولات تجزیه گلوکوزینولات‌ها باعث ایجاد خصوصیات طعم و مزه سبزیجات بروسیکا می‌گردد. میزان گلوکوزینولات سبزیجات بروسیکا به گونه گیاهی، شرایط و زمان برداشت و شرایط آب و هوایی بستگی دارد. نگهداری و فرایند سبزیجات نیز می‌تواند به شدت محتوای گلوکوزینولات را تحت تأثیر قرار دهد. فرآیندهایی نظیر تکان دادن، پختن و انجماد سبب هیدرولیز گلوکوزینولات‌ها شده و ترکیب محصول نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۳۵ و ۳۴).

نگهداری کلم سفید و قرمز تا سه ماه در درجه حرارت $4\ ^{\circ}C$ محتوای گلوکوزینولات را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. با وجود این‌که اطلاعات اندکی در مورد اثرات بسته‌بندی در اتمسفر کنترل‌شده بر گلوکوزینولات سبزیجات بروسیکا وجود دارد، افزایشی در میزان گلوکوزینولات کلم بروکلی ذخیره شده در حضور هوا و اتمسفر کنترل‌شده گزارش شده است؛ درحالی‌که فقدان اکسیژن به همراه دی‌اکسیدکربن (۲۰٪) باعث کاهش در میزان آن می‌شود.

---

[1] -Brassica
[2] -Myrosinase
[3] -Thioglucoside glucohydrolase
[4]-Oxazolidinethiones

از اتمسفرهای کنترل‌شده برای نگهداری محصولات غذایی در انبارها نیز استفاده می‌کنند. گازهایی که در این اتمسفرها به‌کار می‌روند، اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، ازت و گازاتیلن می‌باشند.

میکروارگانیسم‌ها و اغلب گیاهان آلی قادر به سنتز گاز اتیلن ($C_2H_4$) می‌باشند. از این گاز برای رساندن محصولات کشاورزی استفاده می‌شود و به آن هورمون رساندن نیز می‌گویند.

منابع تولید اتیلن کپسول تجاری، بخش زائد محصولاتی که اتیلن تولید می‌کنند، سوختن ناقص هیدروکربن‌ها، موتورهای بنزینی، لامپ‌های فلورسانت، میکروارگانیسم‌ها و میوه‌های در حال رسیدن می‌باشند.

از گاز اتیلن برای عمل سبززدایی مرکبات و موز استفاده می‌شود. در اثر گاز اتیلن آنزیم کلروفیلاز فعال می‌شود؛ کلروفیل شکسته شده و کاروتنوئیدها ایجاد می‌شوند. زمان اتیلن‌دهی نیز باید کنترل شود؛ زیرا در صورت استفاده زیاد، سبب له شدن بافت، رشد میکروارگانیسم‌ها و کپک در ماده غذایی می‌گردد.

اتیلن برای نگهداری محصولات غذایی مناسب نیست. به‌عنوان‌مثال، سیب خود اتلین تولید می‌کند. سیب دارای اسیدآمینه میتونین است و میتونین عامل ایجاد اتیلن می‌باشد؛ بنابراین می‌تواند محصولات دیگر موجود در انبار را تحت‌الشعاع قرار دهد؛ مثلاً لوبیا سبز و خیار در حضور اتلین زرد می‌شوند.

برای از بین بردن اتیلن در انبار، از جاذب اتیلن استفاده می‌شود. به‌عنوان‌مثال، پرمنگنات پتاسیم که مقدار زیادی از اتیلن را جذب می‌کند.

گاز اتیلن در مورد توت‌فرنگی هم بسیار مضر است؛ زیرا بافت آن را له کرده و زمینه را برای رشد کپک‌ها مساعد می‌نماید. اتیلن سبب واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی بر روی برگ‌های کاهو می‌شود (روی رگبرگ‌ها). همچنین، باعث تجمع نشاسته در کیوی شده و لکه‌های سفیدرنگ ایجاد می‌کند. در گریپ‌فروت نیز لکه‌های کرمی رنگ ایجاد می‌کند.

برای از بردن و جلوگیری از افزایش اتیلن می‌توان از مواد جاذب، لامپ U.V ازن (که اتیلن را اکسید می‌کند) و تخلیه هوا استفاده نمود.

دی‌اکسیدکربن بر روی میوه‌های رسیده اثر زیادی ندارد. اثر دی‌اکسیدکربن بر موز نارس در جدول ۲-۱ نشان داده شده است. هرچه غلظت $CO_2$ بیشتر باشد، تخریب ویتامین C بیشتر

خواهد بود. هنگامی که غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد، به علت قابلیت نفوذ بالا، وارد بافت میوه شده، با آب ترکیب می‌شود، pH را تغییر داده و محیط را اسیدی می‌کند. سپس اسکوربیک اکسیداز و اسکوربیک پراکسیداز فعال شده و ویتامین C تخریب می‌شود. از گاز دی‌اکسیدکربن و اکسیژن برای نگهداری سیب نیز استفاده می‌شود.

جدول ۲-۱- اثر دی‌اکسیدکربن بر ویتامین C موز نارس

| ٪ غلظت دی‌اکسیدکربن | ٪ کاهش ویتامین C |
|---|---|
| ۳-۵ | ۱۰-۲۰ |
| ۸ | ۳۰-۵۰ |
| ۲۴ | ۴۲-۸۰ |
| ۶۰ | ۶۰-۸۵ |

در فضاهای کنترل‌شده، از بعضی از ترکیبات دودزا مانند دی‌اکسیدگوگرد برای نگهداری محصولات کشاورزی در اتمسفر کنترل‌شده استفاده می‌شود. دی‌اکسیدگوگرد وارد میکروارگانیسم‌ها شده و آن را تخریب می‌کند، pH را تغییر داده، پروتئین‌ها را منعقد کرده و سلول را از بین می‌برد. در اثر دی‌اکسیدگوگرد، مواد مغذی توسط میکروارگانیسم‌ها جذب نمی‌شوند.

دی‌اکسیدگوگرد با آنزیم‌ها نیز می‌تواند واکنش دهد، زیرا قدرت نفوذ بالایی دارد؛ بنابراین، غلظت آن باید کنترل شود. دی‌اکسیدگوگرد با آنزیم‌های گروه متولاز واکنش داده، باعث کاهش فعالیت آنزیم‌ها شده و قهوه‌ای شدن آنزیمی را مهار می‌کند.

برای انگور از غلظت ۱٪ دی‌اکسیدگوگرد از اتمسفر و زمان ۳۸-۱۰ دقیقه استفاده می‌شود که البته به آلودگی انگور بستگی دارد. دما هم باید بین ۱ تا ۱- درجه سلسیوس باشد. با افزایش غلظت دی‌اکسیدگوگرد، رنگدانه انگور کم‌رنگ‌تر می‌شود، زیرا آنتوسیانین‌ها شکسته می‌شوند. میزان تیامین نیز کاهش می‌یابد، اما ویتامین C حفظ می‌شود. بسیاری از سیب‌ها این شرایط را تحمل نمی‌کنند و از درون قهوه‌ای می‌شوند (۳۷، ۳۸، ۳۹).

به‌طورکلی گزارش شده است که استفاده از تیمارهای گازی باعث حفظ بهتر ترکیبات آلی میوه و سبزی‌ها می‌گردد. Belles و همکاران در سال ۲۰۱۷ گزارش نمودند اتمسفر اصلاح شده دارای ۷۰درصد اکسیژن و ۳۰درصد دی‌اکسیدکربن، موجب حفظ بیشتر ویتامین E اضافه شده به گوشت بره در مقایسه با نگهداری در بسته‌بندی معمولی شده است (۴۱).
Nayara و همکاران نیز در سال ۲۰۱۷ اعلام نمودند میزان ویتامین C باقی‌مانده در سبزی‌های نگهداری‌شده تحت شرایط MAP، بیشتر از تیمارهای نگهداری‌شده در هوا بوده است (۴۰).
Dambar و همکاران در سال ۲۰۱۷ گزارش نمودند استفاده از ۵ درصد اکسیژن و ۲۰ درصد دی‌اکسیدکربن موجب حفظ ترکیبات فنلی و بهبود خواص حسی سبزی‌ها نسبت به نگهداری در شرایط هوا شده است (۴۲).

### ۲-۲-۲ بررسی تأثیر بسته‌بندی‌های کنترل‌شده بر روی انواع میوه‌ها و صیفی‌جات

در این قسمت تأثیرات مختلف استفاده از تغییرات شرایط اتمسفری بر روی برخی میوه‌ها و صیفی‌جات که تحت این شرایط همراه با برخی مواد بسته‌بندی شده‌اند، به‌صورت مروری بررسی می‌گردد (۴۳).

#### ۲-۲-۲-۱ سیب

کاهش میزان تنفس و تولید دی‌اکسیدکربن و اتیلن، کنترل قهوه‌ای شدن، حفظ خصوصیات ظاهری، کاهش از دست دادن آب، حفظ بافت و ممانعت از آلودگی میکروبی، حفظ آنتی‌اکسیدان‌ها و ویتامین C

#### ۲-۲-۲-۲ کنگر فرنگی

کاهش از دست دادن آب، حفظ ویتامین C و ترکیبات فنلی، مانعت از قهوه‌ای شدن، حفظ خصوصیات ظاهری و توانایی آنتی‌اکسیدانی

**۲-۲-۲-۳ موز**

ممانعت از قهوه‌ای شدن، حفظ آب، وزن و خصوصیات ظاهری به مدت ۹ روز

**۲-۲-۲-۴ کلم بروکلی**

کاهش میزان شمارش باکتری‌های مزوفیل، سرمادوست، *کلی‌فرم* و *اشرشیاکلی* و کنترل رشد *لیستریا مونوسیتوژنز*، کنترل قهوه‌ای شدن و حفظ خصوصیات ظاهری

**۲-۲-۲-۵ کلم**

ممانعت از رشد میکروبی و همچنین رشد *اشرشیاکلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس*

**۲-۲-۲-۶ هویج**

ممانعت از قهوه‌ای شدن و رشد *انتروباکتریاسه*، *سودوموناس* و باکتری‌های *اسیدلاکتیک*، حفظ بافت و ممانعت از سفید شدن سطحی، حفظ خصوصیات عطر و طعم و همچنین حفظ ترکیبات فنلی

**۲-۲-۲-۷ بادمجان**

ممانعت از فعالیت آنزیم‌های قهوه‌ای شدن و حفظ کیفیت ظاهری

**۲-۲-۲-۸ کیوی**

کنترل از دست دادن آب، کنترل نرخ تنفس، حفظ خصوصیات عطروطعم، کاهش میزان تولید اتیلن و دی‌اکسیدکربن، افزایش ماندگاری

**۲-۲-۲-۹ کلم‌قمری**

حفظ خصوصیات ظاهری

**۲-۲-۲-۱۰ کاهو**

حفظ بافت و قوام، حفظ ویتامین C، کاهش نرخ تنفس، ممانعت از تخمیر بی‌هوازی، کاهش قهوه‌ای شدن آنزیمی

**۲-۲-۲-۱۱ انبه**

ممانعت از قهوه‌ای شدن، حفظ خصوصیات عطر و طعم، ممانعت از رشد قارچ‌ها، کاهش نرخ تنفس، کاهش قهوه‌ای شدن و بدطعمی

**۲-۲-۲-۱۲خربزه و هندوانه**

کنترل قهوه‌ای شدن، حفظ خصوصیات ظاهری، ممانعت از تولید اتیلن، کاهش تولید دی‌اکسیدکربن، کاهش رشد باکتری‌های سرمادوست، مزوفیل‌ها و قارچ‌ها، ممانعت از تخمیر بی‌هوازی، حفظ بافت و کاهش رشد باکتری‌های تلقیح شده مانند *سالمونلا انتریتیدیس* و حفظ رنگ

**۲-۲-۲-۱۳ سالاد مخلوط سبزی‌ها**

ممانعت از رشد باکتری‌های *اسیدلاکتیک* و *انتروباکتریاسه*

**۲-۲-۲-۱۴قارچ**

ممانعت از قهوه‌ای شدن، ممانعت از رشد میکروبی، ممانعت از فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز و حفظ بافت

**۲-۲-۲-۱۵ هلو**

کنترل قهوه‌ای شدن و کنترل رشد میکروبی

**۲-۲-۲-۱۶پاپایا**

حفظ رطوبت، ممانعت از رشد میکروبی، حفظ بافت، رنگ، ویتامین C و بتا کاروتن، ممانعت از رشد باکتری‌های هوازی، سرمادوست، کپک و مخمرها و درنهایت افزایش ماندگاری

**۲-۲-۲-۱۷ گلابی**

کنترل و ممانعت از قهوه‌ای شدن، تولید اتیلن و کاهش میزان دی‌اکسیدکربن، حفظ خصوصیات ظاهری، ممانعت از رشد میکروبی نظیر باکتری‌های سرمادوست، کپک و مخمرها، افزایش تولید ترکیبات فنلی و آنتوسیانین‌ها

**۲-۲-۲-۱۸ فلفل**

کنترل رشد مزوفیل‌ها، باکتری‌های سرمادوست و انتروباکتریاسه، کاهش نرخ تنفس و حفظ ویتامین C

**۲-۲-۲-۱۹خرمالو**

کاهش قهوه‌ای شدن، صدمه به بافت در طی نگهداری، افزایش ماندگاری، کنترل و کاهش بار میکروبی نظیر باکتری‌های مزوفیل و باکتری‌های تلقیح‌شده مانند *اشرشیاکلی*، *سالمونلا انتریتیدیس* و *لیستریا مونوسیتوژنز* (در حضور نیسین) و حفظ خصوصیات ظاهری

**۲-۲-۲-۲۰آناناس**

حفظ خصوصیات ظاهری، کنترل بار میکروبی مانند *اشرشیاکلی* و *ساکارومایسس سرویزیه*، باکتری‌های سرمادوست و قارچ‌ها، کاهش نرخ تنفس و تولید اتیلن، کاهش میزان ترکیبات فنلی و ویتامین C، ترمیم صدمات وارد شده در حین نگهداری، حفظ رنگ و pH

**۲-۲-۲-۲۱انار**

کاهش میزان آنتوسیانین، افزایش ماندگاری، کاهش بار میکروبی

**۲-۲-۲-۲۲ دارابی**

ممانعت از رشد میکروبی و قارچ‌ها

**۲-۲-۲-۲۳ سیب‌زمینی**

ممانعت از تخمیر بی‌هوازی

**۲-۲-۲-۲۴ چغندر قرمز**

ممانعت از رشد باکتری‌های سرمادوست و مزوفیل

**۲-۲-۲-۲۵ اسفناج**

کاهش رشد باکتری‌های مزوفیل و سرمادوست مانند *سودوموناس*، کنترل قهوه‌ای شدن و حفظ خواص ظاهری

**۲-۲-۲-۲۶ توت‌فرنگی**

ممانعت از رشد میکروبی نظیر مزوفیل، باکتری‌های سرمادوست و قارچ‌ها و حفظ رنگ

**۲-۲-۲-۲۷ گوجه‌فرنگی**

حفظ ویتامین C، حفظ و یا افزایش ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و کارتنوئیدها، کاهش ویتامین C و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

## ۲-۳منابع


۱- قنبرزاده، ب.، پزشکی نجف آبادی، ا. و الماسی، ه.(۱۳۹۰). فیلم‌های فعال در بسته‌بندی مواد غذایی، فصلنامه علوم وصنایع غذایی، دوره ۸، شماره ۳۱، صفحات ۱۳۴-۱۲۳.

2- Ghanbarzadeh, B., & Oromiehi, A. R. (2008). Biodegradable biocomposite films based on whey protein and zein: Barrier, mechanical properties and AFM analysis. *International journal of biological macromolecules*, *43*(2), 209-215.

3- Ghanbarzadeh, B., & Oromiehi, A. R. (2008). Studies on glass transition temperature of mono and bilayer protein films plasticized by glycerol and olive oil. *Journal of Applied Polymer Science*, *109*(5), 2848-2854.

4- Yam, K. L., Takhistov, P. T., & Miltz, J. (2005). Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of food science*, *70*(1).

5- Yahia, E. M. (Ed.). (2009). *Modified and controlled atmospheres for the storage, transportation, and packaging of horticultural commodities*. CRC press.

6- Gander, P. (2007). The smart money is on intelligent design. *Food Manufacture UK*, *1*.

7- Huff, K. (2008). Active and intelligent packaging: innovations for the future. *Department of Food Science & Technology. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Va*, 1-13.

8- Robertson, G. L. (2016). *Food packaging: principles and practice*. CRC press.

9- Chen, J., & Brody, A. L. (2013). Use of active packaging structures to control the microbial quality of a ready-to-eat meat product. *Food Control*, *30*(1), 306-310.

10- Quintavalla, S., & Vicini, L. (2002). Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat science*, *62*(3), 373-380.

11- Appendini, P., & Hotchkiss, J. H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *3*(2), 113-126.

12- Mortazavian, A. M., Azizi, H. and Sohrabvandi, S. (2009). A review: Applicatinal edible films in food. Iranian Journal of Food Science and Technology. Accepted for publication

13- Liu, C. C., Tellez-Garay, A. M., & Castell-Perez, M. E. (2004). Physical and mechanical properties of peanut protein films. *LWT-Food Science and Technology*, *37*(7), 731-738.

14- Figueiró, S. D., Góes, J. C., Moreira, R. A., & Sombra, A. S. B. (2004). On the physico-chemical and dielectric properties of glutaraldehyde crosslinked galactomannan–collagen films. *Carbohydrate polymers*, *56*(3), 313-320.

15- Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*, *14*(3), 71-78.

16- Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry. *LWT-Food Science and Technology*, *43*(6), 837-842.

17- Ghanbarzadeh, B., Oromiehie, A. R., Musavi, M., D-Jomeh, Z. E., Rad, E. R., & Milani, J. (2006). Effect of plasticizing sugars on rheological and thermal properties of zein resins and mechanical properties of zein films. *Food research international*, *39*(8), 882-890.

18- Lee, K. Y., Shim, J., & Lee, H. G. (2004). Mechanical properties of gellan and gelatin composite films. *Carbohydrate Polymers*, *56*(2), 251-254.

19- Vásconez, M.B., Flores, S.K., Campos, C.A., Alvarado, J., Gerschenson, L.N. (2009). "Antimicrobial activity and physical properties of chitosan–tapioca starch based edible films and coatings". Food Research International, 42, 7, pp. 762-769.

20- Campos, C. A., Gerschenson, L. N., & Flores, S. K. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, *4*(6), 849-875.

21- Khalil, H. A., Bhat, A. H., & Yusra, A. I. (2012). Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: A review. *Carbohydrate Polymers*, *87*(2), 963-979.

22- Chiavaro, E., Zanardi, E., Bottari, B., & Ianieri, A. (2008). Efficacy of different storage practices in maintaining the physicochemical and microbiological properties of fresh pork sausage. *Journal of muscle foods*, *19*(2), 157-174.

23- Paramithiotis, S., Skandamis, P. N., & Nychas, G. J. E. (2009). Insights into fresh meat spoilage. In *Safety of meat and processed meat* (pp. 55-82). Springer New York.

24- McMillin, K. W. (2008). Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat science*, *80*(1), 43-65.

25- Latou, E., Mexis, S. F., Badeka, A. V., Kontakos, S., & Kontominas, M. G. (2014). Combined effect of chitosan and modified atmosphere packaging for shelf life extension of chicken breast fillets. *LWT-Food Science and Technology*, *55*(1), 263-268.

26- Zhao, Y., Wells, J. H., & McMILLIN, K. W. (1994). Applications of dynamic modified atmosphere packaging systems for fresh red meats. *Journal of Muscle Foods*, *5*(3), 299-328.

27- Chouliara, E., Karatapanis, A., Savvaidis, I. N., & Kontominas, M. G. (2007). Combined effect of oregano essential oil and modified atmosphere packaging on shelf-life extension of fresh chicken breast meat, stored at 4 C. *Food Microbiology*, *24*(6), 607-617.

28- Limbo, S., Torri, L., Sinelli, N., Franzetti, L., & Casiraghi, E. (2010). Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures. *Meat science*, *84*(1), 129-136.

29- Arvanitoyannis, I. S., & Stratakos, A. C. (2012). Application of modified atmosphere packaging and active/smart technologies to red meat and poultry: a review. *Food and Bioprocess Technology*, *5*(5), 1423-1446.

30- Campo, M. M., Nute, G. R., Hughes, S. I., Enser, M., Wood, J. D., & Richardson, R. I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, *72*(2), 303-311.

31- Lund, M. N., Heinonen, M., Baron, C. P., & Estevez, M. (2011). Protein oxidation in muscle foods: A review. *Molecular nutrition & food research*, *55*(1), 83-95.

32- Han, J. H. (2005). New technologies in food packaging: Overiew. In *Innovations in food packaging* (pp. 3-11).

33- Karmas, E., & Harris, R. S. (2012). *Nutritional evaluation of food processing*. Springer Science & Business Media.

34- Henry, C. J. K., & Chapman, C. (Eds.). (2002). *The nutrition handbook for food processors*. Elsevier.

35- Goulas, A. E., Chouliara, I., Nessi, E., Kontominas, M. G., & Savvaidis, I. N. (2005). Microbiological, biochemical and sensory assessment of mussels (Mytilus galloprovincialis) stored under modified atmosphere packaging. *Journal of Applied Microbiology*, *98*(3), 752-760.

36- Ahn, H. J., Kim, J. H., Kim, J. K., Kim, D. H., Yook, H. S., & Byun, M. W. (2005). Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (Brassica rapa L.). *Food Chemistry*, *89*(4), 589-597.

37- Gil, M. I., Aguayo, E., & Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, *54*(12), 4284-4296.

38- Welch, R. W., & Mitchell, P. C. (2000). Food processing: a century of change. *British medical bulletin*, *56*(1), 1-17.

39- Rico, D., Martín- Diana, A. B., Frías, J. M., Henehan, G., & Barry Ryan, C. (2006). Effect of ozone and calcium lactate treatments on browning and texture properties of fresh cut lettuce. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86(13), 2179-2188.

40- Nyaura, J. A., Sila, D. N., & Owino, W. O. (2017). VITAMIN C CONTENT OF VEGETABLE AMARANTH DURING MODIFIED ATMOSPHERIC STORAGE.

41- Bellés, M., Leal, L. N., Díaz, V., Alonso, V., Roncalés, P., & Beltrán, J. A. (2017). Effect of dietary vitamin E on physicochemical and fatty acid stability of fresh and thawed lamb. Food Chemistry.

42- D'ambrosio, T., Amodio, M. L., Pastore, D., De Santis, G., & Colelli, G. (2017). Chemical, physical and sensorial characterization of fresh quinoa sprouts (Chenopodium quinoa Willd.) and effects of modified atmosphere packaging on quality during cold storage. Food Packaging and Shelf Life, 14, 52-58.

43- Ghidelli, C., & Pérez-Gago, M. B. (2017). Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables. Critical reviews in food science and nutrition, 1-18.

## ۳ مروری بر استفاده از بسته‌بندی‌های پلیمری و پلاستیکی بر ایمنی مواد غذایی با رویکردی بر پدیده مهاجرت

### ۳-۱ مقدمه

بسته بندی در نگهداری و گسترش طول عمر انبار داری مواد غذایی نقش مهمی ایفا می‌کند. بسته بندی باعث جلوگیری از فساد و کاهش کیفیت مواد غذایی از طریق جلوگیری از عوامل خارجی مانند آسیب، رشد میکروارگانیسم‌ها، بو و طعم نامطلوب، تاثیر نور و اکسیژن و... می‌شود. دغدغه اصلی در بحث بسته بندی مواد غذایی، انتقال مواد شیمیایی از مواد بسته بندی به داخل غذا است. انتقال مواد باعث دو اثر منفی عمده می‌شود که شامل :

الف – کاهش کیفیت مواد بسته بندی شده از راه ایجاد بو و طعم نامطلوب،

ب – ایجاد مخاطرات سلامتی به روی مصرف کنندگان

بررسی‌های انجام شده توسط نهادهای مطرح در حوزه سلامت غذا (مانند FDA) نشان می‌دهد که مهاجرت می‌تواند اثرات بسیار نگران کننده سمی و نیز ایجاد سرطان در مصرف کنندگان شود.

میزان دریافت روزانه مواد شیمیایی آزاد شده به داخل مواد غذایی کاملاً مشخص نیست ولی بررسی‌ها نشان داده است که هر فرد اروپایی بطور متوسط روزانه در معرض ۱۲۰۰ سانتی‌متر مربع ظروف بسته بندی مواد غذایی قرار می‌گیرند. ورود این ترکیبات پیچیده شیمیایی به محیط دستگاه گوارش و بدن انسان به دلیل طیف مخاطرات متعددی که به دنبال دارد بسیار نگران کننده است این موضوع موجب انجام تحقیقات بسیاری در زمینه مهاجرت مواد در کشورهای مختلف شده است. از جمله پلیمرهای پر کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی می‌توان پلی‌اتیلن‌ترفتالات را نام برد که در بسته‌بندی بسیاری از مواد غذایی از جمله لبنیات، نوشیدنی‌ها و... و یا ظروف یکبار مصرف کاربرد وسیعی دارد.

در کشور ما قوانین پدیده مهاجرت بیشتر به روی مهاجرت کل متمرکز شده است و کمتر در خصوص مهاجرت ریز ساختارها به داخل مواد غذایی پرداخته شده است لذا پژوهش‌های کاربردی در مورد مهاجرت مواد شیمیایی از ظروف پلیمری به داخل مواد غذایی مختلف مانند چای و قهوه داغ، محصولات لبنی و... می‌تواند به ارائه الگوی مناسب جهت تعیین

بسته‌بندی‌های سازگار با محصولات مختلف، وضع قوانین و حدود قانونی و تعیین تاریخ انقضاء توسط مراجع قانونی تصمیم گیرنده کمک نماید. لذا با طراحی یک نظام منطقی برای بسته‌بندی محصولات غذایی و جلوگیری از بهره‌برداری اشتباه از محصولات پلیمری برای فرآورده‌های غذایی مختلف می‌توان به کاهش اثرات زیان‌باری آن به روی جامعه اقدام نمود.

## ۳-۲ کلیات

مواد بسته‌بندی در صنعت بسته‌بندی مفید هستند. مواد غذایی بسته‌بندی شده را از فساد توسط عوامل خارجی مانند آفات، بو، میکروارگانیسم‌ها، نور و اکسیژن محافظت می‌کنند. با این حال، انتقال مواد شیمیایی از مواد بسته‌بندی به مواد غذایی ممکن است یک تاثیر منفی بر کیفیت و ایمنی مواد غذایی داشته باشد و دلیل آن مهاجرت از مواد بسته‌بندی و سایر مواد در تماس با مواد غذایی هست که باید مطالعه، نظارت و کنترل گردد. در بحث بسته‌بندی شاید مهم‌ترین مسئله، نوع ماده و یا کالاهایی است که در تماس با مواد غذایی می‌باشند. در بسیاری از مواقع این مواد مصرفی، در تماس با مواد غذایی در طول ساخت آن، حمل و نقل، ذخیره سازی، آماده سازی و مصرف قرار می‌گیرند. این‌ها عبارتند از مواد مصرفی برای ساخت مخازن ذخیره‌سازی، تسمه نقاله، لوله، سطوح آماده‌سازی غذا و پخت و پز و ظروف غذا خوری می‌باشند[۱].

مواد غذایی و نوشیدنی می‌توانند محصولات بسیار تهاجمی باشند و ممکن است به شدت در تعامل با موادی که در تماس با آن‌ها هستند، قرار گیرند. در مجموع، آن‌ها معمولا از حلال‌های مصرفی در آزمایشگاه شیمی هستند. به عنوان مثال، اسیدهای خوراکی می‌توانند در فلزات خوردگی ایجاد کنند، چربی ها و روغن‌ها می‌توانند پلاستیک‌ها را متورم کنند و نوشیدنی‌ها می‌تواند مواد پلاستیکی را متلاشی و از بین ببرند. در واقع، بدون تماس با مواد غذایی مواد بسته‌بندی به طور کامل بی‌اثر هستند و به همین ترتیب ممکن است ترکیبات شیمیایی‌شان به‌عنوان ' مواد مهاجرت کننده ' به غذاهای بسته‌بندی شده وارد شود. مقادیر کم از ترکیبات شیمیایی فلزات، شیشه، سرامیک، پلاستیک، لاستیک و کاغذ می‌توانند زمانی که در تماس با مواد غذایی هستند، انتشار یابند. پدیده انتشار مواد شیمیایی به غذا از نظر

فنی به عنوان مهاجرت شناخته شده است. این را می‌توان از نظر علمی به عنوان انتقال جرم از یک منبع خارجی به مواد غذایی توسط فرآیندهای زیر میکروسکوپی تعریف کرد [۱].
هرگونه مهاجرت مواد شیمیایی به غذا مهم است زیرا می‌تواند دو تاثیر در مواد غذایی داشته باشد.
ایمنی مواد غذایی: برخی از مواد مصرفی برای تولید مواد بسته بندی در صورتی که به مواد غذایی به اندازه کافی مهاجرت کنند، مضرند[۱].
کیفیت مواد غذایی: مهاجرت مواد ممکن است باعث لکه‌دار شدن مواد غذایی و یا سبب انتقال بو به مواد غذایی شده و کیفیت مواد غذایی مورد مصرف را کاهش دهند [۱].
مهاجرت شیمیایی از بسته‌بندی یک فرآیند بی‌اهمیت نیست. برآورد استفاده سرانه از مواد بسته‌بندی در خرده فروشی مواد غذایی فروخته شده در کشورهای عضو اتحادیه اروپا هر فرد در هر روز حدود۱۲۰۰سانتی‌متر مربع است. این مقدار به اندازه دو ورق کاغذ A4 بوده که مقدار آن ناچیز نمی‌باشد. در مواد غذایی، مهاجرت ترکیب شیمیایی مواد مهاجر از مواد بسته‌بندی به مواد غذایی مستقیما یا از طریق مواد افزودنی می‌تواند برابر مقدار ۱۰ ppm (بر حسب میلی‌گرم در هر کیلوگرم غذا) باشد. (بنابراین، همه بخش‌ها شامل تولید، حمل و نقل، فروش و مصرف مواد غذایی باید از پتانسیل شیمیایی مهاجرت و روش‌های به حداقل رساندن آن آگاه باشند) زنجیره‌های مراقبتی مورد نیاز برای کاهش مهاجرت عبارتند از:
تولید کنندگان اصلی مواد خام، به عنوان مثال تولید کنندگان پلیمر و کاغذ
صنایع تبدیل‌کنندگان، که مواد خام مصرفی را به مواد بسته‌بندی مواد غذایی تبدیل می‌کنند.
فروشندگان این مواد، به عنوان مثال، خرده فروشان کالاها
شرکت‌های عرضه مواد مصرفی
بسته‌بندی کنندگان و فروشندگان مواد غذایی
مقامات مجری
مصرف‌کنندگانی که هم باید مواد غذایی و هم بسته‌بندی مناسب، از مواد و کالای مصرفی مناسب در خانه استفاده کنند [۱].

## ۳-۳انواع بسته‌بندی

### ۳-۳-۱ طبقه‌بندی بسته‌بندی‌ها بر اساس جنس مواد مصرفی

بسته‌بندی‌های مورد استفاده در صنعت غذا را بر اساس ویژگی‌های آن‌ها به گروه‌های مختلفی تقسیم بندی می‌شوند. در یک شیوه‌ی جامع و رایج آن‌ها را به انواع انعطاف پذیر (کیسه‌های کاغذی، پوشش‌های پلاستیکی نرم، نایلون‌ها)، نیمه منعطف (برخی از ظروف پلاستیکی) و سخت (مانند بسته‌بندی‌های HDPE) تقسیم‌بندی می‌کنند. بر اساس مواد تشکیل دهنده‌ی بسته‌بندی‌ها نیز می‌توان آن‌ها را به انواع بسته‌بندی‌های فلزی (قوطی‌های کنسرو)، بسته‌بندی‌های شیشه‌ای (شیشه‌های مربا و بطری‌های آبلیمو)، بسته‌بندی‌های کاغذی یا مقوایی و بسته‌بندی‌های پلاستیکی تقسیم بندی نمود (۱۹).

## ۳-۴کاربرد پلاستیک در بسته‌بندی مواد غذایی

پلاستیک برابر تعریف ماده‌ای است که اساس آن را یک پلیمر آلی تشکیل می‌دهد حالت ساخته شده آن به‌صورت جامد بوده و در مرحله یا مراحلی از فرآیند ساخت در اثر سیال شدن شکل‌پذیر می‌گردد پلاستیک‌ها در برار خورندگی و سایش مقاوم هستند. همچنین بدلیل آسانی ساخت و رنگ‌پذیری می‌توانند برای کاربردهای گوناگون مورد استفاده قرار گیرند به‌طورکلی پلاستیک‌ها می‌توانند همراه با مواد اولیه سنتی و یا به جای آن‌ها مصرف شوند (۱).

### ۳-۴-۱ تاریخچه تولید و مصرف پلاستیک‌ها

اولین پلاستیک مهم صنعتی سلولوئید بود این پلاستیک در اواسط قرن نوزدهم از مخلوط کردن یک پلیمر نیمه سنتزی یعنی نیترات سلولز و کافور به دست آمد. بدنبال سلولوئید، تولید سلولز استات در ۱۸۹۴ رایج گردید و سپس اولین پلاستیک تمام سنتزی با نام باکلیت در ۱۹۰۹ وارد بازار شد. با کلیت که مشتق از نام لئوبیکلند، مخترع و سازنده اولین رزین‌های فنل‌فرم‌آلدئید است تا امروز هم به‌عنوان نام تجاری همین رزین‌ها به کار گرفته می‌شود. در طول بیست سال اخیر پیشرفت و تکامل بسته‌بندی توسط پلاستیک‌ها برای غذاهای آماده، غذاهای منجمد، لبنیات، نوشابه‌ها، نان و شکلات اهمیت و ضرورت فراوانی پیدا کرده است.

اولین استفاده از پلاستیک‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی به نیمه اول قرن بیستم بازمی‌گردد؛ که می‌توان به تولید سلوفان در سال ۱۹۲۴ در آلمان و استفاده از آن در بسته‌بندی مواد غذایی اشاره کرد (۳).

### ۳-۴-۲ گسترش مصرف پلاستیک

پس از جنگ جهانی دوم در سال ۱۹۴۵ استفاده از مواد پلاستیکی به‌طور معمول در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی گسترش یافت، بطوریکه برخی این تحول را یک انقلاب در صنعت بسته‌بندی تلقی نمودند از اواسط دهه پنجاه میلادی استفاده از فیلم‌های مرکب پلاستیکی آغاز گردید و چند سال طول نکشید که تکنولوژی فیلم‌های مرکب اهمیت و تکامل بیشتری پیدا کرد. امروزه پلاستیک‌ها ازنظر میزان مصرف بعد از شیشه در درجه دوم اهمیت قرار دارند ولی سرعت رشد استفاده از آنها به دلایل مختلف آنقدر زیاد است که شاید در آینده‌ای نه چندان دور جای اول را به خود اختصاص دهند (۴).

دلایل مربوط به مصرف روز افزون پلاستیک‌ها عبارتند از:

- خواص مناسب فیزیکی و شیمیائی.
- وزن مخصوص کم (گرم بر سانتیمتر ۱/۹ – ۰/۹) و درنتیجه سبکی.
- قیمت نسبتاً پائین.
- قابلیت شکل پذیری پلاستیک‌ها در دستگاه‌های اتوماتیک بسته‌بندی.
- مقاومت در برابر تعداد زیادی از کالاهای بسته‌بندی شده‌ای که خاصیت اسیدی یا بازی دارند.
- کم بودن انرژی مورد نیاز برای تولید و شکل‌دهی در قیاس با انرژی لازم برای تولید فلزات و شیشه (۱ و ۲).

### ۳-۴-۳ انواع بسته‌بندی پلاستیکی

پلاستیک‌ها را به‌طور کلی به دو دسته گرما سخت (ترموست) و گرما نرم (ترموپلاستیک) تقسیم می‌کنند، ترموست‌ها به پلیمرها یا رزین‌هایی گفته می‌شوند که در هنگام ساخت و در اثر گرما سخت گردند و ذوب و نرم کردن دوباره آنها ممکن نباشد ترموپلاستیک‌ها به

پلیمرهایی اطلاق می‌گردد که در اثر گرما ذوب و نرم پس از سرد شدن مجدداً جامد و سخت می‌شوند. در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی بیشترین استفاده از پلاستیک‌های ترموپلاستیک می‌باشد (۵ و ۳).

امروزه با پیشرفت تکنولوژی روز به روز انواع جدیدی از مواد پلیمری به‌صورت منفرد یا مرکب به بازار عرضه می‌شوند که هر یک ویژگی‌های جدیدی را برای تولیدکنندگان صنعت غذا و صنایع دیگر پیشنهاد می‌نمایند؛ اما مهم‌ترین مواد پلیمری که در واقع سایر مواد مشتقات آن می‌باشند این موارد هستند:

- ✓ سلوفان
- ✓ پلی‌اولفین‌ها: پلی‌اتیلن با دانسیته پائین (LDPE)، پلی‌اتیلن خطی با دانسیته پائین (LLDPE)، پلی‌اتیلن با دانسیته بالا (HDPE)، پلی‌پروپلین (PP) و کوپلیمر اتیلن – وینیل‌استات (EVA)
- ✓ وینیل‌پلاستیک‌ها: پلی‌وینیل‌کلراید(PVC)
- ✓ پلی‌استرها: پلی‌اتیلن‌ترفتالات (PET)
- ✓ پلی‌آمید یا نایلون
- ✓ اتیلن‌وینیل‌الکل (EVOH)
- ✓ پلی‌استایرن (۵ و ۳).

### ۳-۴-۴ ترموپلاستیک‌های ساده

#### ۳-۴-۴-۱ سلوفان

اولین فیلم شفاف به‌کار رفته برای بسته‌بندی، سلوفان بوده است. فیلم سلوفان دارای خصوصیات ویژه‌ای است که تداوم کاربرد آن را تضمین می‌نماید؛ مهم‌ترین خاصیت فیلم سلوفان عبور سریع رطوبت از آن است که برای بسته‌بندی مواد غذایی مانند پیراشکی و نان مناسب می‌باشد. به دلیل آن که برای جلوگیری از کپک‌زدگی، رطوبت داخل بسته باید کاهش یابد، مسئله مهم دیگر درباره فیلم‌های سلوفان خاصیت تا خوردن آن است که آن را برای بسته‌بندی شکلات‌ها ایده‌آل می‌سازد. حدود هفت درصد بازار جهانی بسته‌بندی شکلات‌ها متعلق به فیلم‌های سلوفان است، باارزش‌ترین خصوصیت فیلم‌های سلوفان سهولت

کار با آن‌ها در ماشین‌های بسته‌بندی با سرعت بالاست. برش و شکل‌پذیری فیلم‌های سلوفان به‌راحتی انجام می‌گیرد و مشکلات ایجاد الکتریسیته ساکن را ندارد و عملیات جوش دادن حرارتی لبه‌ها بدون ذوب پلیمر به‌راحتی انجام می‌گیرد. اگر بتوان هزینه‌های تولید واحد سطح سلوفان را کاهش داد، آینده کاربرد آن در بسته‌بندی مواد غذایی تضمین خواهد گردید (۳ و ۵).

### ۳-۴-۴-۲ پلی‌اولفین‌ها

کاربرد فیلم‌های پلی‌اولفین در بسته‌بندی بسیار گسترده است.
برخی از پلاستیک‌های مهم این گروه عبارتند از:

### ۳-۴-۴-۲-۱ پلی‌اتیلن با دانسیته پائین (LDPE)

اولین پلیمر اتیلن با وزن مولکولی بالا در سال ۱۹۳۳ تهیه گردید. پلی‌اتیلن با دانسیته پایین ماده‌ای است سفت، نیمه شفاف، با دانسیته بین ۰/۹۳۵-۰/۹۱۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب، قدرت تحمل ضربه بسیار بالا و مقاومت بالا در برابر بخارآب. اما به دلیل آن که نفوذپذیری آن به گازها زیاد است، بنابراین جهت بسته‌بندی مواد حساس به اکسیژن مناسب نخواهد بود. این پلیمر مقاومت شیمیایی خوبی به‌ویژه در برابر اسیدها، بازها و محلول‌های آبی املاح معدنی دارد. در درجه حرارت اتاق در تمام حلال‌ها غیرمحلول بوده ولی در برابر هیدروکربن‌های هالوژنه و روغن‌ها حساس می‌باشد و در اثر آن‌ها متورم می‌شود. پلی‌اتیلن با دانسیته پایین را به اشکال مختلفی می‌توان مورداستفاده قرارداد. امروزه از خاصیت قابل‌انعطاف بودن این پلیمر جهت ساخت ظروفی که محتویات داخل آن را بتوان با فشار خارج کرد، استفاده می‌کنند. بیشترین کاربرد پلی‌اتیلن با دانسیته کم به‌صورت فیلم جهت بسته‌بندی، به‌صورت کیسه‌های پلاستیکی جهت ذخیره و به‌صورت لایه‌ای پوششی بر روی مقواها جهت بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد؛ علاوه بر آن، برای تهیه انواع درب‌های ظروف پلاستیکی و شیشه‌ای نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵).

### ۳-۴-۴-۲-۲ پلی‌اتیلن خطی با دانسیته پائین (LLDPE)

این پلاستیک خواص کلی پلی‌اتیلن با دانسیته پائین را دارد ولی از آن قوی‌تر و سخت‌تر است ساختمان آن دارای شاخه‌های کمتری است مقاومت در برابر سوراخ شدن و برش در آن بهبود یافته، نقطه ذوب بالاتر داشته و تا شش برابر طول خود قابلیت کشش دارد (۵).

### ۳-۴-۴-۲-۳ پلی‌اتیلن با دانسیته بالا (HDPE)

پلی‌اتیلن دانسیته بالا در سال ۱۹۵۰ در آلمان از پلیمریزاسیون اتیلن تحت‌فشار اتمسفر، درجه حرارت ۷۰-۵۰ درجه سلسیوس و با استفاده از کاتالیست به دست آمد پلی‌اتیلن با دانسیته بالا جسمی سفت و با شفافیت کم و دانسیته بین ۰/۹۶-۰/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد این پلیمر هر چند سخت و محکم است اما مقاومت آن در برابر ضربه پائین می‌باشد، نسبت به پلی‌اتیلن با دانسیته پائین مقاومت بهتری به بخارآب و نفوذ گازها داشته، مقاومت شیمیائی آن نیز بالاتر است پلی‌اتیلن با دانسیته بالا به دلیل نقطه ذوب بالا (۱۳۵ درجه سلسیوس) می‌تواند توسط حرارت استریلیزه شود از این پلیمر در ساخت و تهیه فیلم، بطری و سبدهای پلاستیکی استفاده می‌شود (۳ و ۵).

### ۳-۴-۴-۳ پلی‌پروپیلن (PP)

اولین بار در سال ۱۹۵۴ در ایتالیا تولید گردید، جسمی است سخت با نقطه ذوب ۱۷۰-۱۴۰ درجه سلسیوس، دانسیته ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب و شفافیت و خواص اپتیکی خوب. استحکام پروپیلن در برابر ضربه خوب بوده ولی این استحکام تحت تأثیر درجه حرارت می‌باشد بدین‌صورت که در پائین‌تر از صفر درجه سلسیوس استحکام در برابر ضربه کمی کاهش می‌یابد؛ بنابراین یکی از معایب PP شکنندگی آن در درجه حرارت‌های پائین است که کاربرد آن را برای نگهداری غذاهای منجمد شده محدود می‌سازد.

دو نوع پلی‌پروپیلن در بازار موجود است، UPP (پلی‌پروپیلن اصلاح نشده) و OPP[1] (پلی‌پروپیلن اصلاح شده یا آرایش یافته).

[1] Oriented Polypropylene

پلی‌پروپیلن اصلاح‌شده یک فیلم درخشنده و شفاف بوده و قدرت کشش آن زیاد و در مقابل سوراخ شدن مقاوم است نفوذپذیری آن نسبت به رطوبت، گاز و بو متوسط است ولی این نفوذپذیری با تغییر رطوبت تغییر نمی‌کند فرسایش‌پذیری آن کم است درنتیجه برای بسته‌بندی در ماشین‌های با سرعت زیاد مناسب است پلی‌پروپیلن به‌صورت فیلم کاربرد وسیعی در لفافه پیچی مواد غذایی مثل بیسکویت و چیپس و ... دارد ولی شایع‌ترین شکل کاربرد آن در بسته‌بندی تهیه کیسه‌های مختلف است. از سایر کاربردهای پلی‌پروپیلن می‌توان به ساخت درب‌های پیچی به طریقه قالب‌گیری و ساخت تسمه‌های پلاستیکی برای بسته‌بندی کارتن‌ها اشاره کرد (۵ و ۴).

### ۳-۴-۴-۴ کو پلیمر اتیلن– وینیل استات (EVA)

مونومر اصلی آن اتیلن است و ازنظر خواص خیلی به پلی‌اتیلن با دانسیته پایین شبیه است. شفافیت آن از پلی‌اتیلن بیشتر بوده و خاصیت انعطاف‌پذیری بالایی دارد مقاومت زیادی نسبت به ضربه و نفوذپذیری بالایی نسبت به بخارآب و گازها دارد کاربرد آن در زمینه‌هایی است که نیاز به خاصیت خم شوندگی و ارتجاعی بالا می‌باشد، به‌ویژه در درجه حرارت‌های پایین به‌طور مثال در تهیه کیسه برای بسته‌بندی گوشت‌های منجمد مناسب است (۴).

### ۳-۴-۴-۵ وینیل پلاستیک‌ها

خانواده وینیل پلاستیک‌ها به‌وسیله پلیمریزاسیون اتیلن‌های جانشین شده ساخته می‌شوند، رابطه جانشینی بین یک اتم هیدروژن و باقیمانده‌های باند دوگانه صورت می‌گیرد. وینیل پلاستیک‌ها به‌طور گسترده برای لفافه پیچی مواد غذایی گوناگون مورداستفاده قرار می‌گیرند. از آنها به‌عنوان لایه پوششی که خواص ممانعت کنندگی دیگر مواد بسته‌بندی را اصلاح می‌کنند، نظیر فیلم‌های پلی‌پروپیلن و سلولز، نیز استفاده می‌شود.
مهم‌ترین پلاستیک‌های این گروه عبارتند از:

### ۳-۴-۴-۵-۱ پلی وینیل کلراید (PVC)

اولین محصول تجاری PVC در سال ۱۹۲۷ به بازار عرضه گردید. این ماده جسمی است سخت و شکننده با دانسیته‌ای حدود ۱/۰۴-۱/۰۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب. می‌توان توسط مواد نرم‌کننده آن را اصلاح نمود تا محصولی نرم و قابل‌انعطاف از آن حاصل گردد. فیلم اصلاح‌شده PVC در سال ۱۹۵۹ وارد بازار شد. PVC بدون مواد نرم‌کننده دارای مقاومت خوبی نسبت به روغن‌ها، چربی‌ها، اسیدها، بازها و الکل‌ها دارد. خاصیت نفوذپذیری آن نسبت به بخارآب بیشتر از پلی‌پروپیلن بوده ولی نسبت به گازها کمتر است. درمجموع محافظ خوبی برای تند شدن روغن‌ها و چربی‌هاست. استفاده از مواد نرم‌کننده ضمن افزایش انعطاف و نرمی PVC موجب افزایش نفوذپذیری آن نسبت به اکسیژن می‌شود.

همان‌طور که ذکر شد، PVC در دو شکل کاملاً متفاوت وجود دارد، یکی به‌صورت نرم نشده که برای شکل‌دهی حرارتی و ساخت ظروف و بطری مناسب است و دیگری نرم شده که قابل‌انعطاف و شفاف بوده و نیز قابلیت نفوذ رطوبت بالا را دارد و برای بسته‌بندی سبزی‌ها، ماهی، گوشت و پنیر استفاده می‌شود.

در سال ۱۹۷۵ استفاده از بطری‌های PVC در بسته‌بندی آشامیدنی‌ها به دلیل امکان آزاد شدن مونومر وینیل کلراید در محصول و بروز سرطان کبد ممنوع گردید. از جارهای ساخته شده از PVC در بسته‌بندی پودرهای آماده شکلات، قهوه و همچنین ترشیجات استفاده می‌شود (۳ و ۵).

### ۳-۴-۴-۵-۲ کو پلیمرهای وینیل کلراید

وینیل کلراید دارای چهار کوپلیمر اصلی است شامل وینیل استات، پروپیلن وینیل کلراید، آکریلونیتریل و وینیلیدین کلراید.

### ۳-۴-۴-۵-۳ پلی وینیلیدین کلراید (PVDC)

نام تجاری آن ساران بوده و به‌طور تجاری در سال ۱۹۳۹ وارد بازار شد جزو پلاستیک‌های باقابلیت نفوذناپذیری بالا می‌باشد. PVDC به‌خوبی از نفوذ آب جلوگیری کرده و مقاومت خوبی در مقابل $N_2$, $CO_2$, $O_2$ و نیز روغن‌ها از خود نشان می‌دهد که این امر کاربرد آن را

در بسته‌بندی مواد غذایی توسعه داده است. از فیلم‌های تک لایه PVCD برای بسته‌بندی گوشت، پنیر، ماهی کیک، میوه و محصولات تازه و از فیلم‌های چندلایه PVDC به‌عنوان لایه مقاوم استفاده می‌شود. مشکل استفاده از PVDC عدم تجزیه آن در طبیعت و گرانی آن است (۳ و ۵).

### ۳-۴-۴-۶ پلی‌استرها (PE)

پلی‌استرها موادی هستند که توسط واکنش بین یک الکل پلی‌هیدریک و یک اسید پلی‌کربوکسیلیک تشکیل می‌شوند. تولید آن‌ها اولین بار در سال ۱۹۲۸ صورت گرفت و بیشترین درصد استفاده از آن‌ها همراه با ترکیبات دیگر در ساختن ظروف با حجم متوسط، برای ذخیره انواع مایعات و جامدات می‌باشد (۳ و ۵).

### ۳-۴-۴-۷ پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)

یک جسم براق، شفاف و مستحکم است که نسبت به نفوذ رطوبت و گاز مقاومت زیادی دارد. نقطه ذوب آن حدود ۲۵۰ $^{\circ}C$ (۲۷۰-۲۴۳ $^{\circ}C$) است و در دمای ۱۳۵-۷۰ $^{\circ}C$ انعطاف‌پذیر می‌شود. بطری‌های ساخته‌شده به روش قالب‌گیری دمنده-مکنده از این پلیمر، تحمل فشار داخلی بالایی دارند؛ به همین جهت برای بسته‌بندی نوشابه‌های گازدار مناسب می‌باشند و در اثر تغییرات دما یا رطوبت دستخوش چروکیدگی کمی می‌شوند (۳ و ۵).

### ۳-۴-۴-۸ پلی‌آمید یا نایلون (PA)

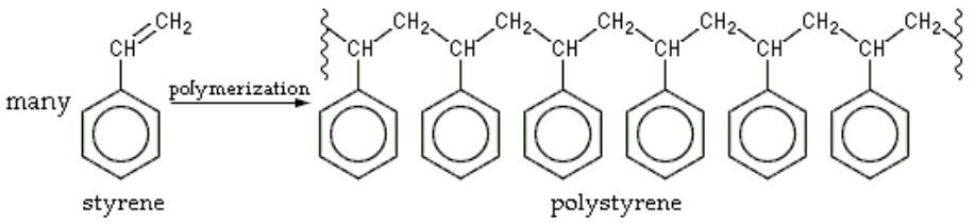
در سال ۱۹۳۸ به بازار عرضه شد، وزن مخصوص آن ۱/۱۳-۱/۰۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و نقطه ذوب آن ۲۲۰ $^{\circ}C$ می‌باشد، از ویژگی‌های قابل توجه نایلون تحمل درجه حرارت استرلیزاسیون مواد غذایی است.

نایلون‌ها از ترکیب اسیدهای دوظرفیتی با دی‌آمین‌ها حاصل می‌شوند. با توجه به اینکه اسیدهای دی‌کربوکسیلیک و دی‌آمین‌های زیادی وجود دارند، پس می‌توان نایلون‌های متنوعی تولید کرد.

خواص شیمیایی نایلون نسبتاً خوب بوده ولی تحت تأثیر اکسیدکننده‌های قوی نظیر پراکسید هیدروژن، کلر یا اسیدهای غلیظ قرار می‌گیرد. در نایلون‌ها قابلیت نفوذپذیری بخارآب نسبتاً بالا ولی گازها پایین می‌باشد. نایلون‌ها به سهولت توسط سیستم‌های دمشی به‌صورت فیلم درمی‌آیند و این در حالی است که، به دلیل نفوذپذیری پایین نسبت به گازها در تهیه کیسه‌های مخصوص بسته‌بندی مواد غذایی تحت خلأ (ازجمله پنیر و گوشت) مورداستفاده قرار می‌گیرند. فیلم نایلون طبق تائید FDA برای تمام مواد غذایی به‌جز شیر و شیرخشک، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

### ۳-۴-۴-۹ پلی‌استایرن[1] (PS)

پلی‌استایرن یک هیدروکربن با زنجیر طویل است که از مونومرهایی به نام استایرن تشکیل شده است. توسط پلیمریزاسیون مونومر استایرن که از که از محصولات به‌دست‌آمده از نفت خام می‌باشد، به دست می‌آید (۵). (شکل ۳-۱).




شکل ۳-۱ واکنش پلیمریزاسیون پلی‌استایرن

پلی‌استایرن دارای کاربردهای گسترده‌ای بوده و از آن به روش‌های مختلفی در صنعت استفاده می‌شود. بنابر دلایل متعددی نظیر قیمت پایین، خاصیت قالب پذیری، مقاومت در برابر جذب رطوبت، پایداری ابعاد، عایق الکتریسیته، خاصیت رنگ‌پذیری، مقاومت در برابر برخی از مواد شیمیایی، استفاده وسیع در قالب‌گیری تزریقی و وکیوم توانسته است جای

[1] - polystyrene

خود را در صنایع بسته‌بندی بازنماید. پلی‌استایرن، پلیمری است بدون بو و مزه که با شعله‌ای مداوم و یکنواخت سوخته، چگالی آن پایین و در حدود ۱/۰۵۴ بوده و این ماده ترموپلاستی سخت، شفاف، عایق الکتریسیته، مقاوم در برابر جذب رطوبت و رنگ‌پذیر است. همچنین دارای قدرت کششی، ضربه‌پذیری و عایق حرارتی خوبی نیز می‌باشد. فرآیند آن توسط دستگاه‌های تزریقی و وکیوم با هزینه‌ای کم امکان‌پذیر است. آنچه کاربرد پلی‌استایرن را محدود می‌سازد، شکنندگی، مقاوم نبودن در برابر درجه حرارت جوشش آب و همچنین عدم مقاومت در برابر برخی از روغن‌ها می‌باشد. ازجمله مهم‌ترین کاربردهای این ماده در صنایع غذایی، موارد اکسترود شده و یا تولید شده با قالب‌گیری تزریقی و ظروف غذایی یک‌بارمصرف است. در تهیه محصولات نهایی (نظیر ظروف بسته‌بندی)، موادی از قبیل آنتی‌اکسیدان‌ها، پایدارکننده‌های اشعه ماوراءبنفش و نرم‌کننده‌ها (به‌منظور محافظت در برابر آسیب‌های فیزیکی، اکسیداسیونی و اشعه UV) به ترکیب اولیه پلیمرهای پلاستیکی افزوده می‌شود. ازآنجایی‌که بین این مواد افزودنی و سایر اجزاء غذا پیوندهای کووالانسی وجود ندارد، در طی فرایندهای مختلف و همچنین در طی نگهداری، این ترکیبات می‌توانند وارد ماده غذایی شوند (۸).

پلی‌استایرن یکی از موادی بود که کاربرد آن در خلال جنگ جهانی دوم (در صنایع نظامی) مورد توجه قرار گرفت. زیرا به‌عنوان یک عایق الکتریسیته خوب شناخته شده بود. اولین بار این ماده به نام استیرول در سال ۱۸۳۹ توسط شخصی به نام سایمون ساخته شد. فرم تجاری شده مونومر استایرن و پلیمریزاسیون آن به سال ۱۹۳۴ برمی‌گردد که کمپانی داو توانست استایرن را از فرآورده‌های نفتی سنتز نماید و سپس آن را پلیمریزه کند. در همان زمان مشابه این فرآیند مراحل تکمیلی خود را در آلمان غربی می‌گذراند. تجربیات به‌دست‌آمده از این محصول در زمان جنگ جهانی دوم موجب گردید تا در سال‌های بعد از جنگ، پلی‌استایرن نه‌تنها به‌عنوان یک عایق الکتریسیته گران‌قیمت شناخته نشود، بلکه به‌عنوان یک پلاستیک گرمانرم[1]، ارزان و با خواص خوب معرفی شود (۵).

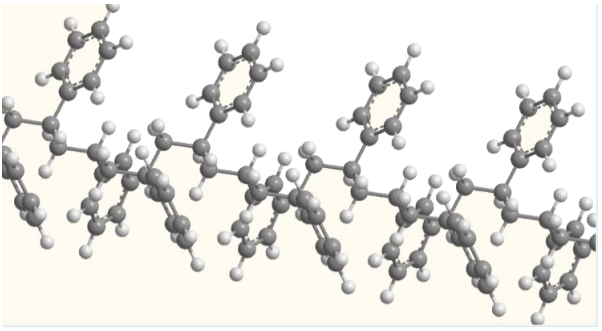
[1] Thermoplastic

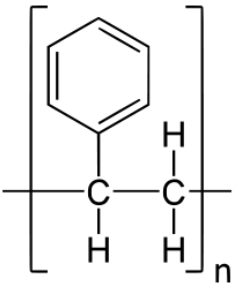
### ۳-۴-۴-۹-۱ ساختار پلی‌استایرن

پلی‌استایرن پلیمری خطی است که در طول زنجیره آن پیوند دوگانه‌ای وجود نداشته و حلقه‌های بنزنی نیز به‌صورت یک در میان بر روی کربن‌های زنجیره قرار گرفته‌اند (شکل ۳-۲)؛ همانند پلی‌پروپیلن، پلی وینیل کلراید و سایر ترکیبات وینیلی، موقعیت‌های مختلف حلقه بنزن موجب می‌شود که زنجیره پلیمری فرم‌های فضایی خاصی به خود بگیرد، به زبان ساده چنانچه حلقه بنزنی در یک طرف زنجیر پلیمری قرار گیرد، به آن «ایزو تکتیک[1]» و اگر یک‌درمیان در دو طرف زنجیر پلیمری قرار گیرد ، به آن «سیندیوتکتیک[2]» و درنهایت اگر به‌صورت درهم و غیرمنظم اطراف زنجیره پلیمری را اشغال نمایند، «اتکتیک[3]» گویند. اگر مونومر استایرن از طریق تشکیل رادیکال آزاد پلیمریزه شود، قسمتی از پلیمر سیندیوتکتیک و قسمتی دیگر اتکتیک خواهد شد که درنهایت پلیمری آمورف حاصل می‌شود. چنانچه از کاتالیست‌های کمپلکس (آلکیل آلومینیوم - تیتانیم هالاید) در پلیمریزاسیون استایرن استفاده شود، پلی‌استایرن ایزوتکتیک به دست می‌آید که وزن مولکولی و نقطه ذوب بالایی دارد و درنتیجه قبل از فرآیند بسیار سخت است. فرآیند پلی‌استایرن اتکتیک توسط قالب‌گیری می‌تواند به محصولی با سطح براق و کاملاً شفاف ختم شود. وجود حلقه بنزنی به‌صورت یک‌درمیان بر روی کربن‌های زنجیره موجب می‌گردد تا این ماده نسبت به پلی‌اتیلن در برابر حلال‌های شیمیایی مقاومت کمتری از خود نشان دهد. پلی‌استایرن در برخی از هیدروکربورها مانند بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن، تترا کلراید، کلروفرم، دی‌کلرو بنزن، در برخی از کتون‌ها (به غیر از استن)، استرها و برخی از روغن‌ها قابل حل می‌باشد. برخی از اسیدها و الکل‌ها و کرم‌های آرایشی و مواد غذایی موجب ترک‌خوردگی و در بعضی مواقع موجب تجزیه شیمیایی پلی‌استایرن می‌گردند. میزان ترک‌خوردگی و تجزیه‌پذیری شیمیایی به عوامل زیادی بستگی دارد. مثلاً نوع پلی‌استایرن، نوع و غلظت مواد، مدت زمان و درجه حرارت نگهداری مواد و تنش‌های وارده به نقاطی از محصول که تحت واکنش‌های مختلفی قرار می‌گیرد (۲ و ۳ و ۵).

---

[1] isotactic
[2] Syndiotactic
[3] Atactic






شکل۳-۲ ساختار فضایی و آرایش مولکولی پلی‌استایرن

### ۳-۴-۴-۹-۲ کوپلیمرهای استایرن

خواص فیزیکی پلی‌استایرن می‌تواند به‌وسیله کوپلیمریزاسیون استایرن با اکریلونتیریل یا آکریلونیتریل همراه با بوتادین اصلاح شود.

### ۳-۴-۴-۹-۲-۱ استایرن آکریلونتیریل (SAN)

سختی SAN بیشتر از پلی‌استایرن بوده و بنابراین به صدمات مکانیکی مقاوم‌تر است. ازنظر شیمیایی و مقاومت به رطوبت و گازها نیز مقاوم‌تر از پلی‌استایرن بوده اما در مقابل نور خورشید تغییر رنگ داده و زرد می‌شود.

### ۳-۴-۴-۹-۲-۲ اکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS)

این پلیمر طیف وسیعی از مواد با نسبت‌های گوناگون از سه مونومر استایرن، اکریلونیتریل و بوتادین را شامل می‌شود پلیمرهای ABS مقاومت شیمیایی خوبی داشته، سخت و محکم هستند. در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی در تولید سینی‌های مخصوص حمل نان و کیک و ظروف بسته‌بندی مارگارین و بطری‌های آب آشامیدنی کاربرد دارد.

### ۳-۴-۴-۹-۳ درجه‌بندی پلی‌استایرن

موارد مصرف فراوان صنعتی پلی‌استایرن، موجب شده است که این پلیمر در درجه‌بندی‌های بسیار متنوعی ساخته شود، که می‌توان اکثر آن‌ها را به چهار گروه تقسیم نمود.

#### ۳-۴-۴-۹-۳-۱ پلی‌استایرن جهت مصارف عمومی (GPS)

پلی‌استایرینی که جهت مصارف عمومی مورداستفاده قرار می‌گیرد، معمولاً باید دارای خواصی نظیر مقاومت مناسب در برابر حرارت، قدرت ضربه‌پذیری مناسب و سیالیت خوبی در هنگام فرآیند باشد.

#### ۳-۴-۴-۹-۳-۲ پلی‌استایرن با وزن مولکولی بالا

اگر وزن مولکولی پلی‌استایرن کمتر از ۵۰،۰۰۰ باشد، دارای قدرت کششی پایینی می‌باشد ولی با افزایش وزن مولکولی به بیش از ۱۰۰،۰۰۰، افزایش چشمگیری در قدرت کششی آن ایجاد خواهد شد. ادامه روند افزایش وزن مولکولی گرچه در افزایش قدرت کششی مؤثر بوده ولی می‌تواند بر روی سیالیت پلیمر اثر معکوس بگذارد. افزایش وزن مولکولی، قدرت ضربه‌پذیری پلیمر را افزایش خواهد داد بدون آن‌که تغییری در شفافیت آن ایجاد گردد.

#### ۳-۴-۴-۹-۳-۳ پلی‌استایرن مقاوم در برابر حرارت

با بالا بردن نقطه نرم شدن پلی‌استایرن می‌توان آن را در برابر حرارت مقاوم نمود. برای این منظور با کاهش مقدار مواد قابل تبخیر در پلیمر می‌توان درجه حرارت نقطه نرم شدن را افزایش داد. برای مثال چنانچه مونومر موجود در پلی‌استایرن که معمولاً در حدود ۵ درصد و به‌عنوان ناخالصی در پلیمر موجود است، کاملاً خارج گردد نقطه نرم شدن از ۷۰ به ۱۰۰ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. نوع تجارتی این پلی‌استایرن دارای نقطه نرمی معادل ۷ درجه سلسیوس بالاتر از پلی استایرن جهت مصارف عمومی می‌باشد.

### ۳-۴-۴-۹-۳-۴ پلی‌استایرن با سیالیت زیاد

سیالیت پلی‌استایرن را می‌توان با اضافه کردن روان کننده‌های داخلی از قبیل بوتیل استئارات و یا پارافین مایع، و همچنین روان کننده‌های خارجی از قبیل استئارات روی، استفاده از پلیمرهای با وزن مولکولی پایین‌تر و نیز با کنترل شکل و اندازه ذرات پلیمر، بهبود بخشید بدون آن‌که اثر چندانی بر روی سایر خواص بگذارد. البته اضافه شدن این‌گونه روان کننده‌ها به میزان ۱۰ درجه سلسیوس از نقطه نرم شدن مواد می‌کاهد. اما با توجه به تمامی مزایایی که این ماده دارد، نتوانسته جایگزین پلی‌استایرن از نوع قابل مصرف برای مصارف عمومی‌گردد. این نوع مواد در قالب‌گیرهایی که جداره محصول بسیار نازک و یا قالب دارای شکل پیچیده می‌باشد، مورداستفاده قرار می‌گیرد (۲ و ۵).

تولید آزمایشگاهی آن در سال ۱۸۳۹ آغاز شد و در سال ۱۹۲۵ به‌صورت صنعتی به بازار عرضه گردید.

فرآیند تولید آن شامل مخلوط شدن بنزن با اتیلن و درنتیجه تولید اتیلن بنزن و سپس هیدروژنه شدن اتیلن بنزن است که تولید مونومراستایرن می‌کند و این مونومر در اثر پلیمریزاسیون پلی‌استایرن را حاصل می‌کند.

پلی‌استایرن جسمی بی‌رنگ، شفاف و شیشه‌ای است نقطه نرم شدن آن $^{\circ}C$ ۹۵-۹۰ است. پلی‌استایرن ماده‌ای است بسیار شکننده که خود به‌عنوان یک عامل بازدارنده جهت ساختن ظروف می‌باشد. پلی‌استایرن مقاوم به اسیدها و بازها بوده در الکل‌های سبک و هیدروکربن‌های آلیفاتیک نامحلول ولی در هیدروکربن‌های آروماتیک و الکل‌های سنگین محلول است، مقاومت آن در برابر نفوذ بخارآب زیاد و در برابر نفوذ گازها متوسط است.

پلی‌استایرن از معمول‌ترین پلاستیک‌ها جهت فرآیند قالب‌گیری تزریقی است، ظروف حاصله سبک و ازنظر شیمیایی خنثی هستند، پلی‌استایرن می‌تواند در سیستم‌های تحت خلأ برای ساخت سینی‌های نگهداری سبزی‌ها و میوه‌جات تازه استفاده شود. ضمن اینکه می‌توان با اضافه کردن مقداری کائوچوی مصنوعی استحکام آن را بیشتر کرده و تحت فرآیند شکل‌دهی حرارتی تحت خلأ (ترموفورمینگ) ظروف گود ساخت و برای بسته‌بندی و نگهداری آبمیوه‌ها استفاده کرد.

پلی‌استایرن بیشترین کاربرد را جهت ساخت ظروف و لیوان‌های یک‌بارمصرف دارد این ماده در بسته‌بندی موادغذایی نظیر ماست، خامه، سبزی‌ها، میوه‌جات، گوشت، بستنی، پنیر، عسل و ... کاربردهای فراوانی دارد.

### ۳-۴-۴-۱۰اتیلن وینیل الکل (EVOH)

فیلم‌های پلی‌وینیل الکل (PVOH) در برابر گازها مقاومت خوبی دارند ولی به رطوبت حساس هستند. از این جهت پلی‌وینیل الکل را با اتیلن پلیمر کرده و اتیلن وینیل الکل حاصل می‌شود. که در آن نفوذپذیری به رطوبت اصلاح شده است، اما این فیلم نیز در رطوبت بالا ضعیف عمل می‌کند. از مزایای این فیلم می‌توان به مقاومت بالا آن در برابر گازها به‌ویژه اکسیژن، به شرطی که رطوبت بالا نباشد، اشاره کرد.

### ۳-۴-۵ ترموپلاستیک‌های مرکب

استفاده از فیلم‌های مرکب از سال ۱۹۵۰ آغاز گردید به دودسته تقسیم می‌شوند:

- ✓ پوشش داده‌شده
- ✓ چندلایه

فیلم‌های پلاستیکی مرکب از چندلایه پلاستیک مختلف تشکیل‌شده‌اند که ضخامت هر لایه بسته به موارد مصرف متفاوت و به‌طور تقریبی حدود ۱۰ میکرومتر می‌باشد. انتخاب لایه‌های مختلف بر اساس نیازهای مربوط به کاهش نفوذ رطوبت، گازها و نور می‌باشد. هرکدام از لایه‌ها به‌وسیله یک‌لایه چسبنده واسط به لایه‌های دیگر چسبانده می‌شوند. معمولاً یک فیلم مرکب به‌صورت ورقه نازکی تولید می‌شود که می‌توان آن را به‌صورت لوله‌ای درآورد.

ساده‌ترین شکل یک فیلم مرکب پلاستیکی بکار رفته برای بسته‌بندی مواد غذایی تشکیل شده از یک فیلم نازک حامل و یک لایه پل‌اولفین که برای جوش دادن حرارتی از آن استفاده می‌شود. فیلم حامل معمولاً دارای خصوصیاتی مانند مقاومت در برابر نفوذ گازها و مواد معطر، سختی، مقاومت کششی، مقاومت حرارتی و قابلیت چاپ است. لایه پلی‌اولفین که باعث جوش دادن حرارتی لبه‌ها می‌گردد درجه حرارت ذوب پائین تر از فیلم لایه حامل دارد. در

فیلم‌های مرکب در اثر حرارت یک قسمت پلی‌اولفین به قسمت دیگر جوش داده می‌شود و لایه پلی‌اولفین در تماس مستقیم با کالای بسته‌بندی‌شده خواهد بود.
در یک فیلم پلاستیکی مرکب برای به دست آوردن خصوصیات موردنظر از لایه‌های پلیمری انتخابی و مناسب استفاده می‌شود؛ به عنوان مثال کوپلیمر EVOH یک‌لایه محافظ در برابر نفوذ اکسیژن است و LDPE همراه با مواد رنگی تیره از نفوذ نور جلوگیری می‌نماید. معمولاً برای تولید فیلم‌های پلاستیکی مرکب از چندین لایه (۶-۳ لایه) استفاده می‌شود (۲ و ۳).

### ۳-۴-۵-۱ نمونه‌هایی از فیلم‌های مرکب

فیلم‌های مرکب از قبیل سلوفان، از قدیمی‌ترین انواع آن محسوب می‌شوند. فیلم سلولز آغشته به نیتروسلولز یا پوشش داده‌شده به‌وسیله پلی‌وینیلیدین‌کلراید اغلب شامل پلی‌اتیلن به‌عنوان لایه حرارتی می‌باشد.
از طریق قرار دادن ورق آلومینیوم بین سلوفان و پلی‌اتیلن می‌توان حداکثر مقاومت نفوذ در مقابل گازها و مایعات را ایجاد نمود. فیلم مرکب سلوفان در برابر رطوبت مقاومت خوبی ندارد و در پایین‌تر از صفر درجه سلسیوس شکننده می‌باشد. امروزه فیلم‌های مرکب سلوفان به‌وسیله فیلم‌های مرکب دیگر مانند پلی‌استروپلی آمید که کیفیت بهتر و قیمت کمتری دارند، جایگزین شده‌اند.
فیلم‌های مرکب PVC باضخامت‌های مختلف برای تولید ارزان‌ترین سیستم‌های بسته‌بندی که در برابر نفوذ گازها، بخارآب و ترکیبات آروماتیکی مقاومت دارند و نیز تغییر شکل نمی‌دهند، استفاده می‌شوند. محدودیت‌های درجه حرارت‌های کاربردی اجازه نمی‌دهند که فیلم‌های مرکب PVC برای مقاصدی از قبیل استریلیزه کردن و منجمد کردن، مورد استفاده قرار گیرند. فیلم‌های مرکب اغلب به روش ورقه‌های چسبیده به هم تولید می‌شوند.
فیلم‌های مرکب که شامل یک‌لایه نسبتاً ضخیم آلومینیومی هستند، به‌عنوان فیلم حامل برای بسته‌بندی موادی که حالت نیمه جامد دارند استفاده می‌شوند. این فیلم‌ها به روش ورقه‌های چسبیده به هم تولید می‌شوند. در این فیلم‌ها لایه قابل جوش حرارتی UPP موجود است. خصوصیات ویژه این فیلم‌ها سختی شکل‌پذیری حرارتی، مقاومت حرارتی بالا بوده و تقریباً غیرقابل نفوذ بودن در برابر گازها، بخارآب، مواد معطر و نور می‌باشند.

فیلم‌های مرکب PET آرایش یافته (OPET) مقاومت کششی و حرارتی خوبی دارند و با انتخاب لایه مناسبی از پلی‌اولفین می‌توان فیلم مرکب شفافی به دست آورد که آب جوش بر آن تأثیری ندارد و قابل پاستوریزه و استریلیزه کردن است برای افزایش خاصیت عدم نفوذ گازها فیلم‌های PET را به‌وسیله PVDC و یک نازک آلومینیوم پوشش می‌دهند.

### ۳-۴-۵-۲ خصوصیات فیلم‌های مرکب

۱- معمولاً فیلم‌های مرکب پلاستیکی بی‌رنگ و شفاف هستند و روی این فیلم‌ها را می‌توان رنگ و چاپ نمود. چاپ می‌تواند روی لایه رویی یا به‌صورت چاپ ساندویچی بر روی لایه وسطی انجام گیرد. مزیت چاپ ساندویچی محافظت چاپ از خراشیدگی و کثیف شدن در اثر تماس با مواد خارجی می‌باشد و مسئله دیگر اینکه با محتویات داخل بسته تماس پیدا نمی‌کند. قوانین نگهداری مواد غذایی تماس کالای بسته‌بندی شده با مواد چاپی را ممنوع کرده است. بدون تردید فیلم‌های مرکب مقداری از شفافیت خود را به علت چاپ و رنگ از دست می‌دهند.

۲- درجه حرارت کاربرد فیلم‌های مرکب تابع مقاومت حرارتی لایه‌های مختلف می‌باشد.

محدوده درجه حرارت کاربردی فیلم‌های مرکب حدود ( $^{\circ}C$ ۱۳۵-۶۰-) می‌باشد اگر لایه‌های حامل و قابل جوش حرارتی مناسب انتخاب شوند، فیلم مرکبی به دست خواهد آمد که می‌توان آن را جوشاند و پاستوریزه و استریلیزه نمود.

۳- فیلم‌های مرکب پلاستیکی مانع نفوذ آب و روغن هستند و در برابر این مواد مقاومت خوبی دارند علاوه بر این فیلم‌های مرکب پلاستیکی در برابر مواد بسته‌بندی شده و تعداد زیادی از اسیدها، قلیاها و حلال‌ها مقاوم هستند.

۴- فیلم‌های مرکب اغلب شامل یک‌لایه محافظ و غیرقابل نفوذ نسبت به گازها می‌باشند. پوشش PVDC بر روی فیلم حامل مانند سلوفان یا پلی‌استر از نفوذ رطوبت و اکسیژن جلوگیری می‌کند. می‌توان PVOH را نیز به‌عنوان یک‌لایه محافظ در برابر نفوذ گازها و رطوبت در فیلم‌های مرکب بکار برد. اما از نظر قیمت نسبتاً گران‌تر از PVDC می‌باشند. در فیلم‌های مرکب اغلب از یک‌لایه آلومینیوم یا فلز دیگر بر روی فیلم پلاستیکی به‌عنوان لایه محافظ نهایی استفاده می‌شود.

### ۳-۴-۶ وضعیت تولید مواد اولیه پلاستیک‌ها در ایران

در ایران شرکت ملی صنایع پتروشیمی وابسته به وزارت نفت متولی تولید مواد اولیه پلاستیک‌ها می‌باشد. در حال حاضر چندین کارخانه پتروشیمی فعال در ایران وجود دارد که در زمینه تولید پلیمرهای مختلف فعالیت دارند.

### ۳-۴-۷ قابلیت شکل‌پذیر مواد بسته‌بندی پلیمری

ازلحاظ قابلیت شکل‌پذیری مواد بسته‌بندی پلیمری به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

**گروه اول**

مواد پلیمری هستند که به‌صورت لایه‌های بسیار نازک تحت عنوان فیلم تهیه می‌شوند. ضخامت این لایه‌ها کمتر از ۰/۲۵ میلی‌متر است. این گروه فیلم‌های انعطاف‌پذیری هستند که کاملاً شکل ماده غذایی را به خود می‌گیرند.

**گروه دوم**

مواد بسته‌بندی هستند که به‌صورت ورقه یا Sheet باضخامتی در حدود ۱ تا ۳ میلی‌متر تبدیل می‌شوند. این گروه ورقه‌های سختی هستند که به شیوه‌های مختلف حرارتی و با استفاده از فشار هوا شکل‌های مختلفی نظیر انواع بطری _ لیوان و سینی تولید می‌نمایند.
ازآنجایی که درجه حرارت عملیات شکل‌دهی این مواد پلیمری بسیار کمتر از عملیات شکل‌دهی شیشه است درنتیجه قابلیت کاربرد این مواد در بسیاری از موارد از ظروف شیشه‌ای بیشتر می‌باشد. درعین‌حال نسبت به فلزات دارای این برتری هستند که حداقل واکنش شیمیایی را با محصول غذایی ایجاد می‌نمایند. به همین دلیل کمتر دچار خوردگی می‌شوند و این از نظر تولیدکنندگان مهم است. علاوه براین، اکثر مواد پلیمری قابلیت دوخت حرارتی دارند. بنابراین نیازی به درب بندی مجزا وجود نداشته و این از نقطه نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت می‌باشد (۲ و ۳ و ۵).

## ۳-۵برهم‌کنش‌های مابین ترکیبات غذایی و بسته‌بندی‌ها

هنگام استفاده از ترکیبات مختلف بسته‌بندی و به‌ویژه مواد پلاستیکی به‌منظور بسته‌بندی مواد غذایی، یکی از مهم‌ترین مواردی که باید مورد توجه قرار گیرد، برهم‌کنش‌هایی است که بین ماده غذایی و ماده بسته‌بندی به وجود می‌آید.

این برهم‌کنش‌ها را می‌توان به‌طورکلی به سه گروه عمده نفوذ، جذب و مهاجرت تقسیم‌بندی کرد.

### ۳-۵-۱ مهاجرت

مهاجرت عبارت از انتقال ترکیبات از سطح ظروف بسته‌بندی به درون محصول بسته‌بندی‌شده است. این پدیده به‌واسطه واکنش‌های فیزیکی یا شیمیایی است که بین بسته‌بندی و مواد غذایی درون آن انجام می‌گیرد. ازاین‌رو، مهاجرت یک پدیده یک‌طرفه نیست و با فرایند جذب کاملاً قابل مقایسه است و وجوه اشتراک زیادی دارد. مهاجرت به تبادل بالقوه بین بسته‌بندی و محتویات بسته‌بندی شده اطلاق می‌شود. معنایی که عموماً برای مهاجرت در نظر گرفته می‌شود عبارت است از انتقال ماده (Matter) از بسته به داخل مواد غذایی بسته‌بندی شده که ظاهراً انتقالی یک‌طرفه است؛ اما بااین‌وجود در اغلب موارد این پدیده نتیجه انتقال دوطرفه مواد می‌باشد. همسانی و تلفیقی که عموماً بین محصول بسته‌بندی‌شده و مواد غذایی وجود دارد به دلیل اهمیتی است که مواد غذایی در سلامت عموم مردم ایفا می‌کند. پدیده مهاجرت مفهومی عام دارد و بسته‌بندی مواد دارویی، مواد شیمیایی، مواد پاک‌کننده، مواد پاک آرایشی و مانند این‌ها را در برمی‌گیرد (۶ و ۷).

این واژه، در صنعت بسته‌بندی، از زمانی که از پلاستیک‌ها برای بسته‌بندی مواد غذایی تولیدی (موادی که قرار است در تماس با مواد غذایی باشند)، ساخت پروتزهای جراحی، مجراها، لوله‌های ترکیبی و همین‌طور اقلام و وسایلی که قرار است با بافت‌های بدن در تماس باشند، استفاده می‌شود. کتب و مطبوعات بسیاری مسمومیت بالقوه این‌گونه مواد را که به دلیل تأثیر متقابل حادث می‌شود، موردتوجه قرار داده‌اند. گاهی آلودگی اتفاقی کالاها که به دلیل باز کردن و یا استفاده از بسته‌بندی‌ها رخ می‌دهد به پدیده مهاجرت نسبت داده می‌شود، اما اجزای بسته‌بندی از قبیل الیاف، ذرات فویل یا شیشه به‌واسطه فشارهای

مکانیکی وارد محصول بسته‌بندی شده می‌گردند. مسلم است که باید رخدادهای از این قبیل را مدنظر داشته باشیم اما در مباحث فعلی تحت عنوان مهاجرت قرار نمی‌گیرند. آنچه ما به‌عنوان انتقال مواد در اینجا مورد مطالعه قرار می‌دهیم فقط حاصل قوانین فیزیکی و شیمیایی است.

واژه مهاجرت مواد به معنی فرآیند انتقال جرم از مواد بسته‌بندی به محتویات آن می‌باشد، البته در پدیده مهاجرت خواص مکانیکی و نفوذپذیری بسته‌بندی تغییر زیادی نمی‌کند، اما تغییرات چشایی محصول را به‌طور چشم‌گیری تغییر می‌دهد.

### ۳-۵-۱-۱ مواد موثر در مهاجرت

ازجمله موادی که در مهاجرت مواد نقش اصلی دارند عبارتند از: مونومرها، حلال‌ها، مواد حاصل از هم برکنش‌ها و ناخالصی‌های ناشی از بسته‌بندی می‌باشد. مهاجرت مواد وابستگی زیادی با منافذ موجود در دیواره بسته‌بندی دارد و ازآنجایی‌که کاغذ و مقوا ماده‌های متخلخل می‌باشد، می‌تواند در مهاجرت مواد نقش موثری داشته باشند. البته با آهار دهی و پرکننده‌ها در حین تولید کاغذ می‌توان تا حدودی منافذ کاغذ را مسدود کرد که علاوه بر کنترل مهاجرت مواد زائد می‌تواند در ضد آب‌کردن بسته‌بندی‌های سلولزی هم کارآمد باشد. ازجمله دیگر عوامل مهم در مهاجرت مواد زائد می‌توان به چگالی، بلورینگی، میزان اتصالات عرضی و مشبک بودن پلیمر و خصوصیات فیزیکی ماده اشاره کرد.

پلاستیک‌ها از سنتز مواد اولیه‌ای به نام مونومر تهیه می‌شوند. مونومرها موادی سمی می‌باشند که برای سلامت انسان مضر هستند؛ درحالی‌که پلیمرها خنثی هستند و مشکلی در سلامتی انسان ایجان نمی‌کنند؛ اما اشکال کار اینجاست که معمولاً در فرایند تهیه پلیمرها مقداری مونومر باقی می‌ماند که این مونومرها می‌توانند مشکل‌ساز بوده و در مهاجرت مواد دخیل باشند و سهم بسیار بزرگی را به خود اختصاص دهند. البته انتخاب پلیمر مناسب جهت بسته‌بندی می‌تواند تا حدودی از این مشکل بکاهد.

امروزه تولیدکنندگان مواد موردنیاز صنایع بسته‌بندی با به‌کارگیری افزایش وزن مولکولی ماده هدف تا حدودی توانسته‌اند کنترل مهاجرت مواد را به دست گرفته و از مشکلات آن بکاهند. بر اساس آخرین تحقیقات صورت گرفته مواد پلیمری با وزن مولکولی کمتر از ۱۰۰۰

دالتون برای سلامتی مشکلاتی را به وجود می‌آورند. لازم به ذکر است، اگرچه وزن مولکولی و ساختار پلیمر در این موضوع دخیل هستند، اما دما و زمان مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده در این پدیده می‌باشند. به‌عنوان مثال ظروف پلی‌استایرنی که در تهیه لیوان‌های آب، کارد، چنگال، قاشق و ظروف غذایی استفاده می‌شوند در دمای بالاتر از ۶۵ درجه شروع به آزادسازی مونومرهای خود می‌کند. ازاین‌رو وزارت بهداشت نگهداری، حمل و بسته‌بندی غذا با دمای بالاتر از ۶۵ درجه را در ظروف پلاستیکی پلی‌استایرنی ممنوع کرده است؛ و ازآنجایی‌که چربی، فرآیند آزاد شدن این مونومرهای سمی را تسریع می‌کند، بسته‌بندی مواد غذایی چرب نیز در این‌گونه ظروف ممنوع است.

یکی از معایب بسته‌بندی‌های پلیمری، که باید بسیار مورد توجه قرار گیرد این است که نرخ آزادسازی مونومرهای سازنده آن به مرور زمان افزایش می‌یابد که این موضوع متأسفانه در کشورمان نادیده گرفته‌شده است. به همین دلیل است که وزارت بهداشت اعلام می‌دارد که خانواده‌ها ظروف پلیمیری را بیش از ۵ ماه و نهایتاً شش ماه مصرف نکنند.

اینکه مهاجرت مواد از چه مقدار می‌تواند مسئله‌ساز باشد نقل و قول‌های زیادی در تحقیقات و کتب تخصصی وجود دارد؛ اما استانداردها و الزامات بسته‌بندی اعلام می‌دارند که اگر به ازای هر کیلوگرم محصول بسته‌بندی شده تنها ۶۰ میلی‌گرم مجموع مواد مهاجر باشد باید مسائل امنیتی را برای بسته‌بندی در نظر گرفته شود.

پلیمرها وضعیت بهتری را توانسته‌اند در کنترل مواد مهاجر نسبت به بسته‌بندی‌های مقوایی یا کارتنی از خود نشان دهند. اما این نکته هم وجود دارد که مواد پلیمری سنتزی را باید به‌عنوان قاتلان خاموش خواند زیرا به‌مرورزمان در بدن جمع می‌شوند و می‌توانند عوامل مرگ باری را به همراه داشته باشند. پلی‌استیرن‌ها که از حلقه‌های آروماتیک به وجود آمده‌اند به‌عنوان یکی از عوامل خطرساز در علوم بسته‌بندی معرفی می‌شوند، زیرا قادر به ایجاد عوامل سرطانی و مشکلات برگشت‌ناپذیری می‌باشند. همچنین مرحله چاپ سطوح بسته‌بندی هم مشکلاتی را در این پدیده ایجاد می‌کنند که باید به‌منظور آن تدابیری ازجمله فویل‌زنی، تیمار ماکروویو و سایر موارد انجام گردد تا چاپ باعث تشدید مشکل مهاجرت مواد نشوند.

اگرچه پدیده مهاجرت فقط در دو دهه اخیر به‌طور خاص و دقیق موردمطالعه قرارگرفته است؛ اما از زمان‌های گذشته این پدیده شناخته‌شده است. برای مثال، از خمره‌های چوبی

برای نگهداری نوشابه و طعم بخشیدن به آن استفاده می‌کردند. چوب‌پنبه نیز طعم خاصی به نوشیدنی‌ها می‌بخشد. همچنین می‌دانیم که تنگ‌های شیشه‌ای که در آنها ترشی نگهداری می‌شود، بوی محتویات خود را برای مدت طولانی حتی پس از شست‌وشو با آب، حفظ می‌کنند. این واقعیت همچنین حاکی از تبادل و یا جذب بالقوه اجزاء از طریق سطح شیشه است. قوطی‌های پلاستیکی که برای مدت طولانی بسته نگه‌داشته شده‌اند، عموماً با توجه به موادی که از میان سطوح آنها انتشار یافته است و بوی خاصی از خود بروز می‌دهند (۶ و ۷).

برای پلاستیک‌های بسته‌بندی، ترکیباتی که امکان مهاجرت دارند، شامل بقایای فرایند پلیمر شدن مانند مونومرها، اولیگومرها، حلال‌ها، ناخالصی‌های همراه ماده پلیمری به‌کاررفته در بسته‌بندی (عناصر فلزی در حد بسیار کم) می‌باشد. این عناصر و ناخالصی‌های مواد اولیه مصرفی وارد شده به پلیمر از راه فرایند تولید و کلیه ترکیبات مشتق شده از پلیمر و افزودنی‌های مصرفی در فرایند تولید برای بهبود محصول است. بنابراین، بسته‌بندی‌های پلاستیکی که امروزه کاربرد آن‌ها افزایش‌یافته است، به علت دارا بودن مواد افزودنی فراوان نظیر نرم‌کننده‌ها، روان کننده‌ها و ضد اکسنده‌ها جزو مستعدترین نوع بسته‌بندی در زمینه مهاجرت هستند. این بسته‌بندی‌ها در دو گروه کیسه‌های پلاستیکی و بطری‌های پلاستیکی طبقه‌بندی می‌شوند. مجموعه فرایندهایی که این بسته‌بندی‌ها طی دوره فراوری متحمل می‌شوند، نظیر فرایندهای گرمادهی، آرایش یافتگی، تبلور، قالب‌گیری و امثال آن‌که در ساختار نهایی ماده بسته‌بندی نقش دارند و از عوامل اثرگذار بر فرایندهای مهاجرت و جذب هستند.

واژه مهاجرت شامل دو پدیده انتشار و تقسیم است. این پدیده در هر زمان برای تعیین نوع افزودنی‌ها مهم هستند. مهاجرت مواد از بسته بندی به مواد غذایی از قوانین کلی انتقال جرم تبعیت کرده و مهم‌ترین مکانیسم در روی دادن آن پدیده انتشار است. این مواد منتقل شده به غذا یا نوشیدنی‌ها، می‌تواند باعث ایجاد بیماری‌هایی نظیر سرطان و تولید مواد جهش‌زا و غیره گردد؛ بنابراین برای حفظ سلامت افراد جامعه باید در طی فرآیند بسته‌بندی مواد غذایی از این کار جلوگیری کرد (۶).

### ۳-۵-۱-۲ علل مهاجرت

درباره‌ی علل احتمالی این پدیده محققین چهار عامل را که در تشدید این پدیده نقش مؤثر ایفا می‌کنند ذکر نموده‌اند:

- محتوای اسیدی ماده غذایی
- دمای بالای ماده‌ی غذایی هنگام پر کردن یا استریل کردن ماده‌ی غذایی در ظرف پلاستیک
- قرار گرفتن در معرض نور
- تماس زیاد با ماده‌ی که دارای قابلیت مهاجرت (فاکتور زمان) است.

فاکتورهای داخلی مربوط به غذا اهمیت زیادی در مهاجرت دارند به این صورت که یک ترکیب که دارای پتانسیل مهاجرت می‌باشد، به‌طور تدریجی به غذا منتقل می‌شود تا لحظه‌ای که میزان آن در غذا و بسته‌بندی به تعادل می‌رسد. این تعادل به وابستگی ترکیبات بسته‌بندی و غذا بستگی دارد. برای مثال درجه مهاجرت متعادل ترکیب مونومری هیدروفوبیکی مثل استیرن به‌طور نسبی به محتوای لیپید ماده غذایی بستگی دارد که در مطالعات، مهاجرت استیرن در پودر کاکائو و فلیک‌های شکلات به اثبات رسیده است. بنابراین با در نظر گرفتن ترکیب ماده غذایی، می‌توان مهاجرت را به ماده غذایی به حداقل رساند.

همچنین تحقیقات نشان‌داده که ترکیبات بسته‌بندی هیدروفوبیک نظیر الیگومرها و آنتی‌اکسیدان‌ها تمایل مهاجرت به درون غذاهای چرب دارند، درحالی‌که ترکیبات آب‌دوست نظیر ترکیبات آنتی استاتیک تمایل دارند به غذاهای با رطوبت بالا مهاجرت کنند.

بنابراین باید نوع ماده بسته‌بندی که در تماس مستقیم با ماده غذایی قرار می‌گیرد، تائید شده باشد. یکی از مواد بسته‌بندی که برای مواد غذایی و آشامیدنی پیشنهادشده است، پلی‌پروپیلن است که یک ماده پلاستیکی بی‌خطر برای تماس با ماده غذایی است و ماده ترجیحی برای دامنه گسترده‌ای از مواد غذایی نظیر محصولات لبنی، شیرینی‌ها، نان تا غذاهای آماده که به‌سرعت به‌وسیله حرارت دادن ماکروویو آماده مصرف می‌شوند، مناسب می‌باشد. ازآنجایی‌که بسته‌بندی‌های سلولزی و پلیمری مزایا و قابلیت‌های زیادی ازجمله چاپ پذیری عالی و شکل‌پذیری با هزینه پایین دارد به‌وفور در صنعت بسته‌بندی مورد مصرف قرارگرفته‌اند. البته در کنار تمامی مزایا مشکلاتی هم وجود دارد که نباید از آن

مشکلات چشم‌پوشی کرد، یکی از مشکلات بسته‌بندی‌های سلولزی (کاغذ و مقوا) و حتی برخی پلیمرها، مهاجرت مواد مضر است. که این امر منجر به انتقال مواد خطرساز برای مواد درون بسته‌ها و تغییر طعم و بوی محصول خواهد شد. ازآنجایی‌که اکثر محصولات ما خواسته یا ناخواسته دارای مواد شیمیایی هستند این امر باعث تشدید این پدیده خواهد شد. امروزه آزمایش‌های مختلفی ازجمله آزمون «سمیت مواد مهاجر» و آزمون «میزان در معرض قرارگیری محصول» توسط دستگاه‌های خاصی بر روی بسته‌بندی‌ها صورت می‌گیرد تا از سلامت آن اطمینان حاصل گردد. آزمون میزان مواد مهاجر به نوع ماده غذایی، نوع ماده مورداستفاده در بسته‌بندی و ماده مهاجر وابسته است. همچنین آزمون میزان سمیت مواد مهاجر به مطالعات توکسیکولوژی نیز وابسته می‌باشد (۶ و ۷ و ۸).

## ۳-۶مهاجرت شیمیایی و عوامل اصلی کنترل آن

### ۳-۶-۱ مهاجرت مکانیکی

مهاجرت از مواد شیمیایی یک فرایند انتشار است که باید به دو صورت جنبشی و ترمودینامیکی کنترل گردد و می توان آن را با معادله نفوذ ریاضیات ناشی از قانون فیک بیان کرد. ریاضیات می‌تواند روند انتشار را بصورت تابعی از زمان، درجه حرارت، ضخامت ماده، مقدار ماده شیمیایی مهاجرت کننده در مواد، ضریب پارتیشن و ضریب توزیع شرح دهد، و در بعد جنبشی مهاجرت روند سرعت مهاجرت اتقاق افتاده را نشان دهد [۱].

بعد ترمودینامیکی چگونگی گستردش انتقال مواد را تا زمانی که مهاجرت به پایان برسد و همچنین زمانی که سیستم به تعادل برسد، را نشان خواهد داد. جنبه‌های جنبشی و ترمودینامیک نباید تداخل داشته باشند[۱].

به عنوان مثال، مهاجرت ممکن است با سرعت آهسته ادامه یابد، اما اگر مواد شیمیایی مهاجرت کننده دارای میل ترکیبی بالاتری با مواد غذایی نسبت به مواد بسته بندی داشته باشند، و اگر زمان به اندازه کافی داده شود (به عنوان مثال عمر مفید طولانی ) ممکن است مهاجرت به مواد غذایی گستردش یابد. از سوی دیگر، اگر در مواد غذایی یا نوشیدنی‌های مختلف بسته‌بندی شده مواد شیمیایی مهاجرت کننده، بطورضعیف در غذا یا آشامیدنی حل

گردند، در نتیجه آن مهاجرت می‌تواند کم شود هر چند مهم نیست چه مدت عمر مفید داشته باشند[۱].

در فرایند انتشار مولکولی، مهاجرت شیمیایی بستگی به قوانین طبیعی فیزیک و شیمی دارد. چندین عامل تعیین کننده در مهاجرت مواد شیمیایی وجود دارد. مهاجرت رخ داده، بستگی به هویت و غلظت مواد شیمیایی موجود در مواد بسته بندی دارد. از دیگر پارامترهای مهم، طبیعت مواد غذایی همراه با شرایط تماس می‌باشد. در نهایت، خواص ذاتی مواد بسته‌بندی خود قابل ملاحظه و مهم است. اگر مواد بسته‌بندی به شدت تعامل با مواد غذایی داشته باشند می‌توانند مهاجرت بالا از خود نشان دهند. در عوض، ماده بی‌اثر، با نفوذ کم، به احتمال زیاد مقادیر مهاجرت آن کم می‌باشد. درک عواملی که مهاجرت مواد شیمیایی را کنترل می‌کنند، مهم است تا بتوان هر مهاجرت نامطلوب به مواد غذایی را جلوگیری یا محدود کرد[۱].

### ۳-۶-۲ ترکیب مواد بسته‌بندی

مواد بسته‌بندی منبع مهاجرت هر ماده شیمیایی است. میزان هر مهاجرت اولاً بستگی به غلظت مواد شیمیایی موجود در بسته بندی دارد. اگر ماده مهاجری در مواد بسته‌بندی وجود نداشته باشد بنابراین مهاجرتی نمی‌تواند انجام بگیرد. اما بدیهی است به راحتی فراموش می‌شود. به ویژه در هنگام مدل سازی این پدیده و جهت ارزیابی در معرض قرار گرفتن مصرف کننده با این مواد باید بررسی شوند، و بنابر این مهم خواهند بود.

اگر ماده‌ای در بسته‌بندی موجود باشد، بنابراین، معادل میزان مواد باقی‌مانده در بسته بندی، اگر غلظت مواد در بسته‌بندی افزایش یابد، سطح مهاجرت بالاتر خواهد رفت و بالعکس[۱].

### ۳-۶-۳ ماهیت و وسعت تماس

ماهیت و وسعت هرگونه تماس بین بسته‌بندی و غذا ازپارامترهای ابعادی مهم است که باید در نظر گرفته شود؛ که وابسته به خواص فیزیکی مواد غذایی (غذاهای جامد تماس‌های محدودتری دارند؛ در حالی که مایعات ارتباط گسترده‌تری ایجاد می‌کنند)، اندازه و شکل ظروف بسته‌بندی می‌باشد. مقایسه بسته‌های مارگارین تک نفره (به‌عنوان مثال ۷ گرمی در

تماس با $cm^2$ ۲۸، و یا $cm^2/kg$ ۴۰۰۰) با یک بسته مارگارین خانواده (به‌عنوان نمونه ۲ کیلوگرمی درتماس با $cm^2$ ۱۰۵۰یا $cm^2/kg$ ۵۲۵) را در نظر بگیرید. اگر یک نوع ماده پلاستیکی در دو بسته مورد استفاده قرار گیرد ( مانند پلی‌استایرن و یا پلی‌پروپیلن) بنابراین در مهاجرت مشابه براساس یک واحد سطح در بسته مجزا، در مقایسه با بسته خانواده افزایش هشت برابری مواجهه، یعنی نسبت جرم به سطح مواد غذایی به خارج از منطقه از بسته‌بندی خواهید داشت[۱].

یکی دیگر از عوامل که در تعیین ماهیت و وسعت تماس با مواد غذایی مهم می‌باشد، حضور یک لایه مانع است. اگر مواد غذایی توسط یک لایه مانع بین غذا و مهاجر شیمیایی قرار گیرند، ممکن است مهاجرت به تأخیر افتد و یا از مهاجرت جلوگیری شود. برای این امر از مواد بسته‌بندی چند لایه پلیمری و آلومینیومی جهت بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود. در صنعت بسته‌بندی برای محافظت مواد غذایی از هوا، نور و رطوبت از مواد بسته‌بندی چند لایه استفاده می‌گردد. این مواد در حفظ رایحه مطلوب مواد غذایی و هچنین حفاظت مواد غذایی بسته‌بندی شده از بوی نامطلوب مناسب می‌باشند. خواص فیزیکی و شیمیایی مواد بسته‌بندی چند لایه در واقع سدی جهت توقف، کاهش یا جلوگیری از مهاجرت مواد شیمیایی به مواد غذایی است، که موجب حفظ کیفیت و ایمنی آن خواهد شد.

### ۳-۶-۴ طبیعت مواد غذایی

ماهیت مواد غذایی در تماس با مواد بسته‌بندی به دو علت، مهم است :

#### ۳-۶-۴-۱ ناسازگاری

اگر بسته‌بندی سازگار با نوع مواد غذایی موجود باشد، در آن‌صورت هیچ تعامل (واکنش‌پذیری) قوی منجر به انتشار شدید مواد شیمیایی نخواهد شد. به‌عنوان مثال نمونه‌هایی از واکنش‌پذیری چربی و روغن‌ها با مواد پلاستیک خاص که منجر به تورم پلاستیک می‌شود. این نوع واکنش‌پذیری معمولاً به عنوان مهاجرت نوع سه شناخته می‌شود.

از سوی دیگر تعامل نامطلوب بین بسته‌بندی و مواد غذایی می‌تواند منجر به خوردگی سطوح فلزی بدون پوشش توسط غذاهای اسیدی شود، که در نتیجه آن آزادسازی فلزات درحد زیاد

اتفاق خواهد افتاد. آبکاری فلزات با لعاب‌های سرامیکی، می‌تواند نقش مهمی در جهت جلوگیری از چنین عدم تطابق آشکاری داشته باشد و اطمینان حاصل شود که مواد بسته بندی با مواد غذایی سازگارند [۲-۴].

### ۳-۶-۴-۲ قابلیت انحلال

طبیعت مواد غذایی تأثیر زیادی در مهاجرت شیمیایی خواهد داشت، چرا که نوع مواد غذایی در میزان حلالیت هر کدام از موادشیمیایی مهاجر بسته‌بندی که وارد مواد غذایی می‌شود، نقش دارد. پس نوع مواد غذایی بر میزان مهاجرت که ممکن است رخ دهد تاثیر می‌گذارد. معمولا غذاها به پنج دسته طبقه بندی می‌شوند : آب، اسید، الکل، چرب و خشک [۲-۴].

### ۳-۶-۴-۳ دمای تماس

مهاجرت از مواد شیمیایی تقریبا مانند تمام فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی توسط حرارت افزایش می‌یابد که در نتیجه آن مهاجرت سریع‌تر رخ می‌دهد. مواد بسته‌بندی به طور فزاینده‌ای تحت طیف بسیار گسترده‌ای استفاده می‌شود. شرایط درجه حرارت شامل: دمای نگهداری در فریزر، یخچال، دمای محیط، دمای جوش، دمای پاستوریزاسیون و استرلیزاسیون و ماکروویو و حتی دمای پخت خواهد بود. بدیهی است که مواد مناسب برای یک کاربرد خاص ممکن است لزوماً مناسب برای کاربرد دیگری نباشند [۲-۵].

### ۳-۶-۴-۴ طول مدت تماس

مواد مناسب برای تماس با مدت زمان کوتاه ممکن است مناسب برای کاربردهای دیگر نباشند. روند مهاجرت با ریشه دوم زمان تماس ارتباط مستقیم دارد. با افزایش زمان میزان مهاجرت افزایش خواهد یافت[۲-۴].

### ۳-۶-۴-۵ تحرک مواد شیمیایی موجود درمواد بسته‌بندی

تحرک ماده شیمیایی درمواد بسته‌بندی بستگی به اندازه، شکل مولکول، هرگونه تعامل با مواد و مقاومت ذاتی به انتقال جرم از مواد دارد. فرض بر این است که مواد شیمیایی، سازگار

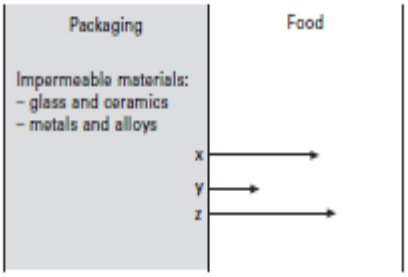
با مواد بسته‌بندی باشد. تحرک مواد شیمیایی در مکانیسم‌های دقیق مهاجرت و در مدل‌سازی ریاضی در نظر گرفته می‌شود [۲-۵].

### ۳-۶-۴-۶ ویژگی سطوح

میزان مهاجرت مواد به نوع سطوح مواد بسته‌بندی نیز بستگی دارد. بطور کلی، بهتر است سطوح را به سه مورد طبقه بندی کرد ۱- مهاجرت از مواد نفوذ ناپذیر ۲- مهاجرت از مواد نفوذ پذیر ۳- مهاجرت از مواد متخلخل که در شکل‌های زیر چگونگی مهاجرت به تصویر رسم شده است [۲-۴].

### ۳-۶-۴-۷ مواد نفوذ ناپذیر

مواد نفوذ ناپذیر مانند مواد سخت که برای مثال می‌توان به برخی فلزات، شیشه و سرامیک اشاره کرد. که این مواد مانع مطلق می‌باشند و هیچ‌گونه مهاجرتی به آن‌ها وجود ندارد و یا مهاجرت به یک پدیده سطحی محدود خواهد بود شکل (۳-۳).

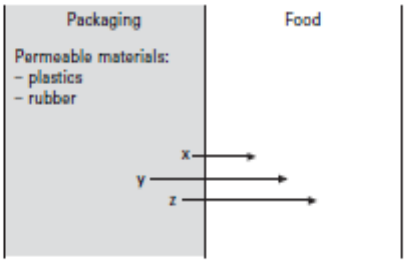



شکل ۳-۳ توصیف مهاجرت مواد شیمیایی ازمواد نفوذ ناپذیر

### ۳-۶-۴-۸ موادنفوذپذیر

مواد نفوذپذیر عبارتند از مواد پلاستیکی مانند پلاستیک، لاستیک و نمونه الاستومرها. در این نوع مواد مقاومت محدودی در مقابل مهاجرت از سطح به داخل مواد می‌تواند رخ دهد (شکل

۳-۴). مقاومت در برابر انتقال جرم مواد به ساختار، چگالی، تبلور، و غیره، این مواد بستگی دارد [۱].




شکل ۳-۴ توصیف مهاجرت مواد شیمیایی ازمواد نفوذپذیر

مواد پلاستیکی از جمله پلیمرهای مصنوعی به حساب می‌آیند و به دلیل ویژگی‌های مانند: عایق بودن، تحت دما و فشار پایین قابل ذوب و شکل‌پذیر بوده، مقاومت در برابر خوردگی، وزن کم و با قیمت مناسب در دسترس بودن، آن‌ها را جزء لاینفک زندگی بشر قرار است [۱]. در طی چند دهه گذشته پیشرفت و تکامل بسته بندی با پلاستیک‌های گرمانرم برای غذاهای آماده، غذاهای منجمد، لبنیات، نوشابه‌ها، نان و شکلات اهمیت و ضرورت بیشتری پیداکرده است. فیلم‌های سلولزی اولین کاربرد پلاستیک‌ها در صنعت بسته‌بندی بوده‌اند و بتدریج فیلم‌های پلاستیکی دیگر نظیر پلی‌اتیلن مورد استفاده قرار گرفتند. با گذشت زمان مشخص شد که فیلم‌های پلاستیکی ساده، قادر به برآورده کردن تقاضا درجهت افزایش حفاظت بهتر و نیز دوام بیشتر مواد غذایی نیستند. به همین دلیل تکنولوژی فیلم‌های مرکب اهمیت و تکامل بیشتری پیدا کرد[۱].

انواع فیلم‌های پلاستیکی عبارتند از:

۱- فیلم‌های سلوفان

۲- فیلم‌های پلی‌اولفین

۳- پلی‌وینیل کلراید

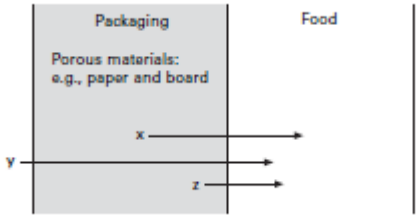
۴- پلی‌وینیلیدین کلراید

۵- پلی‌آمید(نایلون)

۶- پلی‌اتیلن ترفتالات
۷- اتیلن وینیل الکل
۸- فیلم‌های پوشش داده شده با لایه آلومینیوم
۹- فیلم‌های مرکب اکسترود شده همزمان

### ۳-۶-۴-۹ مواد متخلخل

این مواد متخلخل مثل نمونه کاغذ و مواد مقوایی شکل(۳-۵) از الیاف با منافذ بالا می‌باشند [۷-۹].




شکل ۳-۵ توصیف مهاجرت مواد شیمیایی ازمواد متخلخل

### ۳-۶-۴-۱۰خلاصه ای از عوامل دخیل در کنترل روند مهاجرت

مهاجرت از مواد بسته‌بندی یک فرایند انتشار است که مطابق قوانین طبیعی شیمی و فیزیک می‌باشد.

عواملی که سبب افزایش مهاجرت می‌شوند عبارتند از :

- افزایش طول مدت تماس
- افزایش دمای تماس
- میزان غلظت بالاتری از ماده شیمیایی در مواد بسته‌بندی
- نسبت بیشتر سطح تماس به جرم یا حجم مواد غذایی

عواملی که سبب کاهش مهاجرت می‌شوند عبارتند از :

- مواد با وزن مولکولی بالاتر در مواد بسته‌بندی
- تماس فقط با مواد خشک و یا غیر مستقیم

- موادبسته‌بندی با قابلیت نفوذ پذیری کم (بی‌اثر)
- حضور یک لایه سد یا مانع [۱۴-۱۰].

به‌طور کلی فعل و انفعال مواد پلاستیکی بسته‌بندی را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:
مهاجرت: انتقال ترکیبات از سطح بسته‌بندی به محصول بسته‌بندی شده به واسطه واکنش فیزیکی یا شیمیایی (پدیده دو طرفه)

ترکیباتی که امکان مهاجرت دارند:

۱- بقایای فرآیند پلیمریزاسیون مثل مونومرها، الیگومرها و حلال‌ها
۲- ناخالصی‌های همراه ماده بسته‌بندی
۳- کلیه ترکیبات مشتق شده از پلیمر و افزودنی‌های عمدی بکار رفته در فرآیند تولید به جهت بهبود خواص پلیمر نظیر پلاستی سایزرها، آنتی اکسیدان‌ها، روان‌کننده‌ها، ترکیبات رنگ دهنده و ضد اشعه ماوراءبنفش.
۴- جذب: جذب ترکیبات ماده غذایی یا محیط اطراف توسط ماده بسته‌بندی مخصوصاً بواسطه جذب مواد طعمی از غذا و افت کیفیت
۵- کنترل شدت جذب
۶- عوامل مرتبط با پلیمر: ویژگی‌های یک پلاستیک شاخص‌ترین فاکتورهای کنترل کننده فرآیند جذب توسط آن می‌باشد. این ویژگی‌ها شامل طبیعت شیمیایی، شکل شناسی فرمولاسیون، فرآوری و حتی شرایط نگهداری و مصرف پلیمر می‌باشند.

۷-عوامل مرتبط با ترکیب جذب شونده :غلظت، قطبیت، حضور سایر ترکیبات جذب کننده، اندازه و ساختار مولکولی ترکیب.

۸-عوامل خارجی: ساختار ماده غذایی، حرارت و رطوبت نسبی.

۹-نفوذ (حل شدن و انتشار): ترکیبات دارای وزن مولکولی کم در مواد پلیمری از اهمیت بالایی برخوردار هستند. مخصوصاً در مورد کاربرد گسترده آنها در بسته‌بندی مواد غذایی [۱۵].

### ۳-۶-۴-۱۱طبقه‌بندی سیستم‌های بسته‌بندی ازلحاظ مهاجرت

مقوله مهاجرت مواد موجود در پلیمر به غذا در سیستم‌های بسته‌بندی برای حرکت مواد کوچک مولکول از بسته‌بندی به درون مواد غذایی مطرح می‌شود و به سه دسته تقسیم می‌شوند.

#### ۳-۶-۴-۱۱-۱ فاقد مهاجرت

شامل سیستم‌های فاقد مهاجرت، چه در حالت وجود یا عدم وجود ماده غذایی است، مانند بسته‌بندی‌های مواد غذایی کاملاً خشک هستند نظیر شیشه، کاغذ یا فلزات.

این نوع از بسته‌بندی از خود هیچ‌گونه پدید مهاجرت را نشان نمی‌دهد و این واقعیت ایده‌آل می‌تواند در بسیاری از انواع بسته‌بندی، درصورتی‌که دما و ماهیت محصول بسته‌بندی‌شده در نظر گرفته شود، وجود داشته باشد.

شرایط ایده‌آل (برابر صفر مهاجرت) را می‌توان با محصولات جامد خشک (از قبیل آرد، شکر، قهوه، نمک، سبزی‌ها خشک، میوه‌های خشک و غیره) در تماس با مواد بی‌اثر (شیشه، تین پلیت و کاغذ) در اتمسفر بدون آب حاصل نمود. برخی پلاستیک‌ها مانند نایلون تا حدودی پلی‌اتیلن، پلی‌استرها، رزین‌های اپوکسی (برای پوشش قوطی‌ها) و فیلم سلولز که برای بسته‌بندی محصولات بدون روغن، خشک و جامد استفاده می‌شوند را می‌توان جزو این دسته به شمار آورد.

ترکیبات ایده‌آل مربوط به پدیده مهاجرت بیشتر جنبه نظری دارند. تا عملی، مثلا شکر نرم را نمی‌توان در شیشه (به دلیل شکنندگی و وزن بسته‌بندی) بسته‌بندی کرد تا آنجا که به احتمال تبادل مربوط می‌شود. کاغذ و مقوا در صورت خشک بودن اتمسفر، مطلوبیت یکسانی دارند. مقواها و کاغذهای اصلاح‌شده (Upgraded) و یا تیمار نشده مواد مناسبی برای بسته‌بندی مایعات یا محصولات آبدار نمی‌باشند. به همین دلیل، نمی‌توان قوطی‌های فلزی بدون محافظه را برای مایعات اسیدی (سبزی‌ها یا اب میوه ها) به کاربرد و دلیل این امر واکنش ویژه‌ای است که فلزات و اکسیدهای فلزی (لایه‌های محافظ تشکیل شده بر روی قلع یا آلومینوم) با اسیدها از خود نشان می‌دهند.

در محصولات مایع (به جزء واکنش دهنده‌های قلیایی) به نظر می‌رسد شیشه ماده ایده‌آلی برای بسته‌بندی آن‌ها باشد و مهاجرت صفر را در بر داشته باشد. در مورد محلول‌های به شدت اسیدی امکان تبادل برخی یون‌های فلزی از قبیل کلسیم و سدیم با یون‌های هیدروژن اسید وجود دارد. برای مواد غذایی اسیدی (pH ۴/۵ تبادل قابل اغماض و در عین حال بی‌ضرر است به گونه‌ای که این مبادلات در اکثر مواد غذایی وجود دارند (جدول ۳-۱ را در نظر داشته باشید.). فیلم‌های پلاستیکی برای بسته‌بندی محصولات یخ زده را (چنانچه یخ زدن به‌سرعت انجام می‌پذیرد و بلافاصله پس از آنکه یخ‌ها آب شد، بسته‌بندی از محصول جدا گردد.) نیز می‌توان موادی ایده‌آل به حساب آورد.

### ۳-۶-۴-۱۱-۱ سیستم‌های دارای مهاجرت مستقل

این سیستم، بسته‌بندی است که مهاجرت مستقل را در پی دارد. یعنی مهاجرتی که به سبب محصول بسته‌بندی شده نباشد. غالب ترموپلاستیک‌هایی که در بسته‌بندی استفاده می‌شوند به این دسته تعلق دارند. مهاجرها اجزایی فرار هستند به خصوص مونومرهای حاصل از واسطه واکنش که از آن برای تولید پلیمر استفاده می‌شود یا مونومرهایی که به واسطه تجزیه (شکست) گرمایی در خلال شکل‌گیری پلیمر و تبدیل آن به ظرف به وجود می‌آیند. مهاجرت این اجزاء نتیجه فرایند انتشار است. مولکول‌های فرار به سوی سطح پلاستیک انتشار یافته و در آنجا به‌صورت بخار وارد هوا می‌گردند.

جدول۳-۱ مسمومیت برخی عناصر در حالتی که به شکل یون در آب حضور دارند (۸).

| عناصر و علائم شیمیایی | LD۵۰ (وزن بدنه kg/mg) | ED۵۰ (وزن بدنه kg/mg) | دسته مسمومیت |
|---|---|---|---|
| سدیم | ۱۴۸۰۰۰۰ | ۱۰۲۰۰۰۰ | A |
| کلسیم | ۳۰۰۰۰۰ | ۲۲۰۰۰۰ | A |
| منیزیم | ۱۲۵۰۰۰ | ۱۹۰۰۰۰ | A |
| پتاسیم | ۹۷۰۰۰ | ۶۸۰۰۰ | A |
| قلع | ۴۲۰۰۰ | ۱۵۰۰ | A |
| آهن | ۵۹۰۰ | ۵۲۰۰ | A |
| آرسنیک | ۲۸۵۰ | ۱۴۰۰ | B |
| کرم Cr+ | ۲۰۰۰ | ۶۰۰ | B |
| آلومینیوم | ۱۴۰۰ | ۶۸۰ | B |
| سرب | ۳۰۰ | ۱۰۰ | C |
| روی | ۱۵۸ | ۱۰۲ | C |
| نیکل | ۱۳۰ | ۹۵ | C |
| مس | ۴۴ | ۳۵ | D |
| جیوه | ۱۳ | ۶۷ | D |
| کادمیوم (Cd+) | ۵ | ۶۷ | D |

A= غیرسمی، R= اندکی سمی، C= نسبتاً سمی، D= بسیار سمی

به دلیل مسمومیت بالقوه از یک سو (مانند وینیل کلراید استایرن) و به جهت تغییرات بالقوه در خواص ارگانیسمی مواد غذایی بسته‌بندی‌شده از سوی دیگر این گونه مهاجرت‌ها باید محدود گردند (۸). در این حالت، مهاجرت به شکل خود به خود انجام می‌گیرد، مانند انتشار ترکیبات گازی نظیر مونومر وینیل‌کلرید (VCM) از پلاستیک پلی‌وینیل‌کلرید به درون مواد غذایی و مهاجرت مونومرها از پلاستیک‌های بسته‌بندی پون‌استیرن از پلی‌استیرن و استالدهید از پلی‌اتیلن ترفتالات.

کمیته اروپای (استانداردهای اروپایی) درمورخه ۱۹۸۰/۴/۲۵ درباره شرایط ساختگی (شبیه سازی) مهاجرت الزامات سختی را برای مونومر وینیل‌کلراید تعیین کرده است. اگر چه (ppm) برای پلاستیک‌ها مجاز شمرده می‌شود اما هیچ وینیل‌کلرایدی نباید در مواد غذایی وجود داشته باشد. این به آن معنی است که غلظت مجاز در مواد غذایی باید کمتر از حد تعیین شده گاز باشد.

### ۳-۶-۴-۱۱-۲ سیستم نشتی

در این فرایند مهاجرت به وسیله ماده درون بسته‌بندی ماده غذایی کنترل می‌شود و در نبود آن قابل صرف نظر است. این گروه نیز خود به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف- افزودنی‌هایی که با ماده غذایی در تماس‌اند: در این حالت به محض تماس غذا با بسته‌بندی لایه سطحی ماده مهاجرت کننده حل شده و غلظت آن در ماده بسته‌بندی به حد پایین افت می‌کند.

پس از عبور از این دوره نامتعادل اولیه، مهاجرت مطابق آن چه در گروه دوم بود، ادامه می‌یابد.

ب- کلیه افزودنی‌های به پلاستیک‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی: که فرایند آن شامل دو مرحله مجزا ولی برخلاف جهت هم است. ابتدا یکی از مواد غذایی مانند آب تا عمق مشخصی در دیواره پلاستیک نفوذ می‌کند.

ایجاد تغییرات در بافت پلاستیک باعث افزایش تحرک ماده مهاجرت کننده می‌شود. در مرحله بعد، ماده مهاجرت کننده که ضریب انتشار آن افزایش یافته است، به سمت ماده غذایی که با آن در تماس است، انتشار می‌یابد. در این حالت، بر هم‌کنش بین ماده بسته‌بندی

و ماده غذایی رخ می‌دهد. غذا به داخل پلاستیک نفوذ می‌کند و بنابراین باعث تخریب ساختار فیزیکی آن می‌شود. این امر سبب باد کردن پلاستیک می‌شود که به تدریج با پیش رفت نفوذ افزایش یابد.

نوعی از بسته‌بندی است که در آن مهاجرت غیرمستقل رخ می‌دهد. بنابراین محتویات بسته‌بندی شده علت وجودی آن می‌باشد. این گونه پدیده‌های تبادلی در اغلب بسته‌بندی‌ها به وقوع می‌پیوندند. تشریح مواد دسته اول نشان داد که واسطه مایع و تا حد کمتری دما نقش تعیین کننده‌ای در وقوع مهاجرت غیر مستقل دارند. این پدیده به خواص فیزیکی و شیمیایی دو عنصری که در تماس با یکدیگر هستند و نیز به نوع بسته‌بندی و ماهیت محصول بسته‌بندی شده بستگی دارد.

در محیط‌های اسیدی یا قلیایی، شیشه قادر است یون‌های کلیسم و سدیم را مبادله کند. در ظروف شیشه‌ای سربی (مانند کریستال یا برخی لعاب‌های رنگی برای ظروف سرامیک) امکان مبادله یون‌های کادمیم و یا سرب با یون‌های اکسیژن حاصل از واسطه آبی وجود دارد. تین‌پلیت (حلبی) و آلومینوم در تماس با مایعات آبی قلیایی یا اسیدی مطابق با خواص شیمیایی ویژه فلز، خورده شده و زنگ می‌زنند که در نتیجه این زنگ زدگی ورود فلز به شکل یون‌های فلزی به داخل محلول اتفاق می‌افتد.

### ۳-۶-۴-۱۲ فیزیک و مدل‌های مهاجرت

سرعت و چگونگی گسترش پدیده مهاجرت به وسیله خواص مهاجرت کننده، پلیمر، شبه غذا و دما معین می‌شود. منظوراز شبه غذا، ماده‌ای است که در تماس با ماده مورد نظر عملکردی مانند غذا داشته باشد. از آن‌جا که اغلب تحلیل نتایج آزمون‌های انجام شده با غذا مشکل است، از شبه غذا به جای غذا استفاده می‌شود. مهاجرت اجزا در شرایط آزمایش از مواد پلاستیکی بسته‌بندی به غذای مورد آزمایش به‌طور مشخص به ویژگی‌های فیزیکی– شیمیایی فازهای در تماس، مانند چگالی پلاستیک‌ها، مقدار آرایش یافتگی مولکول‌ها در سطح، قطبی بودن و گرانروی فازها وابسته است. ضریب نفوذ بر اساس نظریه حجم آزاد بیان می‌شود. بنابراین احتمال یافتن مهاجرت کننده برابر احتمال یافتن حفره‌ای به اندازه کافی بزرگ است که مهاجرت کننده به درون آن مهاجرت کند. با این وجود به وسیله معادلات،

پیش بینی و تخمین ضریب نفوذ بر مبنای این نظریه امکان پذیر است، این امر شامل عوامل قابل تعدیل خواص فیزیکی و مرتبط با شکل‌شناسی پلیمر می‌شود، ولی اندازه‌گیری و تخمین این عوامل اغلب فیزیکی و مرتبط با شکل‌شناسی پلیمر می‌شود، ولی اندازه گیری و تخمین این عوامل اغلب مشکل است. مهاجرت از میان منافذ و سایر فواصل و از سوی دیگر به خواص پلیمر چون چگالی، بلورینگی، میزان اتصافات عرضی و شاخه‌ای بودن پلیمر بستگی دارد.

دمای انتقال شیشه‌ای پلیمر[1] که تعیین کننده انعطاف‌پذیری مولکول‌های پلیمر است، نیز در این مورد اهمیت دارد. زیر دمای Tg، مولکول‌های پلیمر سفت‌اند و شانس این که مهاجرت کننده و بتواند حفره بزرگی بیابد، محدود و ناچیز است. در دمای بالاتر از بالای دمای Tg، مولکول‌های پلیمر انعطاف‌پذیری زیادی دارند (حالت لاستیکی) و شانس مهاجرت افزایش می‌یابد. بنابراین، هر چه دمای Tg پلیمر پایین‌تر باشد، نرخ مهاجرت از آن پلیمر بیشتر است. صرف نظر از دمای Tg، در دمای بالاتر انعطاف مولکول‌های پلیمر بیشتر و بنابراین نرخ مهاجرت افزایش می‌یابد.

خواص ترمودینامیکی مانند قطبی بودن و انحلال پذیری، سرعت مهاجرت را به دلیل بر هم کنش بین پلیمر، مهاجر و شبه غذا، تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌طور مثال، اگر مهاجر انحلال پذیری ضعیفی در شبه غذا داشته باشد، به‌طور عمده در پلیمر باقی می‌ماند تا این که به شبه غذا مهاجرت کند. به همین علت است که اغلب سرعت مهاجرت برای چربی‌ها و شبه غذاهای چرب مانند روغن زیتون، اتانول یا ایزواکتان ۹۵٪، از شبه غذاهای آبی بیشتر است. اگر خود شبه غذا میل ترکیبی با پلیمر داشته باشد ممکن است به وسیله پلیمر جذب شود. جذب حلال‌های آلی معین باعث تورم ماتریس پلیمر می‌شود. این تورم موجب ایجاد فواصل بزرگ می‌شوند و سرعت مهاجرت افزایش می‌یابد. اثر جذب غذاها به درون ماتریس پلیمر هنوز به‌طور مشخص معین نشده است، اما می‌تواند حائز اهمیت باشد.

انتقال مولکول‌های کوچک از میان پلیمر بدون خلل و فرج فرایند نفوذ انحلال است و شار وابسته به انحلال‌پذیری و نفوذپذیری است. همان طور که قبلا گفته شد، نفوذ، نفوذکننده‌ها در پلیمرهای نیمه بلوری بیشتر از میان فاز بی‌شکل اتفاق می‌افتد. بلورها عموما برای تمام

[1] Glass Transition Temperature

سیستم ایجاد می‌کنند که باعث افزایش مسیر نفوذ می‌شوند. بدین ترتیب، آن چه ممانعت هندسی نامیده می‌شود، به وسیله عامل پیچ و خم تعریف می‌شود. حرکت قطعه فاز بی‌شکل به‌شدت با محدودیت ممانعت بلورها کاهش می‌یابد. هم چنین، نقص‌های زنجیرها شامل انتهای زنجیرها و شاخه‌های آن‌ها در فاز بی‌شکل وجود دارد که باعث افزایش حجم آزاد می‌شود. مدل‌های نظری بسیاری به منظور توضیح نفوذ کوچک مولکول‌ها در ماتریس‌های پلیمری ارائه شده است. طبق مقیاس مکان- زمان در فرایندهای اساسی فیزیکی – شیمیایی این مدل‌ها به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند که به مدل‌های نفوذ میکروسکوپی و اتمی موسوم‌اند.

مدل‌های میکروسکوپی که طی ۳۰ سال اخیر توسعه یافته‌اند، نتایج تجربی را بر اساس وابستگی ضریب نفوذ به دما، ماهیت نفوذ کننده و غلظت آن در پلیمر تفسیر می‌کنند. هم چنین، مدل‌های مزبور می‌توانند ارتباط با ساختار میکروسکوپی یا عوامل انرژی ماتریس پلیمر یا عوامل انرژی اجزای نفوذ کننده را مشخص کنند. عوامل میکروسکوپی بیشتر متوسط داده‌های هندسه ساختار و ابعاد درشت مولکول‌های پلیمری یا مولکول‌های نفوذ کننده بر اساس طول زنجیره‌های پلیمر و زوایای قطاع‌های زنجیر، متوسط فضاهای تخمینی بین زنجیرهای پلیمر، متوسط پراکندگی یک نواخت حجم‌های آزاد، قطر نفوذ کننده‌ها و غیره هستند. در واقع، بیشتر این مدل‌ها به درستی مدل میکروسکوپی نیستند، زیرا فرمول ریاضی وابسته به خواص ماکروسکوپی یا چگالی است (۶ و ۷ و ۸).

### ۳-۶-۴-۱۳ انواع مهاجرت

اجزایی که سطح بسته‌بندی را ترک می‌کنند مهاجر (migrant) نامیده می‌شوند. تفاوتی که در این زمینه قائل می‌شویم عبارتست از:

مهاجرت جامع یا کلی (Global Migrantion) که مجموع تمامی مهاجران را در بردارد (اکثراً ناشناخته).

مهاجرت ویژه (Specitic Migrantkion) که انتقال یک جزء ویژه از قبیل یون‌های فلزی یا پلاستی سایزرها (Plasticizers) را شامل می‌گردد (۸).

### ۳-۶-۴-۱۳-۱ مهاجرت جامع یا کلی

مجموع تمام ترکیبات متحرک ماده بسته‌بندی (معمولاً ناشناخته) است که وارد غذا یا شبه غذا می‌شوند. در این حالت سعی بر آن است که مواد مضر برای مصرف‌کننده اندازه‌گیری شود. ادعا بر این است، برای مواردی که ظرفیت بین ۰/۵ تا ۱۰ لیتر است، دما و زمانی مطابق با شرایط واقعی کاربری، اگر مهاجرت کلی زیر ۱۰ میلی‌گرم بر دسی‌متر مربع از سطح ماده بسته‌بندی یا ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ماده غذایی باشد، در این حالت ماده هیچ‌گونه خطری ندارد. از آن جا که شناسایی نوع ماده مهاجرت کننده انجام نمی‌گیرد، بلکه مهاجرت کلی فقط می‌تواند به‌عنوان یک معیار ضعیف خنثی بودن مواد باشد و اثر کمی در توجیه بر پایه علمی دارد (۶ و ۸).

### ۳-۶-۴-۱۳-۲ مهاجرت ویژه

این مهاجرت مربوط به یک یا چند ترکیب شناخته شده ویژه در پلیمر است. ممکن است یک جزء خاص (مونومری) که از لحاظ سم‌شناسی مد نظر باشد یا ترکیب مورد نظر برای آزمایش خاصی در نظر گرفته شده باشد که مکانیسم مهاجرت را به کمک آن می‌توان توجیه کرد. برای بسیاری از ترکیبات حد مهاجرت ویژه (SML) تعریف شده است. هنگامی که مونومری با حد مهاجرت ویژه معین در تولید یک ماده پلاستیکی استفاده می‌شود (که در تماس با غذا خواهد بود)، باید آزمون مهاجرت ویژه برای آن مونومر در بسته‌بندی نهایی انجام گیرد. افزون بر این، مجموع مهاجرت‌های ویژه نباید از حد مهاجرت کلی تجاوز کند. اصلاحیه قوانین اساسی اتحادیه اروپا (EC) برای آزمایش، هر دو حد مهاجرت کلی ویژه را مشخص می‌کند. طبق قوانین استاندارد موجود، مقدار مونومرهای باقی‌مانده در بسته‌بندی‌ها نباید از ۰/۱ درصد بیشتر باشد (۶ و ۸).

### ۳-۶-۴-۱۴ مشکلات مربوط به اندازه گیری مقدار مهاجرت

ترکیبات موجود در پلاستیک ممکن است ناشناخته بوده و طی فرایند تجزیه شوند. تعیین بسیاری از این ترکیبات به وسیله تجزیه آن‌ها در ماتریس پیچیده‌ای نظیر غذا مشکل است، به ویژه زمانی که فقط به مقدار کم در استخراج موجود باشند. همچنین ترکیبات دیگری غیر

از ماده مد نظر نیز ممکن است استخراج شوند، درنتیجه در تجزیه اختلال ایجاد شود. همینطور لازم به ذکر است، بسیاری از محصولات غذایی فقط برای دوره‌های کوچک زمانی پایدار هستند، در حالی که داده‌های استخراج ممکن است برای مطالعه‌های طولانی مدت نیاز باشد و در نهایت ایجاد شرایط آزمایش مناسب به علت تغییرپذیری گسترده در شرایط تماسی ممکن، آسان نیست (شرایط علمی نظیر انبارها، سوپرمارکت‌ها، گنجه‌های خانگی)
تعیین مهاجرت ویژه، مطالعه‌ای پر هزینه، وقت‌گیر و دقیق است. برعکس، تعیین مهاجرت جامع ارزانتر است، البته اطلاعات ویژه‌ای نمی‌دهد، اما با این حال از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا تمامی اجزای بسته‌بندی در لیست‌های معینی به همراه ماکزیمم مقدار مهاجرت مجاز بر شمرده می‌شوند. تعیین مهاجرت جامع به عنوان یک معرف عمل می‌کند. چنانچه آزمایش مقدار زیادی را نشان می‌دهد، احتمال مسمومیت وجود دارد و زمانی که ماکزیمم مقادیر مهاجرت جامع مجاز از حد بگذرد، باید مهاجرت‌های ویژه مورد بررسی قرار گیرند (۷ و ۸).

### ۳-۶-۴-۱۵ استفاده از مقلدهای غذایی در تعیین میزان مهاجرت

با توجه به دلایل یاد شده در اغلب این بررسی‌ها از مشابه‌های غذایی استفاده می‌شود.
هنگامی که مشخص شود، کنترل آزمایش‌های مهاجرت با به کار بردن مواد غذایی ممکن است، آزمایش‌های مهاجرت با استفاده از مایعات مشابه مواد غذایی انجام می‌شود. این مایعات مشابه غذایی طبق تعاریف استانداردها ترکیبات معینی هستند. در این ارتباط مواد غذایی به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

الف- غذاهای آبکی
ب- غذاهای اسیدی
ج- غذاهای الکلی
د- غذاهای چرب

برای هر یک از این دسته مواد غذایی شبیه سازی خاصی معین شده است.

### ۳-۶-۴-۱۶ راه‌های مهاجرت

#### ۳-۶-۴-۱۶-۱ مهاجرت از طریق بسته‌بندی‌های پلاستیکی

مواد پلاستیکی به‌طور فزاینده‌ای برای بسته‌بندی مواد غذایی و مواد دارویی به کار گرفته می‌شوند. این مواد جدید هستند و فقط بخشی از مکانیزم‌های مربوط به آنها تاکنون توضیح داده‌شده است؛ و در این مورد مطالعات همچنان ادامه‌داری تاثیرات متقابل و بالقوه سطوح بسته‌بندی و محصول را می‌توان ترکیبی از پدیده های انتشار را در پی دارند، به حساب آورد. نخست سطح پلاستیک، مایع (در تماس با خود) و یا اجزاء محلولی را که قادرند به داخل (سطح پلاستیک) نفوذ کنند را جذب می‌نماید و بدین گونه فاصله مولکولی میان مولکول‌های پلیمر افزایش پیدا می‌کند و افزودنی‌های گوناگونی که بین آن‌ها جای می‌گیرند به راحتی در دسترس قرار می‌گیرند و آسان‌تر برطرف می‌شوند. مایع در تماس، فقط به میزان چند دهم و حداکثر چند میکرون به عمق سطح (بسته‌بندی) نفوذ می‌کنند. این ناحیه اشباع شده از مایع گسترده‌تر می‌شود و می‌توان آن را با میکروسکوپ مشاهده کرد. با توجه به اینکه ماهیت مایع در تماس چگونه باشد (روغنی، قلیایی، اسیدی یا الکلی) استخراج مواد افزودنی محدود و یا گسترده اتفاق خواهد افتاد (به مانند انتشار مونومر) در اینجا نیز نیروی رانش داخل و خارج سطح بسته‌بندی ازنظر تمرکز متفاوت است از آنجا که امکان وقوع پدیده‌های گوناگون به‌طور همزمان وجود دارد؛ مثلا نفوذ مایع (مایع در تماس) و استخراج افزودنی‌ها، لذا ازنظر تئوری، تعادل فقط بعد از دور طولانی تماس، برقرار می‌شود. در عمل مشاهده شده است که حالت منطبق با حداکثر ممکن مهاجرت جامع (یا ویژه) که البته با دما تغییر می‌کند، به میزان چند درصد در ظرف ۵ روز قابل دستیابی است.

#### ۳-۶-۴-۱۶-۲ مهاجرت ترکیبات رزین‌های پلاستیکی

جنبه مهم دیگر، نیاز به یک بررسی کلی در مورد اجزاء احتمالی مهاجر در رزین‌های پلاستیکی است. اغلب پلاستیک‌هایی که در بخش بسته‌بندی به کار گرفته می‌شوند، در سطح وسیع و صنعتی تولید می‌گردند. مونومرها به‌طور شیمیایی در یک محیط آبی تحت تأثیر کاتالیزورها، دما و فشار واکنش نشان می‌دهند. (تشکیل ترکیبات در مولکول) از آنجا که این واکنش در دمای اتاق تولید ماده جامد می‌کند. لذا اجزای شکل گرفته در این واکنش

می‌توانند پس از جداسازی و تصفیه محصول نهایی، همچنان محصور بمانند. همچنین این گروه شامل حلال‌ها، مقادیر ناچیز کاتالیزور، آغازگر (Initiatir) و ناخالصی‌های واکنش دهنده‌ها نیز می‌گردد. هنگامی‌که از مشتقات پراکسید به‌عنوان کاتالیزور استفاده می‌شود، مهاجرتی که بر حسب mg اکسیژن فعال می‌شود، نباید از ۰/۵ mg در ۶ dm بیشتر باشد (۸ و ۶).

### ۳-۶-۴-۱۶-۳ مهاجرت افزودنی‌های با کاربرد خاص یا تعمدی (Intentional Additives)

این گروه شامل موادی می‌شود که در پلیمرها به منظور کسب خواص مورد نیاز برای مواد بسته‌بندی نهایی یا تسهیل آماده‌سازی و روانی آن‌ها، اضافه می‌گردد. این مواد را می‌توان به شکل زیر تقسیم کرد.

#### ۳-۶-۴-۱۶-۳-۱ مواد بهبود دهنده خاص

در میان این مواد، پلاستی‌سایزرها (Plasticizers) بسیار ناشناخته شده‌اند. این مواد را اضافه می‌کنند تا به ماده اولیه، انعطاف دلخواه را بدهند. انتخاب پلاستی‌سایزر و مقدار لازم آن، به میزان بسیار زیادی به نوع پلاستیک هدف (بخش غذایی، دسته کردن واحدهای بار و غیره) و به دمای انتقالی شیشه برای حصول به نرمی دلخواه بستگی دارد. اکثر پلاستی‌سایزرها مایعاتی هستند که نقطه جوشی بالا و فشار بخاری پایین دارند. این مواد بین مولکول‌های پلیمر جای می‌گیرند و بدین گونه از میزان بلورینگی می‌کاهند. بنابراین، میزان تردی و شکنندگی در دمای مصرف (اکثر دمای اتاق ۲۰ درجه سلسیوس و نیز دمای انجماد ۱۸- درجه سلسیوس و کمتر از آن) کاهش می‌یابد. مثال‌های معمول در این مورد، استرهای فتالیک یعنی DBP (دی‌بوتیل‌فتالات) و DEHP (دی ۲C) اتیل‌ان‌هگزیل‌فتالات می‌باشند که در PVC ازنظر وزن به ۲۰٪ بالغ می‌شوند.

ترکیب بارز و مهم استرهای اسید فسفریک (TPC تری کرسیل فسفات) می‌باشد. معمولا پلاستی‌سایزرها در رزین‌های PE مخلوط نمی‌شوند. بنابراین، مولکول‌های کوچکتر (با جرم

مولکولی کم) نقش پلاستی‌سایزر را برای مولکول‌های بزرگتر (با جرم مولکولی زیاد) بازی می‌کنند. این گروه شامل رنگ دهنده‌های معمولی نیز می‌شود.
این رنگ دهنده‌ها به مواد اولیه رنگ همگون و واحدی می‌بخشند. می‌توان از محصولات جامد، لاستیکی و الیافی جهت متاثر کردن خواص مکانیکی بهره گرفت (۴ و ۵).

### ۳-۶-۴-۱۶-۳-۲ تثبیت کننده‌ها (Stabilizers)

اضافه کردن این مواد به منظور حفاظت پلاستیک در مقابل نور (به ویژه اشعه‌های UV و اکسیژن اتمسفری) صورت می‌پذیرد. در طی مراحل مختلف آماده‌سازی پلیمر تا مواد نهایی بسته‌بندی، تیمارهای گرمایی متعددی به مورد اجرا در می‌آیند. تجزیه گرمایی، نقاط واکنش‌پذیری را در پلیمر به وجود می‌آورد و مواد را آماده تشکیل پراکسید با اکسیژن اتمسفری که باعث تنزل خواص پلاستیکی می‌شود، می‌نمایند. در مورد PVC گاز اسید هیدروکلریک (HCL) در خلال تولید مواد بسته‌بندی (شکل گرفتن بطری یا فیلم) به وجود می‌آید. این اسید مخرب بر فساد و تخریب رزین می‌افزاید از آنجا که HCL فقط از پلاستیک‌های آغشته با کلر به وجود می‌آیند. لذا افزودنی‌های کندکننده (Retardant Additives) تثبیت‌کننده‌های گرمایی نامیده می‌شوند. بر خلاف آنتی‌اکسیدان‌ها که برای خنثی کردن مشتقات پراکسیدی و ممانعت از تشکیل آن‌ها به کار می‌روند.
بدین گونه تثبیت کننده‌ها و آنتی اکسیدان‌ها همیشه در رزین‌های پلاستیکی حضور دارند. حضور آن‌ها دربسته‌های موجود در عمده فروشی‌ها و سوپر مارکت‌ها می‌تواند زیان آور باشد چراکه نور حاصل از لامپ‌های نئونی که در سالن‌های ارائه محصول به کار می‌روند. انرژی کافی برای ایجاد آن نوع تجزیه که در بالا ذکر شد را دارا می‌باشد. درصد غالب تثبیت کننده‌ها در مواد نهایی بسته‌بندی حدود ۰/۱ ٪ است. مسلم است که ترکیبات قلع عموما سمی‌هستند؛ اما در عین حال این ترکیبات این مزیت را دارند که به نور حساسند و بر مبنای آن مواد تجزیه‌ای شکل می‌گیرند و این مواد به دلیل حیات محدودشان، دیگر از پلاستیک حفاظت نمی‌کنند. لذا پس از مصرف، پلاستیک به وسیله شرایط آب و هوا سریعتر تجزیه می‌شود. جذب کننده‌های UV، پر اکسیدها را خنثی نمی‌کنند، اما خاصیت جذب نور UV را

دارند، مانند شیشه پنجره که روشنایی را عبور می‌دهد اما در مقابل اشعه‌های UV نفوذ ناپذیر است (۴ و ۵).

### ۳-۶-۴-۱۶-۳-۳ کمک‌های تکنیکی

در مطالعات مختلف، عموما این گونه افزودنی‌ها را کمک‌های تولید (Production Aids) می‌نامند. در حقیقت این افزودنی‌ها در طی مراحل مختلف از آماده‌سازی مواد خام تا بسته‌بندی نهایی، نقش کمک را ایفا می‌کنند. روغن‌ها (روان سازها) میزان قوام و چسبندگی را در طی حرارت‌دهی پایین می‌آورند. کمک‌های ضد انسداد سطوح فیلم را به گونه‌ای می‌سازند که کمتر به یکدیگر بچسبند. عوامل ضد چسبندگی، جداسازی مواد شکل گرفته را از قالب‌های آنها ممکن می‌سازند و عوامل ضد استاتیک (Antistatic) تولید بارهای الکترواستاتیک (الکتریسیته مالشی) را محدود می‌نمایند. تراکم بارهای استاتیک می‌تواند به مواد لطمه بزند و یا در صورت جرقه زدن موجب آتش‌سوزی گردد و یا به دلیل جذب غبار به‌طور الکترواستاتیک، باعث فاسد شدن مواد بشود (۴ و ۵).

### ۳-۶-۴-۱۶-۳-۴ عوامل ضد مه (Antifog Agents)

شکل‌گیری قطرات آب بر روی سطح داخلی فیلم‌های بسته‌بندی را کاهش می‌دهند، در غیر این صورت بسته‌ها مرطوب می‌شوند و محصولات جذابیت خود را تا حدودی از دست می‌دهند این افزودنی‌ها عمدتا در سطح بسته‌بندی باقی می‌مانند و در آنجا باعث پایین آمدن کشش سطحی قطرات آب می‌گردند. به گونه‌ای که آب در فیلم نازک گسترده و پراکنده می‌شود (۴ و ۵).

### ۳-۶-۴-۱۶-۳-۵ عوامل جفت‌کننده (Anchoring Agents)

موجب پیوستگی بین پلیمرها و فلزات می‌گردند، مانند آلومینیوم دربسته‌های لامینه، روش کار بدین شکل است که سطح پلیمر را با مولکول‌هایی که بخشی از آن در پلیمر محبوس است و بخشی دیگر به‌صورت برجسته از سطح پلیمر بر آمده اشباع می‌کنند. بخشی برجسته به واسطه قدرت جذب الکتریکی یا به واسطه واکنش شیمیایی، این رابطه (بین پلیمر و فلز)

را تضمین می‌نماید. عوامل Chelating اصولا موجب قرار گرفتن دقیق یون‌های فلزی (که به‌صورت ناخالصی در پلیمر موجودند) می‌گردد (۴ و ۵).
درنهایت گروه‌های مربوط به افزودنی‌های مورداستفاده برای مقاصد خاص را در نظر می‌گیریم که عبارتند از:

### ۳-۶-۴-۱۶-۳-۶ عوامل فوم کننده (Foeming Agents)

این عوامل مواد گازی شکلی (مانند فرئون که در حال حاضر جای خود را به دی اکسید کربن داده است) هستند که در طی فرایند آماده‌سازی پلاستیک آزاد می‌شوند و موجب پف کردن و خلل و فرج بیشتر مواد اولیه می‌گردند. در محصول نهایی این گاز در حجره‌های کوچک محبوس می‌شود و باعث بهبود عایق بندی و خواص متعادل رطوبتی می‌گردد علاوه بر این، حجره‌های کوچک پر از گاز باعث جذب شوک‌های مکانیکی نیز می‌گردند (مثل اسفنج‌های فوم). پلی‌استایرن که در بسته‌بندی کالاهای ترد و گران قیمت به کار می‌رود.

### ۳-۶-۴-۱۶-۳-۷ کندکننده‌های اشتعال(Flame Retardants)

این مواد باعث کاهش قابلیت اشتعال پلاستیک‌ها می‌شوند. این جنبه، برای تولید لوازمی مانند چرم‌های مصنوعی اتومبیل‌ها، مواد ترکیبی صندلی‌های داخل اتومبیل‌ها و هواپیماها و امثال آن، مهم‌تر از بسته‌بندی کالاهاست.

### ۳-۶-۴-۱۶-۳-۸ عواملی که شفافیت رزین‌های پلاستیک را تغییر می‌دهند

این عوامل به بسته‌بندی درخشندگی می‌بخشد و بدین گونه بخش بیشتری از نور منعکس می‌شود (مانند سطوح پلاستیکی که با آلومینوم متالایز می‌شوند.) ترکیبات دیگری از قبیل مشتقات سولفونامید حاصل از ۴ نافتیل تریازولیل استیلی بن UV را با نوری غیر از فرکانس نور اتفاقی منعکس می‌کنند و اثرات نوری ویژه‌ای به وجود می‌آورند (جدول ۳-۲ را ملاحظه نمایید.) این گونه مواد را مسلما در لیست قبولی (Positive List) افزودنی‌ها که در کمیته اروپایی (استاندارد اروپایی) مورخه ۱۹۷۶/۸/۲۵ و بعد از آن آمده است، جای داد. در مورد کمک‌های تولید، باید گفت که غلظت آن‌ها در پلاستیک معمولا بسیار کم است، یعنی چیزی

حدود۰/۱ ٪ اما به هر صورت تمام آن‌ها به‌طور یکسان در جرم پلاستیک توزیع نمی‌شوند. زیرا اکثراً در سطح پلاستیک فعال هستند این بدان معنی است که به مجرد استعمال بسته، این کمک‌ها تقریباً به‌طور کامل به داخل واسطه در تماس وارد می‌شوند (۴ و ۵).

جدول۳-۲ کمک‌های تولید پلاستیک‌ها در مقابل مواد شیمیایی مربوطه

| نوع افزودنی | مواد شیمیایی و با ترکیبات نمونه و نمایانگر |
|---|---|
| روغن‌ها (روان سازها) | سولفیت مولیبدن، گرافیت، پودر تفلون، آمیدهای اسید چرب استرهای اسیدهای چرب، پتانسیم، سدیم، کلسیم، استئارات روی |
| عوامل ضد انسداد antlbaek) agont) | اکسید نرم سیلیسیم، ینونیت، خاک رس |
| کمک‌های ضدچسبندگی | هیدروکربن‌ها، روغن‌ها |
| عوامل ضداستاتیک و ضد مه | اتانل و دیگر آمین‌ها، آمیدها، الکل‌ها، نمک‌های آمونیم یک چهارم، پاک‌کننده‌های ترکیبی یعنی اسیدهای سولفونیک و اسیدهای اکلیلاریل سولفونیک، مشتقات اسید فسفریک، مشتقات پلی انیلن گلیکول. |
| عوامل چسبندگی tackiness agents | اسیدهای چرب (مانند اسید استاریک)، اسید سالیسیلیک، ترکیبات کلردار، مشتقات پیپریدین، تیتانیم. |
| عوامل chelating | تری فنیل و تری اکتیل فسفات‌ها، آمیل‌ها، آکسامیدها |

### ۳-۶-۴-۱۷ مضرات پلی استایرن

مونومر استایرن به کار رفته در بسته‌بندی پلاستیک بنابر شرایط محیطی از قبیل دما قادر به مهاجرت از ظرف به داخل غذا و ورود به بدن می‌باشد. با ورود بخارات استایرنی مونومر به داخل بدن انسان اثرات قابل توجهی مانند ناراحتی‌های پوستی و سوزش چشم، گلو و بینی به‌عنوان اثراتی که عمدتا می‌تواند سریع ظاهر شود، نمود پیدا می‌کند. اثرات سمی مونومر استایرن بر روی دستگاه تولید مثل، تنفس، سلسله اعصاب، دستگاه گوارش، دستگاه لنفاوی و سایر اندام‌های بدن طی دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه محققان و مراکز پژوهشی بوده است، به‌طوری که نتیجه این تحقیقات حاکی از آسیب پذیر بودن بدن در مواجه با مونو استایرن به ویژه در دستگاه تنفسی و گوارشی می‌باشد. اتحادیه اروپا به منظور کنترل میزان ورود ترکیبات مختلف از مواد بسته‌بندی به ماده غذایی، قوانین و محدودیت‌های مشخصی را تعیین و اعمال نموده است (۴).

اثرات مزمن مونومر استایرن مربوط به متابولیت‌های آن به ویژه اکسید استایرن است که واجد اثرات بسیار مخرب بر روی سیستم عصبی مرکزی و کبد می‌باشد و حتی می‌تواند منجر به ایجاد شکست‌های کروموزومی در لنفوسیت انسان شود.

استایرن به مقدار ناچیز در میوه‌ها و سبزی‌ها و گوشت به علت انتقال از آب‌های سطحی و خاک یافت می‌شود. نیمه عمر آن کمتر از دو روز است و در بافت‌های داخلی حیوانات و انسان تجمع می‌یابد و طبق بررسی واکمن و همکارانش در سال ۱۹۹۷ تراکم این ماده در آبزیان بیشتر از جانوران خشکی‌زی صورت می‌گیرد. توزیع استایرن در محیط هم به‌صورت محیطی و هم به‌صورت شغلی مطرح می‌باشد که در هر دو حالت توجه به راه‌های انتقال این ماده از لحاظ تاثیر پذیر بر سلامتی موجودات زنده بسیار پر اهمیت است.

در روش‌های OSHA، NIOSH، ACGIH، EPA قوانین مربوط به استانداردهای مواجهه این ماده در محیط کار و زندگی بیان شده است و شاخص‌های بهداشتی مربوطه تدوین و تبیین گشته است. بدین منظور تمامی مواد شیمیایی تولید کارخانه‌ها جهت تحقیقات علمی مد نظر قرار می‌گیرند تا بدین طریق شاخص‌های بهداشتی مواجهه با این گونه مواد بر انسان و حیوانات تعیین شوند (۴).

### ۳-۶-۵ اثر مایکروویو بر بسته‌بندی مواد غذایی

به‌طورکلی می‌توان از مواد مختلفی جهت ساخت بسته‌بندی قابل کاربرد در مایکروویو استفاده نمود. این امواج بوسیله فلزات منعکس می‌گردند، از شیشه، کاغذ و پلاستیک عبور کرده و بوسیله مواد غذایی جذب می‌گردند. ظرف‌هایی که برای استفاده در مایکروویو انتخاب می‌شود، باید قابلیت عبور اشعه را داشته باشد تا این اشعه بتواند به غذا نفوذ کند بنابراین امکان کاربرد ظروف فلزی در بسته‌بندی‌های قابل کاربرد در مایکروویو وجود ندارد (ظروف شیشه‌ای با درب فلزی برای این کاربرد مناسب نمی‌باشند). برخی از مواد پلاستیکی مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی نیز قابلیت کاربرد در مایکروویو را دارند ازجمله: پلی‌پروپیلن، پلی استیرن، پلی‌اتیلن با دانسیته بالا، پلی وینیل کلراید.

مهم‌ترین مسئله‌ای که در ارتباط با بسته‌بندی‌های پلاستیکی وجود دارد مهاجرت مواد بسته‌بندی به داخل غذا بعد ازاستفاده مجدد ازظروف می‌باشد. در ایالات متحده، سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) تست‌هایی برای اندازه‌گیری مقدار مواد شیمیایی و حداکثر مقدار قابل تنظیم آن‌ها برای استفاده از ظروف پلاستیکی که در تماس با مواد غذایی است و در مایکروویو قرارست استفاده شود دارد. تنها ظروف با استانداردهای تعیین شده توسط محققین می‌توانند برچسب مایکروویو امن دریافت کنند. ظروف ترموپلاستیک ظروف مقاوم به گرما هستند. مواد پلاستیکی سنگین‌تر برای microwaving ساخته می‌شوند. ظروف سرامیکی و یا شیشه‌ای معمولا برای استفاده در مایکروویو ایمن هستند. بطورکلی مواد ایمن در ماکروویو عبارتند از: شیشه و ظروف سرامیکی، صفحات کاغذی، حوله و دستمال، موم و کاغذ کاغذ پوست. در ایران بسته‌های دارای برچسب ایمنی ماکروویو تولید نمی‌شود اما سایر موادی که امکان استفاده در ماکروویو دارد، تولید می‌شود (۹).

### ۳-۷مروری بر تحقیقات پیشین

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

الف- تاثیر مستقیم امواج مایکروویو

ب- تاثیر غیرمستقیم امواج مایکروویو به واسطه افزایش دما در نتیجه گرم کردن ماده غذایی.

همچنین افزایش مهاجرت چندین الیگومر و آنتی‌اکسیدان از فیلم‌های PET و PVDC/PVC به مواد غذایی هنگام و بعد از مایکروویو تنها به واسطه افزایش دما است. همچنین پلیمر PVC بالاترین نرخ مهاجرت را در مایکرویوو دارد (۱۰).

در مورد غذاهایی با میزان بالای محتوای چربی، فرایند مایکروویو می‌تواند منتهی به مهاجرت آنتی‌اکسیدان‌ها، به ماده غذایی شود در حالی که در شرایط مشابه و دمای یکسان، طی فرایند حرارتی معمولی مهاجرت این ترکیبات به ماده غذایی مشاهده نمی‌شود. همچنین میزان انتقال این آنتی‌اکسیدان‌ها به محیط مایع ماده غذایی تابع میزان حلالیت آن‌ها در آب است. در بین ترکیبات استفاده شده به‌عنوان مقلد چربی، ایزواکتان بیشترین میزان مهاجرت آنتی‌اکسیدان را از خود نشان می‌دهد. همچنین با افزایش میزان آبدوستی محیط ماده غذایی، میزان مهاجرت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از ماده بسته‌بندی به ماده غذایی کاهش پیدا می‌کند (۱۱).

محتوای چربی ماده غذایی بر میزان انتقال ترکیبات از ماده بسته‌بندی مانند LDPE، تاثیر معنی‌داری دارد. با افزایش مدت‌زمان نگهداری، دمای محیط نگهداری و میزان محتوای چربی ماده غذایی، میزان انتقال آنتی‌اکسیدان به محیط غذا افزایش پیدا می‌کند. همچنین لازم به ذکر است در حالت استفاده از محیط واقعی ماده غذایی، میزان انتقال ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به‌طور معنی‌داری کمتر است (۱۲).

پلی‌پروپیلن‌ها، پلی‌پروپیلن-هوموپلیمر، پروپیلن-اتیلن-کوپلیمر و پلی‌پروپیلن-اتیلن-رندوم کوپلیمر از رایج‌ترین ترکیبات مورداستفاده جهت تهیه بسته‌بندی‌های مورداستفاده در مایکروویو هستند. به طور کلی نوع پلیمر به‌کار رفته در ماده بسته‌بندی به‌طور معنی‌داری میزان آنتی‌اکسیدان‌های انتقال یافته به ماده غذایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و با افزایش میزان کریستاله بودن ترکیب پلیمری از میزان مهاجرت ترکیبات کاسته می‌شود. در حالت استفاده از پلی‌پروپیلن هوموپلیمر در تماس با مقلد چربی، بالاترین میزان مهاجرت ترکیبات افزودنی مشاهده می‌شود. همچنین انتقال ترکیبات افزودنی به محیط‌های آبی و اسیدی، ارتباط معنی‌داری با زمان و دمای فرایند مایکروویو و فرایند حرارتی معمولی ندارد (۱۳).

نوع ماده غذایی می‌تواند به‌صورت معنی‌داری بر میزان انتقال ترکیبات پایدارکننده UV از بسته‌بندی‌های پلی‌اتیلن ترفتالات به محیط غذایی (تینووین) انتقال یافته اثر بگذارد. به‌طوری

که غذاهای چرب مستعدترین محیط‌های غذایی برای مهاجرت تینووین هستند. همچنین ایزو اکتان می‌تواند به‌عنوان یک محیط خوب برای مقلد چربی‌ها به کار گرفته شود (۱۴).
همچنین در تمام بسته‌بندی‌های LDPE رایج مورد استفاده در صنعت غذا، میزان انتقال ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به ماده غذایی کمتر از میزان مجاز تعیین شده توسط استانداردهای مربوطه است (۱۵).
PET مانع مناسبی برای مهاجرت دو ترکیب دی اتیلن گلایکول دی بنزوات و دی پروپیلن گلایکول دی بنزوات نمی‌باشد و کاملا به ترکیبات نرم‌کننده در مایکروویو نفوذپذیر است. بعضی مونومرها و الیگومرها به میزان بالایی طی فرایند حرارت دهی در آون مایکروویو به روغن از بسته‌های نایلون مهاجرت می‌کنند. به طور کلی مواد آلی و ترکیبات حاضر در بسته‌بندی به ماده غذایی مهاجرت می‌نمایند و تغییرات زیادی را در ماده غذایی باعث می‌شوند.
میزان انتقال ترکیبات افزودنی به ماده غذایی در طی فرایندهای حرارتی معمولی و مایکروویو به میزان زیادی تحت تاثیر نوع ماده بسته‌بندی و نوع ماده غذایی که در تماس با بسته‌بندی است، قرار دارد. بسته‌بندی‌های تشکیل شده از پلیمر پلی‌وینیل‌کلراید سبب بروز بیشترین میزان انتقال ترکیبات افزودنی به ماده غذایی در طی فرایند حرارتی در مایکروویو می‌شوند که این مقدار در حالت استفاده از مواد غذایی اسیدی در حداکثر می‌باشد (۱۶).
به طورکلی میزان انتقال ترکیبات به محیط ماده غذایی تابع زمان فرایند مایکروویو، توان مایکروویو و نوع ماده نرم‌کننده است. همچنین میزان ترکیبات نرم‌کننده انتقال یافته از پوشش پلی‌وینیل‌کلرایدی به ویژه هنگام تماس آن با محیط چربی به‌طور معنی داری بالاتر از مقدار مجاز تعیین شده توسط اتحادیه اروپا است و به همین دلیل نبایستی از پلی‌وینیل‌کلراید به منظور تهیه بسته‌بندی‌هایی که قرار است در مایکروویو حرارت ببینند استفاده شود (۱۸).

## ۳-۸منابع


1- Paine, F. A., & Paine, H. Y. (2012). *A handbook of food packaging*. Springer Science & Business Media.

2- Kadoya, T. (Ed.). (2012). *Food packaging*. Academic Press.

3- Brydson, J. A. (1999). *Plastics materials*. Butterworth-Heinemann.

4- Robertson, G. L. (2016). *Food packaging: principles and practice*. CRC press.

5- Strong, A. B. (2006). *Plastics: materials and processing*. Prentice Hall.

6- Barnes, K., Sinclair, R., & Watson, D. (Eds.). (2006). *Chemical migration and food contact materials*. Woodhead Publishing.

7- Katan, L. L. (Ed.). (1996). *Migration from food contact materials*. place unknown: Blackie Academic & Professional.

8- Barnes, K., Sinclair, R., & Watson, D. (Eds.). (2006). *Chemical migration and food contact materials*. Woodhead Publishing.

9- Mathlouthi, M. (2013). *Food packaging and preservation*. Springer Science & Business Media.

10- Bhunia, K., Sablani, S. S., Tang, J., & Rasco, B. (2013). Migration of chemical compounds from packaging polymers during microwave, conventional heat treatment, and storage. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *12*(5), 523-545.

11- Alin, J., & Hakkarainen, M. (2011). 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*(10), 5418-5427.

12- Beldi, G., Pastorelli, S., Franchini, F., & Simoneau, C. (2012). Time-and temperature-dependent migration studies of Irganox 1076 from plastics into foods and food simulants. *Food Additives & Contaminants: Part A*, *29*(5), 836-845.

13- Alin, J., & Hakkarainen, M. (2010). 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*(2), 1084-1093.

14- Begley*, T. H., Biles, J. E., Cunningham, C., & Piringer, O. (2004). Migration of a UV stabilizer from polyethylene terephthalate (PET) into food simulants. *Food additives and contaminants*, *21*(10), 1007-1014.

15- Dopico-Garcıa, M. S., Lopez-Vilarino, J. M., & González-Rodrıguez, M. V. (2003). Determination of antioxidant migration levels from low-density polyethylene films into food simulants. *Journal of chromatography A*, *1018*(1), 53-62.

16- Galotto, M. J., & Guarda, A. (1999). Comparison between thermal and microwave treatment on the overall migration of plastic materials intended to be in contact with foods. *Packaging Technology and Science*, *12*(6), 277-281.

17- Badeka, A. B., & Kontominas, M. G. (1996). 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*(4), 313-317.

18- Badeka, A. B., & Kontominas, M. G. (1996). 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*(4), 313-317.

19- Raheem, D. (2016). Use and Production of Paper Packaging for Food.

## ۴ مطالعه استفاده از تکنولوژی نانو در بسته‌بندی مواد غذایی و ایمنی آن

### ۴-۱ مقدمه:

نانوتکنولوژی در دهه ۱۹۸۰ وارد صنعت پلیمر شد. هرچند شروع تولید و ساخت نانوکامپوزیت‌ها به دهه ۱۹۹۰ برمی‌گردد. زمانی که شرکت خودروسازی تویوتا برای اولین بار از نانوکامپوزیت‌ها برای ساخت تسمه تایم موتور خودروهای خود استفاده کرد (۵۳). نانوتکنولوژی در مقیاس مولکولی باعث تغییر خصوصیات پلیمرهای بسته‌بندی مواد غذایی می‌شود. پلیمرهای نانوکامپوزیتی به پلیمرهایی که حداقل در یک بعد اندازه ذرات آن در مقیاس نانو بوده و شامل یک پلیمر پیوسته با ماتریس متناوب به همراه یک یا چند مواد پوشاننده تغلیظ شده که در اصطلاح فیلر نامیده می‌شوند گفته می‌شود (۵۴).

فناوری نانو پتانسیل ایجاد تغییرات اساسی در صنایع غذایی و نوشیدنی را با ابزارهای جدید برای درمان مولکولی و شناخت سریع بیماری‌ها، اصلاح توانایی گیاه برای جذب مغذی‌ها و سایر مواد مورد نظر را دارد.

مهم‌ترین پتانسیل‌های کاربرد نانو در غذا شامل موارد زیر است:

• تولید غذاهایی با امکان تغییر رنگ، مزه یا مواد مغذی مطابق درخواست مشتری یا نیازهای سلامت

• فیلترهایی برای زدودن سموم

• بهبود طعم به‌وسیله‌ی عبور از مولکول‌های خاص برپایه شکل مخصوص مواد به جای اندازه آن‌ها

• بسته‌بندی شناسایی‌کننده فساد غذایی و هشدار به مشتریان با تغییر رنگ

➢ حوزه‌های کاربردی فناوری نانو در غذا و نوشیدنی‌ها شامل موارد زیر است:

• اصلاح رسانش مواد غذایی و دارویی و ترکیبات فعال زیستی در غذاهای دارویی برای بهبود سلامت انسان‌ها

• بهبود طعم، نسوج و رسانش ترکیبات دارویی فعال زیستی

• بهبود حلالیت

• رهایش کنترل شده و اصلاح رنگ محصولات

• اصلاح دسترس پذیری زیستی
• محافظت از پایداری ریزمغذی‌ها و ترکیبات فعال زیستی طی فرآیند، انبار و توزیع
طول زنجیره های پلیمری ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر است. از سویی کلیه نانومواد مهندسی شده در این مقیاس مورد توجه قرارگرفته‌اند. به‌عنوان مثال استفاده از دانه‌های نمک در مقیاس نانو برای کاهش میزان مصرف نمک، با توجه به افزایش میزان سطح تماس گرانول‌های تولیدی در مقیاس نانو جهت افزایش تحریک‌پذیری چشایی مصرف‌کنندگان مواد غذایی (۸۳). از کاربردهای دیگر نانومواد می‌توان به نقش حامل مواد معدنی و ویتامین‌ها اشاره کرد که توسط نانو کپسول‌ها انجام می‌شود؛ که از این روش می‌توان جهت انتقال مواد مغذی، اثربخش و مفید در موادغذایی و نوشیدنی‌ها با تعیین محل دقیق اثربخشی آن‌ها استفاده کرد (۸۴). از مهم‌ترین فناوری‌های کلیدی در حوزه نانو برای غذا و نوشیدنی می‌توان به نانوذرات، نانوپوشش‌ها، نانوکامپوزیت‌ها، مواد نانو متخلخل و نانو کپسول‌ها اشاره کرد (۲۶).
در کل دنیا حدود ۴۰۰ شرکت در حال توسعه برنامه‌های کاربردی در فناوری نانو در حال فعالیت هستند. در سال ۲۰۱۳ میلادی ۶/۵ میلیارد دلار ارزش فروش مواد بسته‌بندی نانویی بوده است (۷۷). طبق پیش‌بینی‌ها بسته‌بندی‌های هوشمند موادغذایی و نوشیدنی تا سال ۲۰۲۰ از بیشترین رشد فناوری و فروش برخوردار خواهند بود. با رشد سالانه ۱۲/۷ درصدی درسال، در سال ۲۰۲۰ به مبلغ حدود ۱۵ میلیارد دلار خواهد رسید (۷۸).

### ۴-۲ نانو ذرات

نانوذرات به ذراتی اطلاق می‌شود که حداقل در یک بعد دارای ابعادی کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشند. اینگونه ذرات باعث افزایش خواص بازدارنده (مکانیکی، حرارتی، شیمیایی، میکروبی)، بهبود خواص مکانیکی و مقاومت در برابر گرما، توسعه فعالیت ضد میکروبی و سطوح ضد قارچ و تغییرات بیوشیمیایی می‌شوند (۲۹).

## ۴-۳ پلیمرهای نانو[1]

این پلیمرها در فرآیندهای مختلف غذایی استفاده می‌شوند. استفاده از آنها شامل طراحی، فرآوری و تولید است. کاربردشان در بسته‌بندی طیف گسترده‌ای از مواد غذایی است و متشکل از ذرات در اندازه نانومتر هستند (۲۹).

### ۴-۳-۱ انواع پلیمرهای نانو

#### ۴-۳-۱-۱ نانو پلیمرهای پیشرفته

نانوذراتی که در نانوپلیمرهای پیشرفته[2] (نانوکامپوزیت‌ها) به کار می‌روند، سبب افزایش انعطاف‌پذیری، افزایش ممانعت از ورود و خروج گازها و افزایش پایداری رطوبتی و حرارتی پلیمرهای تشکیل شده از آن‌ها می‌شوند. ازجمله این نانوذرات می‌توان به نانوذرات رس اشاره کرد که رایج‌ترین نانوذرات کاربردی هستند و حدود ۷۰ درصد از حجم بازار را تشکیل می‌دهند. این گروه از نانوذرات در بسته‌بندی‌های مواد غذایی مختلف مانند گوشت فرآوری شده، پنیر، شیرینی‌ها، غلات و فرآورده‌های لبنی استفاده می‌شوند و در بهبود خواص ساختار حرارتی و ممانعت از رسیدن اکسیژن و دی اکسید کربن و رطوبت به مواد غذایی دخالت دارند (۳۰).

#### ۴-۳-۱-۲ نانوپلیمرهای فعال

بسته‌بندی با غذا و محیط اطراف ارتباط برقرار می‌کند و نقشی پویا و فعال در حفظ مواد غذایی دارد. در بسته‌بندی‌های فعال از یک سری جاذب‌ها و رهاسازها استفاده می‌کنند. این بسته‌بندی‌ها نسبت به شرایط داخل بسته تغییرات فعالانه می‌دهند. این تغییرات منجر به افزایش عمر محصول، بهبود ایمنی و خواص حسی محصول و حفظ کیفیت محصول در مدت‌زمان نگهداری می‌شوند. ازجمله این پلیمرها می‌توان به این موارد اشاره کرد:

---

1. Polymer Nanomaterial Food Processing (PNFP)
2. Improved PNFP

نانوپلیمرهای فعالی[1] که در بسته‌بندی موادغذایی با اتمسفر اصلاح‌شده[2] و نیز در بسته‌بندی‌های حاوی جاذب‌ها[3] (مانند جاذب‌های اکسیژن، دی‌اکسید کربن، اتیلن، آمیدها و ترکیبات سولفوری) و رهاسازها (مانند دی‌اکسید کربن، اتانول، آنتی‌اکسیدان‌ها و دیگر ترکیبات نگهدارنده) استفاده می‌شوند. بسته به شکل فیزیکی بسته‌بندی‌های فعال، جاذب‌ها و رهاسازها به سه شکل بالشتک[4]، برچسب[5]، تقسیم‌بندی می‌شوند. ازجمله نانوذرات به‌کاررفته در نانوپلیمرهای فعال می‌توان نانولوله‌های کربنی[6]، نانوکامپوزیت‌ها[7] و نانوتوپ‌های کربنی[8] را نام برد (۳۰).

### ۴-۳-۱-۲-۱ نانوکامپوزیت و نانو بیوکامپوزیت‌ها

کامپوزیت به جسمی حجیم یا تودهای[9] گفته می‌شود که در حالت کلی حداقل شامل دو ماده مجزا با ساختار مکمل باشد. نانوکامپوزیت به دسته خاصی از کامپوزیت‌ها گفته می‌شود که حداقل یکی از اجزای آنها در مقیاس نانو باشد (۳۱). در نانوکامپوزیت‌های پلیمری نسبت به کامپوزیت‌های معمولی برهم‌کنش بهتری بین ماتریس پلیمر و فیلر وجود دارد. توزیع یکنواخت نانوذرات در ماتریس پلیمری موجب افزایش سطح تماس ماتریس و نانوذرات می‌شود که این اتفاق بهبود خواص مکانیکی، گرمایی و ممانعتی را در پی دارد (۱۴). نسبت بزرگترین بعد فیلر به کوچکترین بعد آن خاصیت مهمی است که نسبت منظر[10] نامیده می‌شود. فیلرهای با نسبت منظر بالا سطح ویژه بالاتری دارند که خواص تقویت‌کننده بهتری فراهم می‌کنند. هرچه اندازه نانوذرات کوچکتر باشد، توزیع آنها در ماتریس پلیمری مشکل‌تر خواهد بود، زیرا نانوذرات بسیار ناپایدارند و تمایل زیادی به

1. Active PNFP
2. Modified Atmosphere Packaging (MAP)
3. Scavenger
4. Sachet
5. Lable
6. Carbon Nanotube
7. Nanocomposite
8. carbon nano sphere
9. Bulk
10. Aspect Ratio

تجمع یا کلوخه‌ای شـــدن دارند و کلوخه‌ای شدن نانوذرات یک نقطه ضعف برای ماتریس پلیمری محســـوب می‌شـــود. نانوذرات معدنی با اندازه ذرات بسیار ریز تغییرات ناچیزی در طبیعت مواد پلیمری ایجـــاد می‌کنند و اگر به‌درســـتی طراحی و فرموله شـــوند، می‌توانند ویژگی‌های گرمایی، مکانیکی، ممانعتی و قابلیت اشتعال‌پذیری پلیمر را بهبود بخشند. نانوفیلرها در مقادیر بسیار کم ۵-۱ درصد وزنی در مقایسه با فیلرهای سنتی مثل سیلیکا چنین قابلیت‌هایی را بهتر نشان می‌دهند. چندین نوع از این نانوذرات وجـــود دارند، اما در حال حاضـــر تمرکز بر روی نانوذرات رس است که پتانسیل کاربردی بیشتری در زمینه بسته‌بندی مواد غذایی دارند (۱۴).

نانوکامپوزیت‌ها در رأس ابداعات فناوری نانو، مرتبط با صنعت بسته‌بندی مواد غذایی قرار دارند. نانوکامپوزیت‌ها موادی هستند که از ترکیب نانوذرات ساخته می‌شوند. در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی استفاده از خاک مونت موریلونیت به‌عنوان جزء افزودنی نانو به انواع پلیمرها ازجمله پلی‌اتیلن، پلی‌استر، نایلون و نشاسته در حال بررسی است. ورقه‌های پلاستیکی نانوکامپوزیتی این قابلیت را دارند که از نفوذ اکسیژن، دی اکسید کربن و رطوبت به داخل ظرف جلوگیری کنند. به این ترتیب ظروفی که در ساختار آنها از ورقه‌های نانوکامپوزیت استفاده شده است، باعث افزایش ماندگاری ماده غذایی می‌شوند. چنین ظروفی، سبک، محکم و مقاوم به حرارت نیز هستند.

از آنجا که هیچ پلیمر خالص شناخته شده‌ای، خواص مکانیکی و مانع موردنیاز متصور برای بسته‌بندی مواد غذایی را تأمین نمی‌کند، در بیشتر موارد، ورقه‌های چندلایه پیچیده و یا مخلوط پلیمرها مورداستفاده قرار می‌گیرند. به‌عنوان یک نتیجه، هنوز هم نیاز قابل توجهی در صنعت پلیمر برای تولید ورقه‌های تک لایه با خواص مکانیکی و مانع عبور و خروج گازها، به ویژه آن‌هایی که از مواد زیست سازگار تشکیل شده‌اند، وجود دارد. نانوکامپوزیت‌های پلیمری[1] یا (PNCs) آخرین مواد با هدف حل مشکلات ذکر شده در مورد مواد پلیمری هستند. PNCs از پراکندگی یک پرکننده بی‌اثر در مقیاس نانو در طول یک ماتریس پلیمری ایجاد می‌شود. مواد پرکننده می‌توانند شامل خاک رس و نانوصفحات سیلیکات، نانوذرات

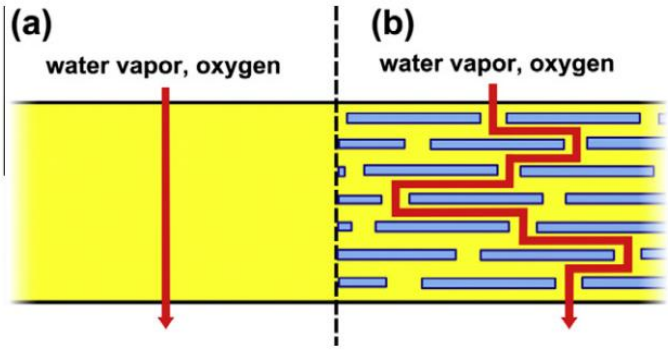
1. Poly nano-composites (PNCs)

سیلیس ($SiO_2$)، نانولوله کربن، گرافن، نانوبلور نشاسته، سلولز مبتنی برنانوالیاف، کیتین و یا نانوذرات کیتوزان و سایر مواد معدنی باشند (۱۳-۱۰).

بهبود خواص پلیمر محافظ با استفاده از PNCs در صنعت مواد غذایی مشهود است. PNCها همچنین قوی‌تر دارای مقاومت بیشتر در برابر شعله و دارای خواص حرارتی بهتر (به‌عنوان مثال نقطه ذوب، تخریب و درجه حرارت انتقال شیشه‌ای) نسبت به پلیمرهای کنترلی هستند که حاوی هیچ پرکننده‌ای در مقیاس نانو نیستند و تغییرات ترشوندگی سطح و آب گریزی نیز در آن‌ها گزارش شده است.

چگونگی پراکندگی پرکننده نانو در ماتریس پلیمری، به دو صورت بر خواص حفاظتی لایه پلیمری همگن تاثیر می‌گذارد؛ روش اول، ایجاد یک مسیر پرپیچ و خم برای انتشار گاز است از آنجا که مواد پرکننده، در اصل بلورهای معدنی نفوذ ناپذیر هستند، مولکول‌های گاز باید بیشتر در اطراف آنها انتشار پیدا کنند تا این که مسیری مستقیم را عمود بر سطح لایه طی کنند؛ بنابراین، انتشار گاز از طریق این لایه در حضور پرکننده، یک مسیر طولانی است. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، مسیر پر پیچ و خم به تولید کننده اجازه می‌دهد که برای رسیدن به ضخامت موثر، از مقدار پلیمر کمتری استفاده کند. در روش دوم، ایجاد تغییرات در ماتریس پلیمر، میزان و نوع پرکننده نانو، بر خصوصیات لایه حفاظتی تاثیر می‌گذارد (۱۴).

نانوکامپوزیت‌ها را می‌توان با پلیمرهای ترموست و یا ترموپالست (پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌آمیدها، پلی‌استایرن و پلی‌متیل متاکریالت) تولید کرد. این مواد به‌شدت واکنش‌پذیر هستند و اغلب در بسته‌بندی مواد غذایی به‌کار می‌روند. به‌طورکلی، هدف از به‌کارگیری آنها افزایش مقاومت مکانیکی، کاهش وزن، افزایش مقاومت به حرارت، ممانعت بهتر در برابر $UV$، $CO_2$، $O_2$ و رطوبت، قابلیت بازیافت بهتر و محافظت بیشتر از محصول است. نانوکامپوزیت با نانوذرات ($TiO_2$، $SiO_2$ و نانورس) در بسته‌بندی مواد غذایی باعث محافظت بیشتر از غذا می‌شود. نانوذرات تیتانیوم در بسته‌بندی به‌عنوان پرکننده پلاستیک‌ها و فویل‌ها استفاده می‌شوند (۳۳).




شکل ۴-۱ نمایی از مسیر پرپیچ و خم ایجاد شده به وسیله نانوصفحات خاک رس در یک لایه پلیمری نسبت به لایه بدون مواد پرکننده.

### ۴-۳-۱-۳ روش‌های آماده‌سازی پلیمرهای نانوکامپوزیتی

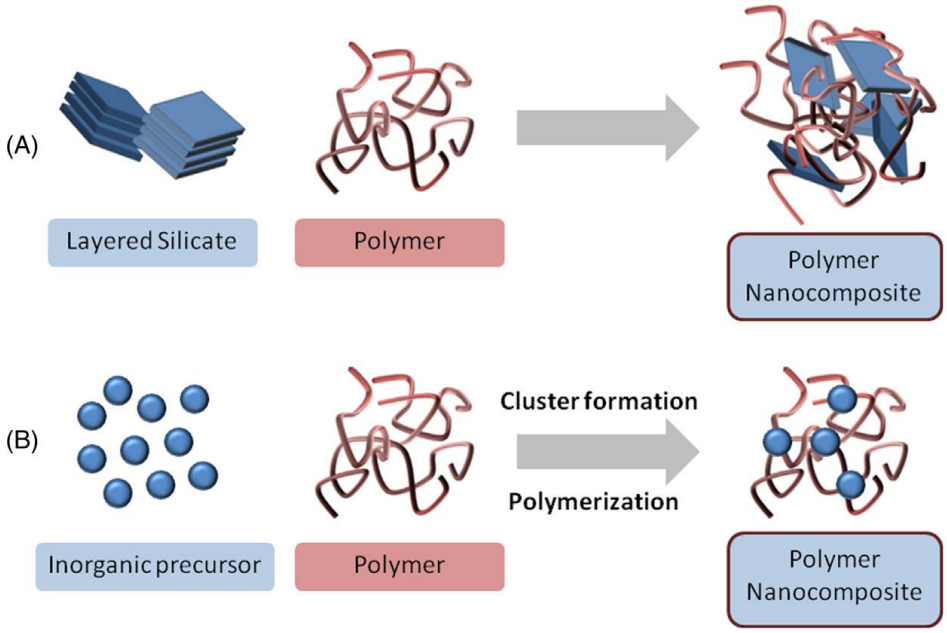
روش‌های گوناگونی جهت آماده‌سازی پلیمرهای نانوکامپوزیتی وجود دارد. سنتز نانوذراتی همچون اکسید فلزات مختلف و ترکیب آنها با فیلرها ماتریس‌های پلیمری گوناگونی را ایجاد می‌کند (۵۵). هدف اصلی تکنیک‌های مختلف، آماده‌سازی و رسیدن به نانوذرات پایه و همین‌طور توزیع یکنواخت این ذرات در ساختار پلیمری می‌باشد (۷۳). به‌طورکلی سنتز پلیمرهای نانوکامپوزیتی به دو حالت بالا به پایین و پایین به بالا می‌باشد.

#### ۴-۳-۱-۳-۱روش بالا به پایین

یک ماده بزرگ با کاهش ابعاد و شکل‌دهی آن، به یک محصول با ابعاد نانو تبدیل می‌شود؛ به عبارت دیگر، اگر اندازه یک ماده توده‌ای به‌طور متناوب کاهش داده شود تا به یک ماده با ابعاد نانومتری برسد، از رویکرد بالا به پایین استفاده شده است (۷۴). این کار اغلب و نه همیشه شامل حذف بعضی از مواد به شکل ضایعات است. در بیشتر منابع تحقیقاتی حد فاصل مقیاس کار رویکرد تولید نانو ذرات به‌صورت‌های پایین به بالا و بالا به پایین، نانوفناوری نامیده می‌شود (۷۵).

### ۴-۳-۱-۳-۲ روش پایین به بالا

در روش‌های پایین به بالا محصول از مواد ساده‌تر به وجود می‌آید. در حقیقت کاری که در این روش انجام می‌شود، کنار هم قراردادن اتم‌ها و مولکول‌ها (که ابعاد کوچکتر از مقیاس نانو دارند) برای ساخت یک محصول نانومتری است. معمولاً روش‌های پایین به بالا ضایعاتی ندارند، هر چند الزاماً این مسأله صادق نیست. مثلاً ممکن است جزئی از یک سیستم خودآرا برای فرآیند خودآرایی به کمک هم‌جزء نیاز داشته باشد که در محصول نهایی وجود نداشته باشد و لذا از سیستم حذف می‌شود (۷۵).



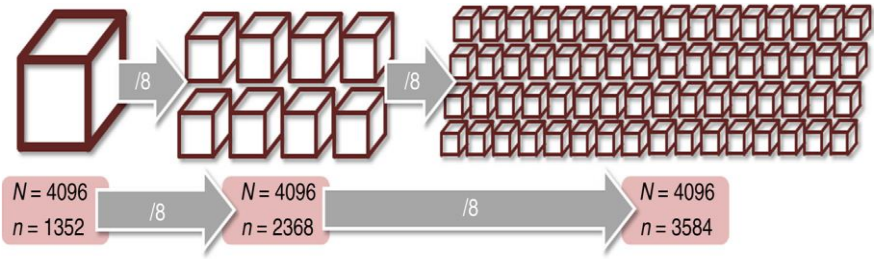

شکل۴-۲ الگوی سنتز پلیمرهای نانو کامپوزیتی (۷۴).
(A) روش بالا به پایین، (B) روش پایین به بالا.

از روش‌های سنتز پلیمری بالا به پایین می‌توان به روش‌های لیتوگرافی، ریسندگی، فرآیندهای حرارتی و فرآیندهای مکانیکی اشاره کرد؛ و از روش‌های سنتز پلیمری پایین به

بالا می‌توان روش‌های رسوب‌دهی فاز گاز، رسوب‌دهی شیمیایی بخار[1]، رسوب‌دهی شیمیایی در فشار اتمسفری[2]، رسوب‌دهی شیمیایی بخار پلاسمایی[3]، رسوب‌دهی شیمیایی بخار با خلاء خیلی بالا[4] و رسوب تبخیری را نام برد (۷۴ و ۷۵).

### ۲-۳-۴ نقش نانوکامپوزیت‌های پلیمری در سطح مشترک پلیمر

در سطح مشترک بین پلیمر و نانوذرات یک نکته کلیدی در خصوصیات نانوکامپوزیت‌های نهایی موثر است. به‌طور مثال همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود اگر فرض کنیم که یک مکعب با تعداد ۱۶× ۱۶× ۱۶ اتم، (با تعداد اتم‌های کل ۴۰۹۶) باشد، حدود ۳۳ درصد از این تعداد که ۱۳۵۲ عدد خواهند بود، در سطح مکعب حضورخواهند داشت. در صورتی که همان مکعب به ۸ مکعب با اندازه‌های مساوی تقسیم شود به‌طوری که در مجموع تعداد کل اتم‌ها تغییری صورت نگیرد، تعداد اتم‌هایی که در سطح خواهند بود به حدود ۵۸ درصد از اتم‌های کل افزایش خواهد یافت که این تعداد به ۲۳۶۸ عدد می‌رسد. با ادامه این روند و با تقسیم مکعب‌ها به مکعب‌های ۸ تایی یکسان کوچکتر، تعداد اتم‌های سطح به تعداد ۸۸ درصد تعداد کل اتم‌ها خواهد رسید که ۳۵۸۴ عدد خواهد بود. به این صورت سطح مشترک پلیمر تولید شده جدید افزایش یافته است (۵۵).




شکل ۴-۳ اثرات تقسیم مجدد مکعب بر روی افزایش سطح آن
N تعداد کل اتم‌ها، n تعداد اتم‌های موجود در سطح

---

[1]. CVD
[2]. APCVD
[3]. PECVD
[4]. UHVCVD

### ۴-۳-۲-۱ ماتریس‌های میانی پلیمرها و نانوپلیمرهای کامپوزیتی

پلیمرهای بسته‌بندی موادغذایی حدود ۳۰ درصد از کل پلیمرهای تولیدی را شامل می‌شوند؛ که حدود یک پنجم از ارزش خالص بازار فروش را به خود اختصاص داده‌اند. پلیمرهایی چون HDPE[۱]، LDPE[۲]، PP[۳]، PET[۴]، PVC[۵] و PS[۶] عمده پلیمرهای مورداستفاده در بسته‌بندی موادغذایی می‌باشند؛ و مواد پلیمری EVOH[۷] و PA[۸] در سیستم‌های بسته‌بندی چندلایه به‌صورت گسترده مورداستفاده قرار می‌گیرند (۵۶).

ظروف و پلیمرها به‌طورکلی از مشتقات و یا مواد زیست تخریب‌پذیر تولید می‌شوند. یکی از نگرانی‌های عمده جامعه جهانی افزایش روز افزون زباله‌ها و ظروف مصرفی یکبارمصرف پلاستیکی می‌باشد. به همین جهت همواره به دنبال کاهش زباله‌های پلاستیکی و تولید ظروف پلاستیکی با خصوصیات منحصربه‌فرد و زیست تخریب‌پذیر هستند (۶۰-۵۷). با توجه به توسعه علم، امروزه پلیمرهای زیستی به سه گروه بیوسنسورها، بیوپلیمرهای طبیعی و بیوپلیمرهای حاصل از فعالیت تخمیری مثل پلیمرهای میکروبی تقسیم‌بندی می‌شوند. از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر زیستی می‌توان PLA[۹]، PCL[۱۰]، PGA[۱۱] و PBS[۱۲] را نام برد. از پلیمرهای حاصل از تخمیر میکروبی می‌توان PHAs[۱۳] و مشتقات آن ازجمله PHB[۱۴]، PHV[۱۵]، PHH[۱۶] و کوپلیمرهای وابسته به آن را نام برد. همچنین از پلیمرهای طبیعی

---

1. High-density polyethylene
2. low density polyethylene
3. Polypropylene
4. Polyethylene terephthalate
5. Polyvinyl chloride
6. Polystyrene
7. Ethylene vinyl alcohol
8. Polyamide
9. Poly (l-lactide)
10. Poly (ε-caprolactone)
11. Poly (glycolic acid)
12. Poly (butylenes succinate)
13. Poly (hydroxyalkanoates)
14. Poly (β-hydroxybutyrate)
15. Poly (3-hydroxyvalerate)
16. Poly (3-hy16. Biodegradable droxyhexanoate)

می‌توان به نشاسته، سلولز و کیتوزان اشاره کرد (۶۹ و ۷۰). بین مواد ذکر شده PLA، PHAs و نشاسته در کاربردهای بسته‌بندی مناسب‌تر هستند زیرا می‌توان از آن‌ها جهت بسته‌بندی مواد خام غذایی استفاده کرد و با تغییر در ساختار پلیمری و تولید نانوکامپوزیت‌های این مواد و افزایش خواص مقاومت مکانیکی، بهبود مقاوت در مقابل تنش‌های دمایی، کاهش میزان حساسیت آنها در برابر هیدرولیز خصوصیات عملکردی آنها را افزایش داد (۶۳ و ۶۴).

### ۴-۳-۳ نانوپلیمرهای زیست تخریب پذیر

نانوبیوکامپوزیت‌ها علاوه بر داشتن ترکیبی با ابعاد نانو، دارای ترکیبات بیوزیستی نیز هستند که زیست‌تخریب‌پذیر بوده و در محیط به‌وسیله موجودات تجزیه‌کننده به ریزواحدهای خود تبدیل می‌شوند. ازجمله پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

#### ۴-۳-۳-۱ نشاسته و مشتقات آن

پلیمرهای طبیعی مهمی هستند که معمولا در اثر فشرده‌شدن، به ماده‌ای قابل ارتجاع با مقاومت مکانیکی کم و حفاظت کم در برابر اکسیژن و رطوبت تبدیل می‌گردند؛ اما ترکیب آنها با نانوذرات باعث می‌شود مقاومت کششی توسعه یابد و نفوذپذیری بخارآب کاهش پیدا کند.

#### ۴-۳-۳-۲ سلولز

سلولز یکی از موادی است که امروزه در ساختار پلیمری به‌صورت‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر دو حالت تقویت ساختارهای نانوپلیمرها در خصوص سلولز نیز صدق می‌کند (۷۰). در حالت طبیعی سلولز با میکروفیبریل‌ها یا نانوفیبریل‌ها همانند اجزای پلی‌ساکاریدی بوسیله پیوند هیدروژنی تشکیل پیوند می‌دهد (۸۰). هر میکروفیبریل که از لحاظ ساختاری شبیه تار مو است از نانوفیبریل‌های کریستالی و آمورف تشکیل شده است. قسمت‌های کریستالی نانومیله‌ها به وسیله تیمارهای مختلف حاصل می‌شوند. به‌طور خلاصه این تیمارها

با تغییر دادن شکل‌های آمورف موجود در فیبرها و در پی آن بی‌حفظ کردن فضاهای کریستالی باعث ایجاد تغییرات در ساختار پلیمرها می‌شوند (۷۲).

### ۴-۳-۳-۳ پلی‌استرهای زیستی

گروه مهم دیگری هستند که از مونومرهای زیستی شامل اسید پلی‌لاکتیک، پلی‌هیدروکسی بیوترات و پلی‌کاپرولاکتون تشکیل شده‌اند. قابلیت این پلیمرهای زیستی به‌عنوان پوسته و قالب دور مواد غذایی آن‌ها را به موادی جذاب در صنعت تبدیل کرده است. تنها مشکل آنها شکنندگی و خصوصیات ممانعت گازی ضعیف آن‌ها است؛ برای غلبه بر این مشکل نیز از نانورس به‌عنوان پرکننده و پشتیبان استفاده می‌شود. بسته‌بندی باید بتواند از پری‌بیوتیک‌ها، پروبیوتیک‌ها و ویتامین‌های محفظه‌سازی شده در شرایط مناسب نگهداری کند؛ این مواد زیستی قابلیت لازم برای این کار را دارند (۳۳ و ۳۴)

### ۴-۴ انواع نانوذرات استفاده‌شده در نانوکامپوزیت‌های بسته‌بندی موادغذایی

به‌طورکلی تولید نانوذرات اغلب با دو رویکرد پائین به بالا و بالا به پائین صورت می‌گیرد. فناوری جدید ساخت نانوذرات متنوع است و ضمن تبعیت از دو رویکرد اشاره شده شامل محدوده وسیعی از فرآیندها با روش بخار، مایع و حالت جامد می‌باشد. روش‌های موجود برای ساخت نانوذرات از طریق بخار، گستره‌هایی از روش‌های رسوب‌دهی فیزیکی بخار و رسوب‌دهی شیمیایی بخار تا پاشش ذرات معلق در گاز را در بر می‌گیرد. روش‌های مایع شامل؛ سل ژل و روش‌های شیمیایی‌تر می‌باشد. همچنین روش حالت جامد از طریق آسیاب کردن مکانیکی و ساخت مکانیکی شیمیایی انجام می‌گیرد (۴۱).

نانومواد‌ی که در بسته‌بندی موادغذایی کاربرد دارند به دو دسته آلی و غیرآلی طبقه‌بندی می‌شوند. نانومواد‌ی مانند نانوذرات آهن، نقره، تیتانیوم، کلسیم، سیلیکا و... از مواد غیر آلی هستند که عمدتا برای بسته‌بندی غذا به‌کار می‌روند. جدول زیر انواع نانوذرات رایج در بسته‌بندی مواد غذایی را نشان می‌دهد (۳۵).

جدول ۴-۱ نانوذرات رایج در صنایع غذایی

| نانو ذرات | کاربردهای رایج |
|---|---|
| تیتانیوم اکسید | عامل ضدمیکروبی و محافظ در برابر اشعه UV در بسته‌بندی، ظروف نگهداری مواد غذایی، افزودنی غذایی |
| نقره | عامل ضدمیکروبی در بسته‌بندی مواد غذایی، ظروف نگهداری، یخچال‌ها، مکمل غذایی |
| نانورس | بسته‌بندی مواد غذایی |
| روی و اکسید روی | افزودنی غذایی/ عامل ضدمیکروبی در بسته‌بندی مواد غذایی |
| سلیسیوم دی‌اکسید | افزودنی غذایی/ در بسته‌بندی مواد غذایی |

### ۴-۴-۱ نانورس

نانوکامپوزیت‌های پلیمری سیستم‌های دوفازی هستند که یک ماتریس پلیمری و نانوذرات معدنی را شامل می‌شوند. نانوذرات رس ازجمله نانوذراتی هستند که بسیار مورد مطالعه قرارگرفته‌اند. دلیل این توجه ارزانی، دسترسی آسان و عملکرد و فرآیندپذیری خوب آن‌ها است (۳۵). پلیمرهای ترکیبی نانو ذرات رس و سایر مواد سیلیکاتی عرصه فیلرهای جدید نانویی حاصل از تحقیقات قرن ۲۰ می‌باشند که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند (۷۴). ساختار لایه‌ای این پلیمرها خصوصیات منحصر به‌فردی در کامپوزیت‌های نهایی ایجاد می‌کنند (۷۵). رس را می‌توان به‌صورت نانولایه و با ضخامتی در مقیاس نانو به‌کار برد. این ذرات، پالستیک را سبک، محکم و مقاوم به حرارت می‌کند و مانعی برای عبور گاز است. مواد معدنی آن اغلب مونتموریلونت (بنتونیت) است و غالبا یک نانوماده تجاری به‌شمار می‌آید (۳۶).

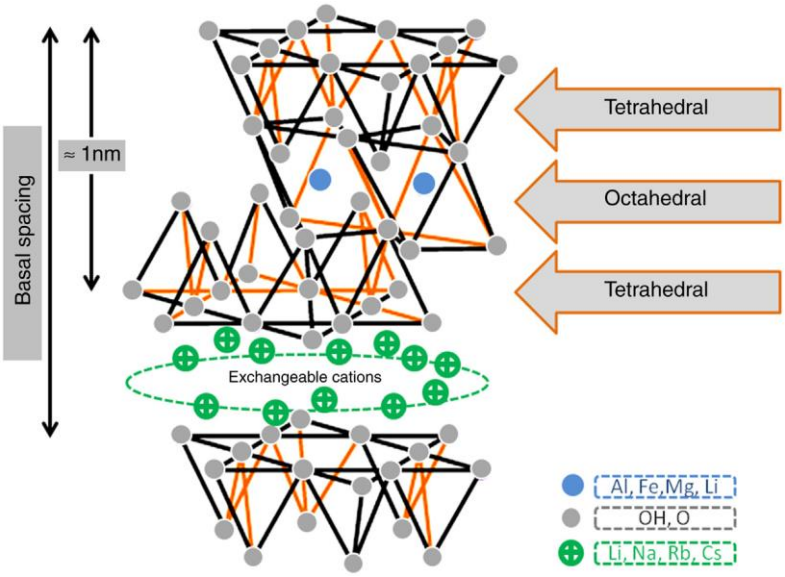
نانو ذرات خاک رس معمولا به‌صورت صفحات دوبعدی با ضخامت بسیار ناچیز (حدود نانومتر) در نظر گرفته می‌شوند. هنگامی که این صفحات در ماتریس پلیمری پراکنده می‌شوند، مسیری را ایجاد می‌کنند که انتقال گازها را به‌شدت کاهش می‌دهد. علاوه بر این رس از قابلیت تطبیق‌پذیری بالایی برخوردار است که این خصوصیت باعث به‌هم فشردگی پلیمرهای تولیدی از رس شده که این امر افزایش کشش سطحی و بهبود پراکندگی

در فیلر ماتریس پلیمری را به دنبال داشته و در نهایت بهبود خصوصیات مکانیکی و مقاومت حراتی را ایجاد می‌کند (۶۹-۶۷).

دو ویژگی خاص نانـــورس که نقش مهمـــی در تولید نانوکامپوزیت‌ها ایفا می‌کنند عبارتند از:

۱) بازشـــدن لایه‌ها از همدیگر و پراکنده‌شـــدن آنهـــا در ماتریـــس پلیمـــری

۲) اصلاح ســـطح آنها جهت برهم‌کنش بهتر بین ماتریس پلیمری و نانوذرات (۳۷).




شکل ۴-۴ ساختار سیلیکات لایه‌ای (۶۶)

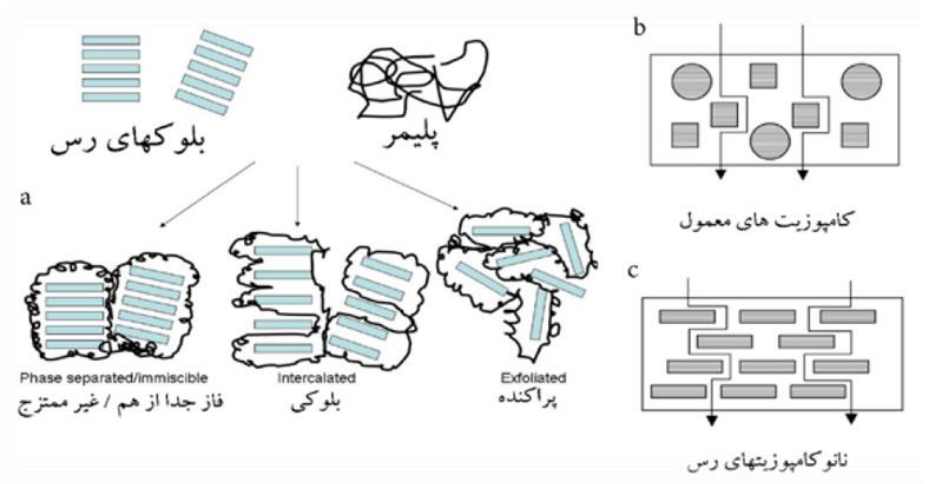
اختلاط ســـاده پلیمر و خاک رس همیشـــه منجر به تشـــکیل نانوکامپوزیت نمی‌شود، زیرا باعث کلوخه‌ای شـــدن لایه‌ها می‌شود که علت آن برهمکنش ضعیف بین ماتریس و ذرات نانو اســـت. در غلظت‌های بسیار پایین از نانوذرات، ســـطح تماس بیـــن پلیمـــر و لایه‌های خاک رس نســـبت به کامپوزیت‌های معمولی بسیار بیشـــتر اســـت. از ترکیب‌های پلیمر/نانورس در بســـته‌بندی غذاهای مختلف مثل گوشت عمل‌آوری شـــده، پنیر، غلات، آبمیوه، لبنیات و نوشیدنی‌های کربناته استفاده می‌شود (۳۶).

### ۴-۴-۱-۱ خاصیت بازدارندگی نانوکامپوزیت‌های پلیمر رس

در خیلی از کاربردها خاصیت بازدارندگی پلیمرها بسیار حیاتی است. این امر به‌ویژه در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی مصداق دارد. در بسیاری از بسته‌بندی‌های مواد غذایی میزان نفوذ اکسیژن و در نوشیدنی‌های گازدار خارج‌شدن دی‌اکسید کربن عمر مفید مواد غذایی در بسته‌بندی را تعیین می‌کند. در نانوکامپوزیت‌های تقویت‌شده با خاک رس نانوذرات رس با نسبت منظر بالا می‌توانند نقش بازدارندگی را به‌خوبی انجام دهند. خاصیت بازدارندگی اکسیژن از ظروف بسته‌بندی مواد غذایی نقش مهمی در حفظ غذاهای تازه مانند میوه، سالاد و غذاهای آماده دارد. بازدارندگی اکسیژن به‌صورت ضریب نفوذ اکسیژن اندازه‌گیری می‌شود که میزان نفوذ اکسیژن در واحد سطح و زمان در مواد بسته‌بندی‌شده را نشان می‌دهد. شکل ۱ مسیر نفوذ گاز در یک نانوکامپوزیت حاوی نانورس را نشان می‌دهد (۳۵).

### ۴-۴-۱ نانوذرات نقره

فناوری نانو طراحان را قادر می‌سازد ساختار عناصر بسته‌بندی را در مقیاس مولکولی تغییر دهند. از طریق افزایش ذرات نانو می‌توان بطری‌ها و بسته‌بندی‌هایی با مقاومت نسبتا کم، عملکرد گرمایی و مکانیکی کمتر و جذب کم مواد فرار و اکسیژن تولید کرد؛ این مشخصه‌ها می‌توانند سبب افزایش ماندگاری و حفظ رنگ محصول شوند. به دلیل افزایش مقاومت میکروارگانیسم‌ها به یون‌های فلزی و آنتی‌بیوتیک‌ها و ایجاد سویه‌های مقاوم، استفاده از نانو ذرات فلزی به‌عنوان جایگزین آنتی‌بیوتیک‌ها مورد توجه پژوهشگران قرارگرفته است. به‌ویژه، استفاده از نانوذرات نقره در ظروف بسته‌بندی یک لایه یا چند لایه به‌عنوان مواد افزودنی، به‌علت غیر قابل نفوذبودن نسبت به اکسیژن و رطوبت، می‌تواند از رشد باکتری‌ها و کپک‌ها در بسته جلوگیری کند و در نتیجه، سبب افزایش ماندگاری محصول و تغییرنکردن ویژگی‌های ظاهری و فیزیکی آن شود (۳۶).



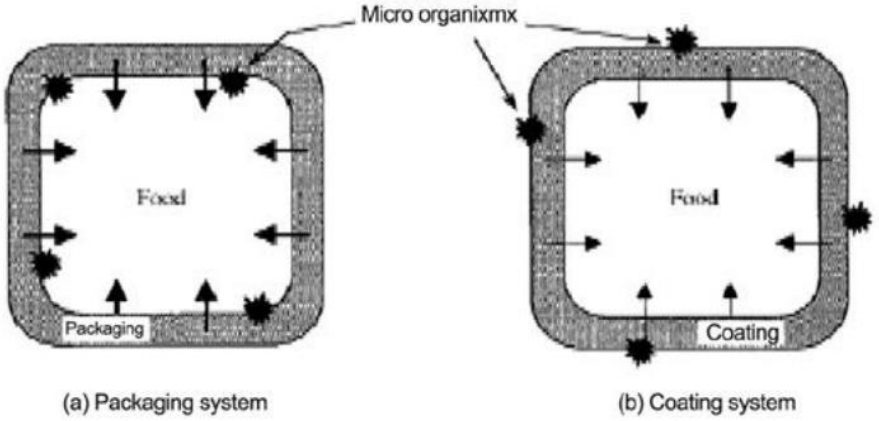

شکل ۴-۵ نحوه شکل‌گیری نانوکامپوزیت‌های رس

a) نحوه شکل‌گیری نانوکامپوزیت‌های رس که امروزه در بازار جزء نانوکامپوزیت‌های پیشتاز هستند b) مسیر عبور گاز از درون یک کامپوزیت پلیمری معمول c) افزایش مسیرهای پیچ و خم‌دار به‌وسیله‌ی کامپوزیت‌های نانورس که به کاهش عبور گاز کمک می‌کند (۲۵).

نانو ذرات نقره، اتم‌های خوشه‌ای شکلی با انـــدازه ذرات (۵۶-۵ نانومتر و به‌طـــور متوســـط ۲۶ نانومتر) هستند. این ذرات دارای خلـــوص بـــالا، پراکندگی خوب و شـــکل شبه کره هســـتند. در حالت یونی اثر ضدمیکروبی آن بیشتر است، اما سمی است. از آنجا که نانوذرات آن سطح بیشتری از ذرات بزرگتر را دارد، از لحاظ شـــیمیایی فعال‌تر از ذرات بزرگ نقره است (۳۸).

ترکیبـــات نانویی که در بســـته‌بندی‌ها به‌کار رفته‌انـــد گاهـــی دارای خـــواص ضدمیکروبی هســـتند و در نتیجه، خود بسته‌بندی به‌عنوان یک عامل ضدمیکروب ایفای نقش می‌کند. ازجمله پرکاربردتریـــن ترکیبات نانو که در این بسته‌بندی‌ها اســـتفاده می‌شـــود می‌توان به ذرات نانونقره اشاره کرد، هرچند که نانواکسیدروی و نانودی‌اکســـیدکلرین هم قابل‌استفاده است. ترکیبات نانویی مانند نانواکسید منیزیم، نانواکســـید مس، نانودی‌اکســـید تیتانیوم و نانولوله‌هـــای کربنی نیز ازجمله ترکیباتی هســـتند که پیش‌بینی می‌شـــود در آینده در بســـته‌بندی ضدمیکروبی مواد غذایی استفاده شـــوند؛ اما تاکنون ثابت شده که نانوذرات نقره

کارآمدترین ضدمیکروب در مقابله با باکتری‌ها، ویروس‌ها و سایر میکروارگانسیم‌های یوکاریوت است (۴۵). در شکل ۲ بسته‌بندی مواد غذایی با پوشش‌های ضدمیکروبی نشان داده‌شده است. ویژگی‌های فیزیکی نانومواد، مثل اندازه و شکل، ویژگی‌های سطحی و ترکیب شیمیایی آن‌ها می‌تواند باعث ایجاد اثرات سمی شود؛ مثلا، نانوذرات نقره گونه‌ای اکسیژن فعال (ROS[1]) تولید می‌کنند که واکنش مولکول‌ها را افزایش می‌دهد و رادیکال آزاد ایجاد می‌کند و در نهایت، باعث آماس و آسیب پروتئین‌ها، غشاء و DNA می‌شود. اثر ضدباکتریایی زیاد نانونقره ممکن است باعث از بین رفتن باکتری‌های مفید در بدن و اطراف ما شود (۳۸).




شکل۴-۶ بسته‌بندی مواد ضدمیکروبی

### ۴-۴-۱-۱ فرآیندهای نانوذرات نقره

فرآیندهای نانوذرات نقره را می‌توان به موارد زیر دسته‌بندی کرد:

1. Reactive Oxygen Species

### ۴-۴-۱-۱-۱ فرآینـــد کاتالیســـتی تولید اکســـیژن فعال بـــا نقره

ایـــن فرآیند بیشـــتر در مورد کامپوزیت‌های نانونقـــره‌ای صدق می‌کند که روی پایه هادی مانند $SiO_2$ و $TiO_2$ قرار می‌گیرند. در این وضعیت، ذره پیلی الکتروشیمیایی عمل می‌کند و با اکسیدکردن اتم اکســـیژن و یون اکسیژن با هیدرولیز کردن آب، یون OH را تولیـــد می‌کند که هر دو از بنیان‌هـــای فعال و از عوامل ضد میکروبی قوی نیز به‌شمار می‌روند.

### ۴-۴-۱-۱-۲ فرآیند یونـــی (تبدیل پیوندهای SH – به SAG)

در این فرآینـــد ذرات نانونقره فلزی به‌مـــرور زمـــان یون‌های نقره از خود ســـاطع می‌کننـــد. ایـــن یون‌هـــا در طـــول واکنش جانشینی، باندهای SH – را به باندهای SAG– تبدیل می‌کنند (پیوندهای دی‌ســـولفیدی در دیواره باکتـــری نقش حفاظتـــی را در مقابل واکنش‌های اکســـایش ایفا می‌کنند؛ اما حضور یون‌های نقره در طی واکنش جانشینی سبب تبدیل باندهای S-H به سولفید نقره در جداره باکتری شده و در نتیجه، موجب از بین رفتن آن‌ها می‌شود).

### ۴-۴-۱-۱-۳اتصال با دیواره سلولی

افزایش تمایلات بـــار مثبت نقره در ابعاد نانو موجب اتصال با میکروارگانسیم‌های دارای بار منفی می‌شـــود که این ساز و کار به تخریب غشـــای ســـلولی میکروارگانیســـم می‌انجامد (دیواره سلولی باکتری حاوی مقادیر زیادی بار منفی است؛ زمانی که این باکتری در مجاورت بافتـــی که حاوی نقـــره بوده قـــرار می‌گیرد، یون‌هایی بـــا بار مثبت نقره جـــذب بار منفی دیواره باکتری شده و در نهایت، موجب از بین رفتن باکتری می‌شوند).

### ۴-۴-۱-۱-۴ از بین بردن آنزیم‌های میکروارگانیسم‌ها

در بعضی از میکروارگانسیم‌هایی که تنفس آن‌ها به‌وسیله آنزیم‌ها صورت می‌گیرد. نانونقره با از بین بردن آن آنزیم‌ها مکانیسم تنفسی میکروارگانســـیم‌ها را مختـــل می‌کند و باعث مرگ آن‌ها می‌شـــود (یون‌هـــای نقره زنجیره تنفسی باکتری را در سیتوکروم اکسیداز بلوکه می‌کند) (۳۹).

### ۴-۴-۱-۱-۵ سایر فرآیندهای نانونقره

نانوذرات نقره از راه‌های زیر خواص ضدمیکروبی از خود نشان می‌دهند:

- چسبندگی به سطح سلول
- تجزیه لیپوپلی ساکاریدها
- نفوذ در داخل سلول باکتریایی و تخریب DNA
- اتصال به گروه‌های الکترون دهنده در مولکول‌ها
- آزادسازی یونهای Ag+ ضد میکروب (۳۸).

### ۴-۴-۲ نانوذرات اکسید سیلیکون و اکسید نقره

باعث بهبود خواص بازدارندگی در برابر اکسیژن و دی‌اکسیدکربن و بهبود خواص مکانیکی بسته‌بندی می‌شوند. همچنین دارای فعالیت خواص ضد میکروبی، ضد قارچی و ضد آنتی‌بیوتیکی هستند (۳۰).

### ۴-۴-۳ نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید

نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم یکی از پرکاربردترین نانوذرات نیمه‌رسانا با ویژگی‌های خاص آبدوستی و فوتوکاتالیستی، جاذب نور ماورای بنفش و آنتی‌باکتریال هستند و به‌طورگسترده‌ای در ساخت نانوکامپوزیت‌های پلیمری با هدف بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند (۴۰). به‌طورکلی ذرات تیتانیوم اکساید توسط پوشش‌های گاز نیتروژن در درجه حرارت‌های بالا تولید می‌شود (۶۲). نانوتیتانیوم به همراه نیتروژن کاربرد گسترده‌ای در افزایش و بهبود خواص مکانیکی ظروف PET دارد (۵).

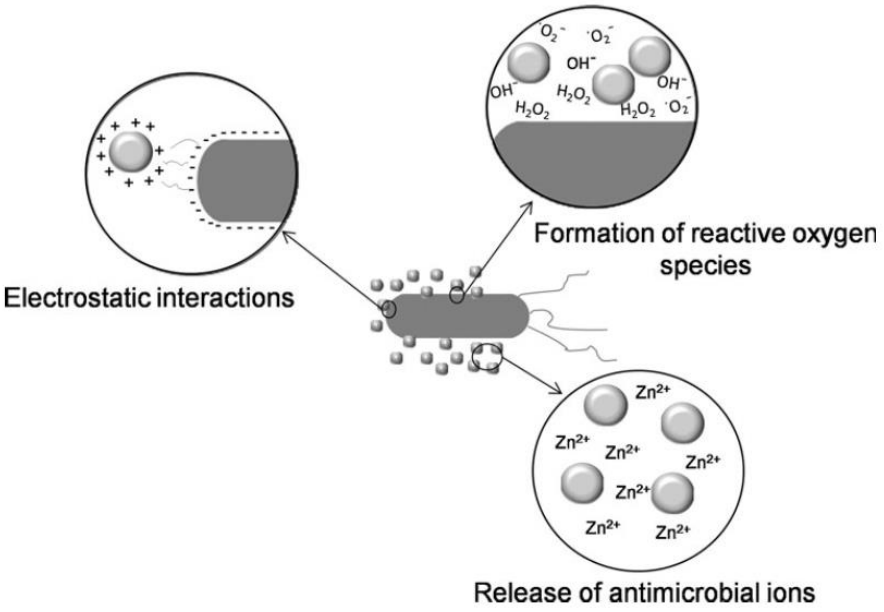
### ۴-۴-۴ نانوذرات اکسید روی

نانوذرات اکسید روی از خانواده Wurtzite و دارای ویژگی‌هایی مانند نیمه‌رسانایی، پیزوالکتریک و پیروالکتریک هستند. این خواص بی‌نظیر باعث می‌شوند که ذرات اکسید روی از غنی‌ترین مواد نانوساختاری باشند. همچنین، این ذرات زیست‌سازگار و ایمن هستند و می‌توانند در کاربردهای پزشکی به‌راحتی و بدون روکش استفاده شوند. این خصوصیات ویژه اکسید روی زمینه‌های تحقیقاتی

گوناگونـــی را ایجاد کرده است (۳۹). در صنعت غذا، نانو ذرات اکسید روی جهت حفظ و نگهداری مواد غذایی نابودی میکروارگانیسم‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. در تولید نانو ذرات ZnO، اندازه نانو ذرات باید کنترل شود. بررسی‌های تئوری اعلام کرده‌اند که ذرات کوچکتر با سطح تماس بیشتر سمیت بیشتری برای نابودی عامل آلوده کننده مواد غذایی دارند.
ZnO به عنوان یک ماده بی‌خطر (Gras) مورد تائید سازمان غذا و دارو آمریکا (FDA) است که به‌عنوان افزودنی غذایی شناخته می‌شود. ذرات نانو ZnO برای اینکه فعالیت ضد میکروبی در ماده بسته‌بندی‌شده را تامین کرده و خصوصیات بسته‌بندی را بهبود ببخشند در ماتریکس پلیمری شرکت داده می‌شوند (۴۲).

### ۱-۴-۴-۴ مکانیسم عمل نانو ذرات اکسید روی

مکانیزم دقیق عمل نانوذرات ZnO هنوز شناخته شده نیست. به هر حال خاصیت ضدمیکروبی این ذرات به چندین مکانیزم نسبت داده می‌شود. مکانیزم‌های مختلف خاصیت ضد میکروبی نانو ذرات ZnO، شامل آزاد سازی یون‌های ضد میکروبی، برهم‌کنش نانوذرات با میکروارگانیسم‌ها و آسیب انسجام و تمامیت سلول باکتری و تشکیل ROS بوسیله اثر اشعه نورانی است. آزادسازی یون‌های ضد میکروبی $Zn^{2+}$ یک فرضیه قابل قبول برای سمیت ZnO بر علیه *ساکارومایسس سروزیه* می‌باشد. براساس این نظریه سمیت نانو ذرات ZnO می‌تواند نتیجه حلالیت یون‌های $Zn^{2+}$ در یک محیط حاوی میکروارگانیسم باشد. حلالیت اکسیدهای فلزی ZnO و $Al_2O_3$ تابعی از غلظت و زمان است؛ بنابراین غلظت‌های کم یون $Zn^{2+}$ حل شده می‌تواند باعث مقاومت نسبتاً بالا بوسیله میکروارگانیسم‌ها شود. در مورد مخمر، $Zn^{2+}$ به‌سرعت در بخش‌های کیسه‌ای (واکوئل‌ها و سایر قسمت‌های سلولی) تجمع پیدا می‌کنند که این بخش‌های سلولی یک سیستم دفاع سلولی برای تحمل کاهش یا افزایش Zn هستند (۴۳).




شکل۴-۷ مکانیسم‌های مختلف فعالیت ضد میکروبی نانوذرات روی

علاوه بر این، تفاوت‌هایی در فرآیندهای متابولیک یون‌های $Zn^{2+}$ وجود دارد که بستگی به خصوصیات ذاتی هر میکروارگانیسمی دارد. یکی از دلایل برای تفاوت‌های مشاهده شده در حد آستانه سمیت نانو ذرات ZnO در میکروارگانیسم‌های مختلف می‌باشد. در این خصوص، Reddy، اثر سمیت نانو ذرات Zno را روی *E.Coli* و *استافیلوکوکوس اورئوس* مطالعه کرد. نتایج نشان داد که محدودیت کامل در رشد *E.Coli* در غلظت‌های بالاتر از ۴/۳ میلی‌مول مشاهده شد در حالیکه رشد *استافیلوکوکوس اورئوس* به‌طور کامل در غلظت بالای ۱ میلی‌مول محدود شد (۴۴).

نتایج تحقیقاتی نشان داد که نانو ذرات فلزی در حالی‌که در غلظت‌های بالا اثر سمی روی میکروارگانیسم‌ها دارند اما ZnO در غلظت‌های کم اثر سمی ندارد چون عنصر Zn یک فاکتور اساسی و ضروری در بسیاری از فرآیندهای سلولی است.

از طرف دیگر برهم‌کنش ZnO با غشای سلول باکتریایی ایجاد آسیب روی سطح سلول می‌شود به‌عنوان دلیل دیگری برای خاصیت ضد میکروبی این اکسید فلزی شناخته شده است. این عمل به دلیل تماس مستقیم نانو ذرات با غشاء باکتری و نتیجه تولید ROS نزدیک به غشاء باکتریایی می‌باشد.

### ۲-۴-۴-۴ مطالعه اثر ZnO

برخلاف مکانیسم‌های گذشته، محققین مشخص کرده‌اند که حضور ROS به‌عنوان مکانیزم اصلی مسئول خاصیت ضد میکروبی نانوذرات ZnO می‌باشند. تولید ROS مثل رادیکال هیدروکسیل ($OH^{\cdot}$)، پراکسید هیدروژن ($H_2O_2$) و سوپراکسید ($O_2^{\cdot -}$) در نتیجه فعال‌سازی نانوذرات ZnO بوسیله نور مرئی و UV می‌باشد (۴۵ و ۶۵).

از آنجایی که رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید ذراتی با بار منفی هستند نمی‌توانند به غشاء سلولی نفوذ کنند و باید در تماس مستقیم با سطح خارجی باکتری باشند، $H_2O_2$ می‌تواند درون سلول نفوذ کند. مقدار $H_2O_2$ تولید شده به‌طور نسبی با افزایش غلظت نانو ذرات، افزایش می‌یابد. از طرف دیگر مکانیزم عمل بر پایه ایجاد ROS روی سطح نانوذرات ZnO متناقض به نظر می‌رسد زیرا مطالعات نشان داده‌اند که خاصیت ضد میکروبی نانوذرات ZnO در شرایط تاریک هم دیده می‌شود. Hitora پیشنهاد داد که فعالیت ضد میکروبی ZnO در تاریکی می‌تواند بوسیله ایجاد آنیون‌های سوپراکسید اتفاق بیافتد این نتایج نشان داد که احتمالا مکانیسم‌های اضافی برای تولید ROS در غیاب نور وجود دارد (۴۶).

استفاده از نانوذرات روی به دلیل ارزان قیمت بودن و کارآمدتر بودن ازنظر جذب بالا از طریق میکروارگانیسم‌ها و اثر سمیت کمتر نسبت به ذرات نقره مقرون به صرفه است (۶۲).

## ۵-۴ نانوسنسورها و نانوپلیمرهای هوشمند[1]

نانوسنسورها شناساگرهایی هستند که جهت کنترل کیفی مواد غذایی کاربرد گسترده‌ای دارند. با قراردادن نانوحسگرهای هوشمند در ماتریس پلیمری، می‌توانیم از شرایط

1. Smart PNFP

مـــاده غذایی بسته‌بندی‌شـــده و محیط داخل بسته‌بندی آگاه شویم. نانوسنســـورها در برابر تغییرات محیطی (درجـــه حـــرارت، رطوبت و ســـطح اکســـیژن موجـــود) و عوامل میکروبـــی و پاتوژنی واکنش نشـــان می‌دهند. برای مثال، نشانگرهای حرارتی و زمانی که نشـــان دهنده درجه حرارت نگهداری و تاریخ انقضاء هستند، باعث آگاهی مصرف‌کننده و تولیدکننده از شرایط ماده غذایی و بسته‌بندی می‌شوند. در نتیجه، در مصرف‌کننده اعتماد ایجاد می‌شـــود و تولیدکننده قادر به شناســـایی نقاط ضعف خواهد بود (۳۰). محصولات تازه یا گوشت‌هایی که خراب شده‌اند، از خود رنگ، بو یا دیگر مشخصه‌های حسی را نشان می‌دهند که به آسانی توسط مصرف‌کنندگان تشخیص داده می‌شوند. هنگامی که مواد غذایی بسته‌بندی می‌شوند، این مشخصه‌های حسی آن‌ها توسط مصرف‌کنندگان کمتر قابل تشخیص است و مصرف‌کنندگان می‌بایست که به تاریخ انقضاء که توسط تولیدکنندگان، بر مبنای یکسری فرضیات مربوط به روش نگهداری و حمل‌ونقل غذا تعیین می‌شود اعتماد کنند. در حالیکه تاریخ انقضاء برای یک کارتن شیر، به مصرف‌کننده نشان می‌دهد که محصول برای یک دوره‌ی دو هفته‌ای قابل‌استفاده است، اما اگر این شیر در دمایی بالاتر از دمای بهینه‌اش به مدت یک ساعت نگه داشته شود، در حین حمل‌ونقل یا داخل یک اتومبیل گرم، این تاریخ انقضاء، اعتبار نخواهد داشت (۱۳).

ویژگی‌های شیمیایی و الکترونگاتیوی ذرات در مقیاس نانو و استفاده از بسته‌بندی‌های هوشمند راه حلی را برای این مشکل ارائه می‌دهند که قادر به شناسایی (تشخیص) حضور گازها، رایحه‌ها، آلودگی‌های شیمیایی و عوامل بیماری‌زا هستند و نسبت به تغییرات در شرایط محیطی واکنش نشان می‌دهند. استفاده از این روش‌ها نقش مهمی در کاهش فراوانی بیماری‌های منتقله از راه غذا دارند (۱۳).

بسته‌بندی هوشمند بر روی بررسی و آگاهی از وضعیت محصول متمرکز می‌شود و به این طریق از ایمنی و کیفیت محصول (تازگی و رسیده بودن و ثبات آن) اطلاع می‌دهد. از این جهت بسته‌بندی هوشمند این قابلیت را دارد که محصول را ره‌گیری کند و تولیدکننده، فروشنده و مصرف‌کننده را از وضعیت محصول آگاه سازد. وقتی سنسورها در بسته‌بندی مواد غذایی قرار می‌گیرند، می‌توانند مواد شیمیایی، پاتوژن‌ها و سموم را در مواد غذایی آشکار کنند (۲).

یک نوع از سنسورهایی که به این منظور استفاده می‌شود، بیوسنسور می‌باشد. بیوسنسورها می‌توانند با روش‌هایی چون تغییر شیمیایی و حساس کردن برچسب‌های بسته‌بندی، تعبیه‌ی میکروقطعات (تراشه های هوشمند)، یا قراردادن عناصر نانو در درون برچسب یا خود بسته‌بندی ساخته شوند (۲).

بیوسنسورها، یک گزینه انتخابی مهم در کشاورزی و صنایع غذایی برای کنترل محصولات و فرآیندها، اطمینان از کیفیت و ایمنی غذا به وسیله شیوه‌های مقرون به صرفه و سریع هستند. بیوسنسورها جایگزین نویدبخشی برای ابزارهای آنالیتیکی متداول هستند، چون مزایایی ازنظر اندازه، هزینه، اختصاصی بودن، پاسخ سریع، دقت و حساسیت ایجاد می‌کنند (۳). اگر چه که پیشرفت اولیه در فناوری بیوسنسور در زمینه‌ی پزشکی انجام شد، قابلیت آشکارسازی، آنالیز و اندازه‌گیری مولکول‌های منابع بیولوژیکی مختلف و تنوع اصول اندازه‌گیری منجر به ایجاد طرح‌های بیوسنسور برای پوشش طیف وسیعی از نیازهای تکنیکی شد. اصول عملیاتی مختلف منجر به ایجاد بیوسنسورها برای آنالیز مواد خارجی در محصولات غذایی مثل حشره‌کش‌ها، بقایای کود و دیوکسین‌ها، بقایای آب و خاک (به‌طور تصادفی به زنجیره غذایی واردشده)، ارگانیسم‌های تغییر ژنتیکی شده، میکروارگانیسم‌های پاتوژن و سم آن‌ها و ترکیبات غذایی مثل مواد ضدتغذیه‌ای، آلرژن‌ها، داروها، افزودنی‌ها و هیدروکربن‌ها شده است (۴۸).

در ساخت بیوسنسورها از نانو مواد مختلفی استفاده می‌شود که یکی از آن‌ها نانوذرات طلا می‌باشد که در میان انواع نانومواد، طلا نقش منحصر به فردی دارد. روش‌های مختلفی وجود دارد که به کمک آن‌ها می‌توان اندازه، شکل و شیمی سطحی نانوذرات طلا را کنترل کرد (۴۹).

سنسورهای مبتنی بر فناوری نانو این پتانسیل را دارند که سرعت و دقت صنایع و یا سازمان‌های نظارتی را در شناسایی آلاینده‌های مولکولی در ماتریس‌های غذایی پیچیده، افزایش دهند. بسیاری از این تست‌ها بر مبنای مشاهده‌ی تغییرات رنگی که در حضور این اجزا در محلول نانوذرات فلز اتفاق می‌افتد می‌باشند (۱۳).

یکی دیگر از کاربردهای نانوسنسورها در تشخیص گازهای درون بسته‌بندی است. رطوبت و اکسیژن اضافی باعث فساد غذا می‌شوند و هنوز هم بسیاری از روش‌های اندازه‌گیری محتوای

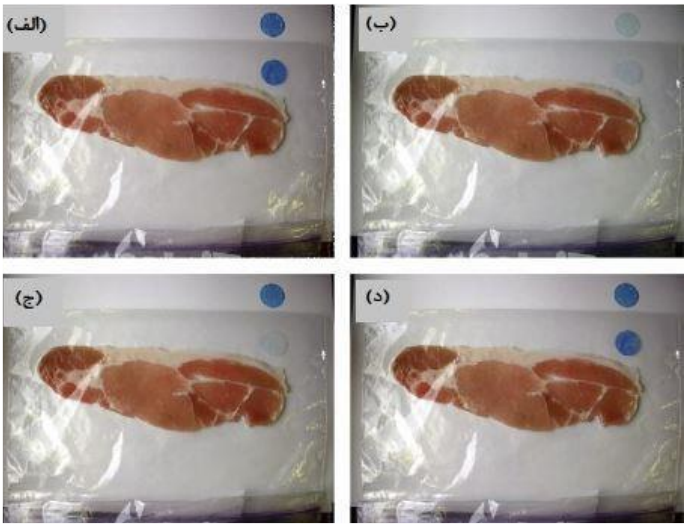
بخار یا گاز داخل یک بسته‌بندی، به تخریب بسته نیاز دارند (۵۰)؛ بنابراین به هنگام فرآوری مواد غذایی بسته‌بندی‌شده، از هر ۴۰۰-۳۰۰ بسته، یک مورد تست می‌شوند و محتوای رطوبت و گاز داخل بسته اندازه‌گیری می‌شود (۵۱)؛ که این کار زمان‌بر و هزینه‌بر می‌باشد، درحالیکه مطمئن نیستیم که بسته‌بندی‌هایی که از آن‌ها نمونه برداری نشده است دارای استاندارد و کیفیت لازم باشند. داشتن توانایی اینکه به‌صورت پیوسته و به آسانی بر محتوای گاز داخل بسته‌بندی نظارت کنیم و اینکه وسیله‌ای در اختیار داشته باشیم که بتواند ایمنی و امنیت مواد غذایی بسته‌بندی شده را در یک مدت زمان طولانی بعد از خروج مواد غذایی از کارخانه و مراکز تولید ارزیابی کند، نشان می‌دهد که روش‌های غیرمخرب تشخیص محتوای رطوبت و گاز در داخل بسته‌بندی‌های مواد غذایی می‌توانند بسیار ارزشمند باشند برای مثال یک جوهر آشکارساز فعال شونده در نور را برای تشخیص اکسیژن موجود در بسته‌بندی بر اساس نانو ذرات اکسید تیتانیوم یا اکسید روی توسعه دادند. این آشکارساز در حضور مقادیر بسیار کم اکسیژن تغییر رنگ می‌دهد (۵۱).

توانایی تعیین اینکه آیا فراورده‌های غذایی توسط باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌های مختلف آلوده شده‌اند، می‌تواند باعث شود که بیماری‌های منتقله از راه مواد غذایی به‌عنوان یک هدف تحقیقاتی مهم شناخته شوند. در این مورد، روش‌های تشخیصی که سریع و ارزان هستند و نیاز به تخصص و آموزش کم دارند مورد نظر هستند (۱۳). یکی از مهم‌ترین مزایای تکنیک‌های بر مبنای فناوری نانو این است که زمان شناسایی و جداسازی کاهش می‌یابد. برای مثال یک گروه تحقیقاتی از مولکول‌های شکر چسبیده به ذرات در مقیاس نانو از اکسید آهن مغناطیسی استفاده کردند و توانستند ۸۸٪ از باکتری‌های اشرشیاکلی را در یک نمونه تنها با زمان انکوباسیون ۴۵ دقیقه جداسازی کنند (۵۲).

### ۴-۱۶اثرات سمیت و پدیده مهاجرت مواد موجود در بسته‌بندی نانویی

مهاجرت در واقع در مورد ترکیباتی اتفاق می‌افتد که ذراتی با اندازه‌های کوچک و با وزن مولکولی زیر ۱۰۰۰ دالتون دارند. طبق تحقیقات صورت گرفته ذرات کوچکتر از قطر ۳۰۰ نانومتر قابلیت نفوذ از دیواره سلولی را دارند (۶۱). نانومواد کوچکتر از ۷۰ نانومتر حتی از دیواره هسته سلول‌ها نیز عبور می‌کنند که می‌توانند برای انسان خطرناک بوده و خطرات

جبران‌ناپذیری را ایجاد کنند (۷۱). نانومواد غذایی هم به‌صورت طبیعی و هم به وسیله خود انسان و به‌صورت عمدی به مواد غذایی افزوده می‌شوند. گیاهان و حیوانات توانایی ساخت نانوذرات در مقیاس‌های نانو را دارند. مثل میسل‌های کازئینی در شیر (۸۰ و ۸۱). یا پکتین موجود در میوه‌ها که حدود ۳۰۰-۴۰۰ نانومتر هستند (۸۲).




شکل۴-۸ شناساگرهای نانو سنسورها و نانوپلیمرها

حسگر اکسیژن. نانوذرات اکسید تیتانیوم توسط اشعه ماوراء بنفش فعال شده‌اند و از آشکارساز رنگی استفاده‌شده است. یک حسگر درون بسته و دیگری بیرون بسته قرارگرفته است. الف- بسته به تازگی بسته‌بندی‌شده است و هر دو آشکارساز رنگی هستند. ب- فعال‌سازی آشکارسازها توسط اشعه ماوراء بنفش ج- پس از مدت‌زمان کوتاهی، آشکارساز خارج بسته به رنگ آبی برمی‌گردد، در حالی‌که آشکارساز موجود در فضای بدون اکسیژن داخل بسته سفید می‌ماند. د- بسته باز می‌شود و هجوم اکسیژن به داخل بسته، باعث آبی شدن آشکارساز داخلی می‌شود که می‌تواند برای تشخیص نشت در بسته‌بندی‌ها مورداستفاده قرار گیرد.

میزان مهاجرت به فاکتورهای متعددی بستگی دارد. ازجمله این فاکتورها می‌توان به خواص فیزیکوشیمیایی ماده موجود در بسته‌بندی و ماده غذایی مثل محتوای مواد غذایی و میزان چربی غذا، دما، مدت‌زمان ماندگاری، اندازه ماده غذایی به نسبت حجم ماده غذایی (ذرات

ریزتر نسبت به حجم سطح وسیع‌تری دارند). مواد مهاجرت کننده از ظروف پلاستیکی شامل مونومرها، حلال‌ها، ناخالصی‌های همراه مواد پلیمری، ترکیبات مشتق شده از بسپارها، آنتی‌اکسیدان‌ها، افزودنی‌ها، روان‌کننده‌ها، پلاستی‌سایزرها و... می‌باشند. اهمیت پدیده مهاجرت مربوط به سمی بودن اثرمونومرهای مهاجرت کننده پلاستیکی به داخل مواد غذایی است که می‌تواند ناشی از پلیمرهای مورداستفاده یا نانوذره‌های مورداستفاده در نانوکامپوزیت‌های مصرفی باشد؛ که در صورت مصرف، مشکلاتی چون خستگی، عصبانیت، بروز اختلال در خواب، مشکلات خونی ازجمله کم شدن پلاکت‌های خونی و هموگلوبولین‌ها، سیتوژنیک یا غیر عادی شدن کروموزوم‌ها و سرطان را بوجود بیاورد (۳۲ و ۴۷).

در دهه گذشته نیاز ضروری به تکنولوژی‌های پایه‌ای جدید در علم نانوذرات، باعث به وجود آمدن خلاقیت‌های جدیدی در این حوزه شده است (۷۶). نانومواد به مجموعه مواد محلول، غیرمحلول یا تجزیه‌ناپذیر و مواد مصنوعی یک یا چندوجهی که در یکی از ابعاد ۱۰۰-۱ نانومتر باشند گفته می‌شود (۷۶). از سوی دیگر انجمن حمایت از حقوق مصرف‌کنندگان اروپا با وضع قوانین و راهکارهایی برای تولید نانوبسته‌بندی‌ها به دنبال رسیدن به این هدف فروش ۱۵ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ می‌باشد (۷۹).

ارائه برخی محصولات به‌طور گسترده و با ادعای این که ایمنی آن‌ها قبل ازدسترسی در بازار جهانی مورد آزمایش قرارگرفته است، با توجه حساسیت و محدودیت آزمون‌های ایمنی استاندارد برای تعداد روز افزون محصولات فناوری نانو، مشکل مدیریتی ایجاد کرده است. در بخش مواد غذایی افرادی همچون تاید[1] و همکارانش، تجربیاتی را در ارزیابی سم‌شناسی و خطرات نانومواد به اثبات رسانده‌اند که استفاده از آن‌ها در ارزیابی سمیت ارزشمند است رویکردهای تست سمیت کنونی مورداستفاده برای مواد معمولی، نقطه شروع مناسبی برای ارزیابی خطرات مرتبط با نانومواد است؛ با این حال، تغییرات باید میان مواد متعارف و نانومواد محاسبه شود.

برخی از نانوذرات یافت شده دارای اثراتی مانند التهاب، فشار اکسایشی و نشانه‌هایی از تشکیل اولیه تومور بر بافت‌ها هستند برای تعیین مقطع سمیت، ویژگی‌های نانوذرات، اندازه،

1. Tiede

شکل، حلالیت، واکنش‌پذیری و دیگر عوامل فیزیکی و شیمیایی باید همانند خواص یک ماده در مقیاس غیرنانو، در نظر گرفته شود. این احتمال وجود دارد که خواص سمی میان ذرات نانومواد، متفاوت باشد؛ بنابراین، ارزیابی خطر باید بر اساس مورد به مورد انجام شود (۱۵ و ۱۶).

بیشترین مطالعات صورت گرفته بر روی خطرات ناشی از استفاده نانو ذرات مربوط به فلز نقره می‌باشد. برخی از تحقیقات نشان داده‌اند که نانوذرات نقره می‌توانند با تجمع یافتن در بدن مصرف‌کننده و اختلال در عملکرد میتوکندری، افزایش نفوذ پذیری غشاء و تولید اکسیژن فعال به سلول‌های انسان آسیب برسانند (۹۳).

ارزیابی ایمنی مواد جدید، بیشتر با توجه به یافته‌های هندی و شاو[1] با مروری بر خواص فیزیکی و شیمیایی آغاز می‌شود و به حصول اطمینان از حمل‌ونقل ایمن و ذخیره‌سازی مواد در طول مصارف صنعتی و در نهایت، پاسخگویی که اخلاقی و اختیاری است ختم می‌شود. پس از این آزمون‌های اولیه، سمی بودن ماده جدید مورد مطالعه قرار می‌گیرد (۱۷).

یک مورد مطالعه مهاجرت توسط آولا[2] و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۵ میلادی، افزایش ناچیز مواد معدنی در سبزیجات بسته‌بندی‌شده در یک نانوکامپوزیت مشتق شده از یک بیوپلیمر با وارد کردن مونت موریلونیت (نانورس) را گزارش کرده است (۲۲).

سویی[3] و همکاران در سال ۲۰۰۵ نشان دادند که نانولوله‌های کربنی تک دیواره، تکثیر سلولی کلیه جنین انسان را مهار می‌کند و تأثیر منفی بر رشد سلول و عملکرد سلول دارد. نانومواد موجود در این مطالعه، بعید است که در صنایع غذایی استفاده شوند، با این حال، لازم است اثرات سمی مواد در اولین مراحل توسعه و پیشرفت فناوری بررسی و اعلام شوند تا احتیاط لازم در استفاده از آن‌ها صورت گیرد. هنگام بررسی کاربردهای نانومواد در بسته‌بندی مواد غذایی و ارزیابی خطر بالقوه مهاجرت آن‌ها به مواد غذایی سربسته، آزمون‌های مهاجرت مواد شیمیایی از بسته‌بندی محصولات غذایی و آشامیدنی، به علت تکرارپذیری و قابلیت اعتماد، مرجعی مفید هستند و به خوبی اثبات شده‌اند. آزمون‌های مهاجرت نانومواد می‌توانند

1. Handy and Shaw
2. Avella
3. Cui

اساس یک ارزیابی خطر اولیه را تشکیل دهند. این مواد جدید، عملکرد بالقوه جدیدی دارند و بنابراین واکنش مسمومیت آن‌ها نیز به گونه‌ای جدید پدیدار خواهد شد (۱۸).

مدل ارائه شده توسط سیمون[1] و همکارانش در سال ۲۰۰۸ میلادی، مهاجرت مقدار کمی از نانوذرات را از بسته‌بندی نانویی پیش بینی کرده است که این امر نیازمند داشتن اطلاعات در مورد ماتریس بسته‌بندی و نانوذرات به کار رفته در آن است. سرعت مهاجرت با کاهش ویسکوزیته دینامیکی پلیمر و اندازه ذرات، افزایش می‌یابد. این مسئله، پتانسیل مهاجرت نانوذرات را از مواد بسته‌بندی و لزوم ارزیابی خطرات ناشی از آن را آشکار می‌سازد (۲۱).

میناردِ[2] در سال ۲۰۱۰ اشاره می‌کند که نانومواد علی‌رغم منحصر به فرد بودن ذاتی، دانش موجود در رابطه با رفتار آئروسل‌ها و ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی ذرات بسیار ریز مانند آزبست و سیلیس بلوری را شامل می‌شود و می‌تواند نقطه شروع خوبی برای ارزیابی خطر و توسعه ملزومات در رابطه با سلامت انسان باشد (۱۹).

سانگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ طی تحقیقاتی که بر روی اثرات مهاجرت نانو ذرات نقره در بسته‌بندی‌های ظروف PET با تعیین میزان این ذرات از طریق آزمون طیف سنجی پلاسمایی استقرایی جرمی (ICP-MS)[3] بر روی نمونه‌های شبیه‌سازی شده انجام دادند به این نتیجه رسیدند که میزان نانوذرات نقره با گذشت زمان و افزایش درجه حرارت میزان مهاجرت در نمونه دارای ۳ درصد (w/v) اسید استیک در مقایسه با نمونه بدون اسید استیک افزایش یافت. در حالی که در نمونه شبیه‌سازی شده با اتانول ۹۵ درصد (v/v) تاثیر معنی‌داری در مقدار مهاجرت نانوذرات نقره در طول مدت‌زمان و افزایش دما مشاهده نشد؛ و همین‌طور گزارش کردند که جهت بررسی دقیق میزان اثرات مهاجرتی نانوذرات نقره، آزمون‌ها باید بر روی نمونه‌های غذایی واقعی انجام شود؛ و نیز به این نتیجه رسیدند که نانوذرات نقره به احتمال زیاد در غذاهای با میزان اسیدیته بالا اثرات مهاجرتی بیشتری دارند (۲۸).

---

1. Simon
2. Maynard
3. Inductively coupled plasma mass spectrometry

سازمان ملی نظارت و بازرسی کیفیت محصولات بسته‌بندی چین (Jinan) با همکاری دانشگاه شادونگ در سال ۲۰۱۱ بر روی میزان مهاجرت نانوذرات نقره از ظروف بسته‌بندی مواد غذایی تازه فرآوری شده بر روی کیسه‌های نانونقره LDPE مطالعه‌ای انجام دادند که در این تحقیق ابتدا مقدار کل نقره در نمونه‌های LDPE غوطه‌ور شده در حلال ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک و ۲ میلی‌لیتر هیدروژن پراکسید و بعد از آن هضم شده به وسیله مایکروویو اندازه‌گیری شد. نتایج آزمون، میزان ۱۰۰ میکروگرم نقره در هر گرم LDPE را نشان داد. جهت شبیه سازی مهاجرت نانوذرات نقره نمونه‌ها با توجه به استاندارد چینی GB/T 5009.60-2003 (آب خالص، ۴ درصد اسید استیک، ۹۵ درصد اتانول و هگزان) تهیه گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ روز در سه گروه در شرایط دمایی مختلف (دمای اتاق، آون ۴۰ درجه سلسیوس، آون ۵۰ درجه سلسیوس ) نگهداری شدند و در فواصل زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۱ و ۱۵ روز مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از طیف سنج جذب اتمی ASS[1] نشان داد که میزان مهاجرت نقره به‌طور قابل توجهی با افزایش درجه حرارت و مدت زمان در تمامی نمونه‌ها افزایش یافت. طبق مکانیسم احتمالی پیشنهادی برای مهاجرت این مواد از سوی این محققین، احتمالا انتشار اولیه نانو ذرات نقره درلایه‌های سطح نمونه صورت گرفته است و در ادامه انتشار نانو ذرات نقره توسط دو پدیده جذب دو مرحله‌ای و انتشار صورت گرفته است. مولکول‌های آب و مواد آلی ابتدا از لایه‌های درونی ماده غذایی و در ادامه از لایه‌های بین زنجیره‌های پلیمرهای پلاستیکی وارد واکنش شده‌اند. این تغییرات می‌تواند همزمان با تغییرات حالت کریستال‌ها (اکسیداسیون نانو ذرات نقره و تغییر حالت کریستال‌های پلیمری) صورت گیرد. موازنه جذب باعث تحرک و جابجایی زنجیره ماکرومولکولی به ویژه در نقاط آمورف خواهد شد و در نهایت نانواکسید نقره تا رسیدن به نقطه تعادل در انتشار و مهاجرت شرکت خواهد کرد (۲۷).

اشمیت و همکاران در سال ۲۰۱۱ نقش مهاجرتی نانوذرات در preforme های اولیه LDH[2] قالب‌گیری مذاب فیلم‌های PLA همرا با فلزات آلومینیوم و منیزیم در فیلم های (LDH-C12) را مورد مطالعه قراردادند. میزان مهاجرت کل و مهاجرت ویژه LDH، laurate و

[1]. Atomic Absorption Spectroscopy
[2]. layered double hydroxide

الگومر PLA در غذاهای چرب شبیه‌سازی شده با ۹۵ درصد اتانول و ۵ درصد آب در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ روز مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مهاجرت نانوذرات LDH با کاهش وزن مولکولی PLA کاهش یافت که از میزان حد تعیین شده EU پایین‌تر بود. همچنین مشاهده شد که مهاجرت قلع و laurate در PLA اصلاح‌شده با میزان مصرف مواد شیمیایی به ویژه تثبیت کننده‌ها و هسته‌زا[1] رابطه مستقیم دارد (۶).

فورچونتی و همکاران در سال ۲۰۱۲ خواص مهاجرتی نانوکریستال سلولز اصلاح شده در پلی‌لاکتیک اسید PLA را مورد مطالعه قراردادند. مشاهدات نشان داد که سطح مهاجرت نانوکریستال سلولز در نمونه‌های دارای ایزواکتان بیشتر از زمانی بود که از اتانول ۱۰ درصد (v/v) استفاده شد. اگرچه مقدار مهاجرت مشاهده شده از حد محدودیت استاندارد اروپا EU پایین‌تر بود (۸).

طی تحقیقی که در بازارهای ایالت متحده آمریکا طی جنبش سبز همگانی ظروف زیست تخریب پذیر نانوذرات نقره مورداستفاده در بسته‌بندی موادغذایی OSO در سال ۲۰۱۳ طبق مقررات اتحادیه اروپا EU - No.10/2011 بر روی مواد پلاستیکی انجام گرفت. اندازه‌گیری نانو مواد منتشر شده از بسته‌ها توسط ICP-MS ارزیابی شد. ظروف مورد ارزیابی با ۵۰ درصد (v/v) اتانول و ۳ درصد (v/v) اسید استیک به‌عنوان ماده شبیه سازی شده غذایی پر شد. یک سری از نمونه‌ها در مایکروویو w ۷۰۰ به مدت ۲ دقیقه و یک سری از نمونه‌ها درون آون ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ روز نمونه گذاری شدند. طبق نتایج به دست آمده در نمونه‌هایی که از مایکروویو استفاده شده بود بیشترین ذرات آزاد شده مشاهده شد. در کلیه نمونه‌های مورد ارزیابی، میزان مهاجرت نانو ذرات نقره پایین‌تر از حداکثر میزان مجاز گزارش شدند. با توجه به قوانین اتحادیه اروپا مواد بسته‌بندی نانو در مقایسه با مواد بسته‌بندی رایج توصیه گردید. همین‌طور مهاجرت درهم در پلیمرهای نانوذرات فلزات معدنی و هم در پلیمرهای طبیعی نظیر سلولز، میکروکریستالین و نانورس مشاهده شد (۹).

[1]. Nucleating agent

فرهودی و همکاران در سال ۲۰۱۴ مهاجرت نانورس در بطری‌های PET را مورد مطالعه قراردادند. نتایج نشان داد که افزایش دما و مدت زمان رابطه مستقیم با مهاجرت آلومینیوم و سیلیکون در محلول اسید استیک دارد (۷).

تحقیقات صورت گرفته در مورد ایمنی مواد غذایی در اروپا سه مانع خاص را در ارزیابی خطر نانوذرات شناسایی کرده‌اند.

- ✓ دشواری در توصیف، تشخیص و اندازه‌گیری نانومواد
- ✓ نبودن اطلاعات کافی در داده‌های سم‌شناسی
- ✓ نداشتن اطلاعات این که نانومواد پس از جذب توسط بدن، به احتمال زیاد در کدام عضو تجمع پیدا می‌کنند

مشخصات نانومواد از ملزومات اساسی برای ارزیابی خطرات است. بدون تعریف دقیق از مواد، نمی‌توان میزان خطر را تعیین کرد. پیچیدگی در حوزه نانومواد یک توصیف جزئی‌تر از اشکال هم ارز غیر نانو را می‌طلبد و نیازمند ارزیابی یک گستره وسیع از خصوصیات است که برای شناسایی حضور نانومواد در مواد غذایی و مواد در ارتباط با مواد غذایی، روش‌های آنالیز استاندارد یا آزمون‌های استاندارد باید تالیف شود (۲۰).

سازمان ایمنی مواد غذایی اروپا (EFSA) در طرح ابتکار ملی فناوری نانو ۲۰۱۰ در مورد FCMs آنزیم‌ها، کمک پردازشگرها و موادی که برای خوشم طعم کردن و معطر کردن استفاده می‌شوند[1] (CEF) نظریه مثبتی را به تصویب رساند که در آن نانوذرات نیتریت تیتانیوم مورد استفاده در بطری‌های PET در حد ۲۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم، مهاجرت ندارند و به همین دلیل برای مواد غذایی، خطر سمیت ندارند (۲۳).

در یک آزمون مهاجرت نیز در سال ۲۰۱۱ میلادی توسط هوانگ و همکارانش ارائه شد که در آن کیسه‌های ذخیره‌سازی مواد غذایی دارای نانوذرات نقره را با چهار نوع محلول غذاهای شبیه‌سازی شده پر کرده بودند. نتایج نشان داد که مهاجرت نانوذرات نقره از کیسه‌های پلی‌اتیلن به محلول غذاهای شبیه سازی شده اتفاق افتاد و مقدار مهاجرت با افزایش زمان ذخیره‌سازی و دما، افزایش داشته است. این نتایج می‌تواند تاثیری منفی در روند پیشرفت این

[1]. Flavourings and Processing Aids (CEF)

مواد بسته‌بندی داشته باشد. در عوض، بسته‌بندی زیست تخریب پذیر به دلیل تاثیر مثبت آن بر محیط زیست، دارای یک روند رو به رشد در صنعت بسته‌بندی است (۲۴).

در سال ۲۰۰۹، FAO و WHO در یک کنفرانس مشترک نانوتکنولوژی با موضوع پتانسیل‌های کاربرد نانو مواد در سلامتی انسان به همراه ۱۳ کشور ازجمله سوئیس، کانادا، اتحادیه اروپا و آمریکا برگزار کردند. نگرانی تمام اعضاء در مورد عدم آگاهی از اثرات نانو مواد مورد استفاده بر روی سلامت مصرف‌کنندگان بود و خواستار رسیدگی هرچه سریع‌تر به این مسئله بودند. در این نشست اطلاعات موجود و برنامه‌های کاربردی فناوری نانو ازجمله مفاهیم ایمنی مواد غذایی و ظرفیت‌های بالقوه خطرات و تمامی عوامل مرتبط با شناسایی خطرات مورد نانو مواد فعال در معرض مواد غذایی FCMs و بسته‌بندی بررسی قرار گرفت (۵ و ۴). در جمع‌بندی تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که فناوری نانو مزایا و فرصت‌هایی برای توسعه محصولات جدید در بخش‌هایی ازجمله تصفیه آب، بخش کشاورزی، صنایع غذایی و بسته‌بندی و نگهداری را فراهم می‌کند که تمامی اقدامات باید در چارچوب قوانین وضع شده و به‌صورت مستند و طبق استانداردهای Codex صورت گیرد. همین‌طور به این نتیجه رسیدند که مواد بسته‌بندی مواد غذایی به‌عنوان برنامه کاربردی و یک راه حل تکنولوژیکی جدید به منظور کاهش ضایعات مواد غذایی و همین‌طور امکان ردیابی مواد تولیدی در آینده مورد توجه جدی قرار خواهد گرفت (۱).

## ۴-۷ نتیجه‌گیری

هنگامی که فناوری نانو وارد صنعت شد، استفاده شرکت‌های مواد غذایی به‌طور بالقوه برای مزیت رقابتی و پیشی گرفتن از رقبای دیگر افزایش یافت. نتایج و کاربردهای امیدوارکننده‌ای از نانو مواد در زمینه بسته‌بندی و بهداشت غذا به‌دست آمده است. برای استفاده گسترده از فناوری نانو در بسته‌بندی مواد غذایی باید موضوعات مهمی را در نظر گرفت. مهم‌ترین آنها مسئله ایمنی است، زیرا ممکن است نانوذرات از ظروف بسته‌بندی مواد غذایی وارد غذا شوند. انتظار می‌رود ترکیب نانومواد در بسته‌بندی غذا خصوصیات ممانعتی مربوط به بسته‌بندی را بهبود دهد و در نتیجه، به کاهش مصرف مواد خام مفید و تولید زباله کمتر منجر شود.

همزمان با افزایش تمایل به استفاده از نانوکامپوزیت‌های بسته‌بندی موادغذایی افزایش نگرانی عمومی در مورد خطرات و اثرات این مواد بر روی سلامتی مصرف کنندگان مورد توجه ویژه قرارگرفته است. بسیاری از تحقیقات رفتار مهاجرتی نانومواد مورد استفاده در ماتریس پلیمری را گزارش کرده‌اند. برخی از مطالعات تجربی هم نشان داده‌اند که میزان این مهاجرت‌ها ناچیز است. در آزمایش‌های صورت گرفته در نمونه‌های مشابه‌سازی شده و در نمونه‌های غذایی واقعی، میزان بقایای مهاجرتی ناکافی بوده است. به دلایل عدم شناسایی دقیق اثرات سمیت نانوذرات و اثرات آنها بر روی سلامت انسان و عدم اطلاع از خطرات استفاده این مواد بر روی سلامت مصرف‌کنندگان، استفاده از این بسته‌بندی‌ها را محدود کرده است. مطبوعات و رسانه‌های جمعی با ارتباطی که با مصرف‌کنندگان خود دارند، باعث تحریک سازمان‌های نظارت و بازرسی دولتی شده و توجه آنها به مقررات و قوانین ملی در مورد نانومواد بسته‌بندی را بیشتر می‌کنند. اتحادیه اروپا قوانین ایمنی نانومواد در سال ۲۰۱۴ را وضع کرده است که شامل نانومواد بسته‌بندی غذایی نمی‌شود.

استفاده از پلیمرهای ترکیبی یک روش مفید برای جلوگیری از نفوذپذیری گازها و عوامل بیماری‌زا در بسته‌بندی‌های مواد غذایی می‌باشد. یکی از انواع نانو کامپوزیت‌های پلیمری، نانوکامپوزیت‌های پلیمری رسی می‌باشد که به علت ویژگی‌هایی مانند ارزان‌تر بودن و وزن کم، محبوبیت زیادی در بین استفاده کنندگان دارند. همچنین این نانوکامپوزیت‌های رسی، نفوذ ناپذیری زیادی نیز دارند و به ماندگاری طولانی‌تر مواد غذایی کمک می‌کنند. نانوکامپوزیت‌های نقره و مس، خاصیت ضد میکروبی بالایی دارند و از مواد غذایی در مقابل میکروب‌هایی مانند ویروس‌ها، قارچ‌ها و باکتری‌ها محافظت می‌کنند و نقش بسیار مؤثری در افزایش مدت‌زمان ماندگاری مواد غذایی ایفا می‌کنند. نانو سنسورها که در بسته‌بندی‌های هوشمند کاربرد دارند قادر به تشخیص حضور گازها، رایحه‌ها، آلودگی‌های شیمیایی و عوامل بیماری‌زای داخل بسته‌بندی مواد غذایی به روش غیر مخرب هستند و از اینرو بسیار ارزشمند و مفید هستند.

نانوذرات فلزی مثل اکسید روی، نقره و تیتانیوم اغلب به‌عنوان عوامل فتوکاتالیستی جهت نابودی میکروارگانیسم‌ها کاربرد دارند که فتوکاتالیستی این ذرات منجر به تولید اکسیژن

فعال و درنتیجه اکسیداسیون سیتوپلاسم سلول‌های عامل بیماری‌زا و درنهایت مرگ سلولی در آنها خواهد شد.

فناوری نانو آمادگی این را دارد که در بسیاری از حوزه‌های صنایع غذایی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین توانمندی ارتقای محصول و گسترش مرزهای خود را در بازارهای جغرافیایی نیز داراست. فناوری نانو باید در صنعت قابل دسترس‌تر باشد و انجام این امر باید در مراحل بعد از توسعه صورت گیرد. با این حال، مسائل قانونی باید قبل از استفاده صنعت، مورد خطاب قرارگیرد. برای تولید چنین محصولاتی و ایده‌های مناسب و توسعه یافته، تولید و واردات نانو مواد باید بر اساس اصول ارزیابی خطر، تنظیم و تسهیل شود. عدم قطعیت‌های موجود برای ارزیابی خطر و قرار گرفتن نانو مواد در معرض مصرف‌کنندگان، به علت محدودیت در شکل‌گیری جنبه‌های مختلف ازجمله سمیت، رفتار و تجمع زیستی، به وجود می‌آیند. این عدم قطعیت‌ها همچنین پیامدهایی را برای وضع قوانین موثر استفاده از نانومواد به همراه دارند. فناوری نانو در حال حاضر برنامه‌های کاربردی زیادی به نفع صنعت مواد غذایی ارائه کرده است که امروزه برخی از برنامه‌های کاربردی توسعه یافته‌تر عبارتند از مکمل‌های بهبود یافته، بسته‌بندی جدید مواد غذایی و سموم دفع آفات. مشاهده برنامه‌های کاربردی نیز ممکن است دارای پیامدهای مثبت برای افرادی باشد که در کشورهای در حال توسعه هستند به ویژه در زمینه افزایش بهره‌وری کشاورزی، بهبود و ایمنی مواد غذایی، آب و تغذیه. عدم سرمایه‌گذاری در این کشورها می‌تواند به این معنی باشد که مزایای این فناوری‌ها درکشورهای توسعه یافته محدود است. روشن است که فناوری‌های جدید، اگر به درستی مدیریت و تنظیم شوند، می‌توانند نقش محوری در بهبود توسعه محصول و روند توسعه به نفع سلامت و تندرستی انسان داشته باشند.

## ۴-۸منابع


1- World Health Organization. (2013). State of the art on the initiatives and activities relevant to risk assessment and risk management of nanotechnologies in the food and agriculture sectors: FA. World Health Organization.

۲- مطهری س. ز. ۱۹۳۱. بیوسنسور بر پایه ی نانو ذرات طلا در بسته‌بندی هوشمند. ارائه شده در بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، ۰ تا ۳ آبان ۱۹۳۱، دانشگاه شیراز

۳- فتحی ب؛ و اعلمی م. ۱۹۳۱. کاربرد بیوسنسورها برای تشخیص اکراتوکسین در محصولات غلات. ارائه شده در بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران، ۰ تا ۳ آبان ۱۹۳۱، دانشگاه شیراز

4- Takeuchi, M. T., Kojima, M., & Luetzow, M. (2014). State of the art on the initiatives and activities relevant to risk assessment and risk management of nanotechnologies in the food and agriculture sectors. Food Research International, 64, 976-981.

5- Chaudhry, Q., & Castle, L. (2011). Food applications of nanotechnologies: an overview of opportunities and challenges for developing countries. Trends in Food Science & Technology, 22(11), 595-603.

6- Di Maio, L., Scarfato, P., Milana, M. R., Feliciani, R., Denaro, M., Padula, G., & Incarnato, L. (2014). Bionanocomposite polylactic acid/organoclay films: Functional properties and measurement of total and lactic acid specific migration. Packaging Technology and Science, 27(7), 535-547.

7- Farhoodi, M., Mousavi, S. M., Sotudeh-Gharebagh, R., Emam-Djomeh, Z., & Oromiehie, A. (2014). Migration of aluminum and silicon from PET/clay nanocomposite bottles into acidic food simulant. Packaging Technology and Science, 27(2), 161-168.

8- Fortunati, E., Peltzer, M., Armentano, I., Torre, L., Jiménez, A., & Kenny, J. M. (2012). Effects of modified cellulose nanocrystals on the barrier and migration properties of PLA nano-biocomposites. Carbohydrate polymers, 90(2), 948-956.

9- Echegoyen, Y., & Nerín, C. (2013). Nanoparticle release from nano-silver antimicrobial food containers. Food and Chemical Toxicology, 62, 16-22.

10- Diaz, L. F., De Bertoldi, M., & Bidlingmaier, W. (Eds.). (2011). Compost science and technology (Vol. 8). Elsevier.

11- Tang, H., Xiong, H., Tang, S., & Zou, P. (2009). A starch-based biodegradable film modified by nano silicon dioxide. Journal of Applied Polymer Science, 113(1), 34-40.

12- Rahaman, M. S. A., Ismail, A. F., & Mustafa, A. (2007). A review of heat treatment on polyacrylonitrile fiber. Polymer Degradation and Stability, 92(8), 1421-1432.

13- Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. Journal of colloid and interface science, 363(1), 1-24.

14- Choudalakis, G., & Gotsis, A. D. (2009). Permeability of polymer/clay nanocomposites: a review. European polymer journal, 45(4), 967-984.

15- Carlson, C., Hussain, S. M., Schrand, A. M., Braydich-Stolle, L. K., Hess, K. L., Jones, R. L., & Schlager, J. J. (2008). Unique cellular interaction of silver nanoparticles: size-dependent generation of reactive oxygen species. J. Phys. Chem. B, 112(43), 13608-13619.

16- Munro, I. C., Haighton, L. A., Lynch, B. S., & Tafazoli, S. (2009). Technological challenges of addressing new and more complex migrating products from novel food packaging materials. Food Additives and Contaminants, 26(12), 1534-1546.

17- Handy, R. D., & Shaw, B. J. (2007). Toxic effects of nanoparticles and nanomaterials: implications for public health, risk assessment and the public perception of nanotechnology. Health, Risk & Society, 9(2), 125-144.

18- Cui, D., Tian, F., Ozkan, C. S., Wang, M., & Gao, H. (2005). Effect of single wall carbon nanotubes on human HEK293 cells. Toxicology letters, 155(1), 73-85.

19- Nohynek, H. (2010). Protecting asplenic individuals from fulminant pneumococcal disease. Vol. 15| Weekly issue 23| 10 June 2010, 2.

20- Tiede, K., Boxall, A. B., Tear, S. P., Lewis, J., David, H., & Hassellöv, M. (2008). Detection and characterization of engineered nanoparticles in food and the environment. Food Additives and Contaminants, 25(7), 795-821.

21- ŠIMON, P., Chaudhry, Q., & BAKOŠ, D. (2008). Migration of engineered nanoparticles from polymer packaging to food--a physicochemical view. Journal of Food & Nutrition Research, 47(3).

22- Avella, M., De Vlieger, J. J., Errico, M. E., Fischer, S., Vacca, P., & Volpe, M. G. (2005). Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. Food chemistry, 93(3), 467-474.

23- Russell, R., Cresanti, R., Boehm, J., Carim, A., Teague, C., Merzbacher, C., & Holdridge, G. (2007). The National Nanotechnology Initiative: Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry. Supplement to the President's FY 2008 Budget. NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL WASHINGTON DC NANOSCALE SCALE ENGINEERING AND TECH SUBCOMMITTEE.

24- Kadoya, T. (Ed.). (2012). Food packaging. Academic Press.

25- Douglas K. R. Robinson, Gabriela SalejovaZadrazilova, Observatory NANO (2010). "Nanotechnology for Biodegradable and Edible Food Packaging", Working Paper. Version, April 2010

26- Chaudry, Q., Watkins, R., & Castle, L. (2010). Nanotechnologies in the food arena: new opportunities, new questions, new concerns. Nanotechnologies in Food. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1-17.

27- Huang, Y., Chen, S., Bing, X., Gao, C., Wang, T., & Yuan, B. (2011). Nanosilver migrated into food-simulating solutions from commercially available food fresh containers. Packaging Technology and Science, 24(5), 291-297.

28- Song, H., Li, B., Lin, Q. B., Wu, H. J., & Chen, Y. (2011). Migration of silver from nanosilver–polyethylene composite packaging

into food simulants. Food Additives & Contaminants: Part A, 28(12), 1758-1762.

29- Sanguansri, P., & Augustin, M. A. (2006). Nanoscale materials development–a food industry perspective. Trends in Food Science & Technology, 17(10), 547-556.

30- Brody, A. L. (2006). Nano and food packaging technologies converge. Food technology.

31- Greßler, S., Gazsó, A., Simkó, M., Nentwich, M., & Fiedeler, U. (2010). Nanoparticles and nanostructured materials in the food industry. Nano Trust dossiers, 4, 1-5.

32- Landsiedel, R., Ma-Hock, L., Kroll, A., Hahn, D., Schnekenburger, J., Wiench, K., & Wohlleben, W. (2010). Testing metal-oxide nanomaterials for human safety. Advanced Materials, 22(24), 2601-2627.

33- Sozer, N., & Kokini, J. L. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. Trends in biotechnology, 27(2), 82-89.

34- Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. Trends in Food Science & Technology, 14(3), 71-78.

35- Rubilar, O., Diez, M. C., Tortella, G. R., Briceno, G., Marcato, P. D., & Duran, N. (2014). New strategies and challenges for nanobiotechnology in agriculture. Journal of Biobased Materials and Bioenergy, 8(1), 1-12.

36- Chaudhry, Q., Castle, L., & Watkins, R. (Eds.). (2017). Nanotechnologies in food (Vol. 42). Royal Society of Chemistry.

37- Arvanitoyannis, I., Nakayama, A., Psomiadou, E., Kawasaki, N., & Yamamoto, N. (1996). Synthesis and degradability of a novel aliphatic polyester based on l-lactide and sorbitol: 3. Polymer, 37(4), 651-660.

38- Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. Biotechnology advances, 27(1), 76-83.

39- Miller, G., & Senjen, R. (2008). Nanotechnology used for food packaging and food contact materials. Nanotechnology in Food and Agriculture, 2, 14-68.

40- Jaleh, B., Madad, M. S., Tabrizi, M. F., Habibi, S., Golbedaghi, R., & Keymanesh, M. R. (2011). UV-degradation effect on optical and surface properties of polystyrene-TiO 2 nanocomposite film. Journal of the Iranian Chemical Society, 8, S161-S168.

41- Rajput, N. (2015). Methods of preparation of nanoparticles-A review. International Journal Of Advances In Engineering & Technology, 7(6), 1806.

42- FDA (2011) Part 182—substances generally recognized as safe. Food and drug administration, Washington DC, USA. Available at:Accessed 28 March 2011.

43- Kasemets, K., Ivask, A., Dubourguier, H. C., & Kahru, A. (2009). Toxicity of nanoparticles of ZnO, CuO and TiO 2 to yeast Saccharomyces cerevisiae. Toxicology in vitro, 23(6), 1116-1122.

44- Reddy, K. M., Feris, K., Bell, J., Wingett, D. G., Hanley, C., & Punnoose, A. (2007). Selective toxicity of zinc oxide nanoparticles to prokaryotic and eukaryotic systems. Applied physics letters, 90(21), 213902.

45- Seven, O., Dindar, B., Aydemir, S., Metin, D., Ozinel, M. A., & Icli, S. (2004). Solar photocatalytic disinfection of a group of bacteria and fungi aqueous suspensions with TiO 2, ZnO and Sahara desert dust. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 165(1), 103-107.

46- Hirota, K., Sugimoto, M., Kato, M., Tsukagoshi, K., Tanigawa, T., & Sugimoto, H. (2010). Preparation of zinc oxide ceramics with a sustainable antibacterial activity under dark conditions. Ceramics International, 36(2), 497-506.

47- Oberdörster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., ... & Olin, S. (2005). Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. Particle and fibre toxicology, 2(1), 8.

48- Serna-Cock, L., & Perenguez-Verdugo, J. G. (2011). Biosensors applications in agri-food industry. In Environmental Biosensors. InTech.

49- Daniel, M. C., & Astruc, D. (2004). Gold nanoparticles: assembly, supramolecular chemistry, quantum-size-related properties, and applications toward biology, catalysis, and nanotechnology. Chemical reviews, 104(1), 293-346.

50- Smolander, M., Hurme, E., & Ahvenainen, R. (1997). Leak indicators for modified-atmosphere packages. Trends in Food Science & Technology, 8(4), 101-106.

51- Mills, A. (2005). Oxygen indicators and intelligent inks for packaging food. Chemical Society Reviews, 34(12), 1003-1011.

52- El-Boubbou, K., Gruden, C., & Huang, X. (2007). Magnetic glyco-nanoparticles: a unique tool for rapid pathogen detection, decontamination, and strain differentiation. Journal of the American Chemical Society, 129(44), 13392-13393.

53- Edser, C. (2002). Auto applications drive commercialization of nanocomposites. Plastics Additives and Compounding, 4, 30-33.

54- Roy, R., Roy, R. A., & Roy, D. M. (1986). Alternative perspectives on "quasi-crystallinity": Non-uniformity and nanocomposites. Materials Letters, 4(8-9), 323-328.

55- Kickelbick, G. (Ed.). (2007). Hybrid materials: synthesis, characterization, and applications. John Wiley & Sons.

56- Lange, J., & Wyser, Y. (2003). Recent innovations in barrier technologies for plastic packaging—a review. Packaging Technology and Science, 16(4), 149-158.

57- Berens, A. R. (1989). Sorption of organic liquids and vapors by rigid PVC. Journal of applied polymer science, 37(4), 901-913.

58- Navarro, R., Pérez Perrino, M., Gómez Tardajos, M., & Reinecke, H. (2010). Phthalate plasticizers covalently bound to PVC: plasticization with suppressed migration. Macromolecules, 43(5), 2377-2381.

59- Sorrentino, A., Gorrasi, G., & Vittoria, V. (2007). Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. Trends in Food Science & Technology, 18(2), 84-95.

60- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., & Dalla Rosa, M. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. Trends in Food Science & Technology, 19(12), 634-643.

61- Garnett, M. C., & Kallinteri, P. (2006). Nanomedicines and nanotoxicology: some physiological principles. Occupational Medicine, 56(5), 307-311.

62- Dong, S., Chen, X., Gu, L., Zhou, X., Xu, H., Wang, H., ... & Cui, G. (2010). Facile preparation of mesoporous titanium nitride microspheres for electrochemical energy storage. ACS applied materials & interfaces, 3(1), 93-98.

63- Jiménez, A., Arab-Tehrany, E., & Sánchez-González, L. (2014). Progress in biodegradable packaging materials.

64- Tang, X. Z., Kumar, P., Alavi, S., & Sandeep, K. P. (2012). Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposites for food packaging materials. Critical reviews in food science and nutrition, 52(5), 426-442.

65- Bodaghi, H., Mostofi, Y., Oromiehie, A., Zamani, Z., Ghanbarzadeh, B., Costa, C., ... & Del Nobile, M. A. (2013). Evaluation of the photocatalytic antimicrobial effects of a TiO 2 nanocomposite food packaging film by in vitro and in vivo tests. LWT-Food Science and Technology, 50(2), 702-706.

66- Hegde, R. R. (2009). Structure and properties of nanoclay reinforced polymer films, fibers and nonwovens. Doctoral Dissertations, 39.

67- Ferreira, J. A. M., Reis, P. N. B., Costa, J. D. M., Richardson, B. C. H., & Richardson, M. O. W. (2011). A study of the mechanical properties on polypropylene enhanced by surface treated nanoclays. Composites Part B: Engineering, 42(6), 1366-1372.

68- Kim, S. W., & Cha, S. H. (2014). Thermal, mechanical, and gas barrier properties of ethylene–vinyl alcohol copolymer-based nanocomposites for food packaging films: Effects of nanoclay loading. Journal of Applied Polymer Science, 131(11).

69- Tenn, N., Follain, N., Soulestin, J., Crétois, R., Bourbigot, S., & Marais, S. (2013). Effect of nanoclay hydration on barrier properties of PLA/montmorillonite based nanocomposites. The Journal of Physical Chemistry C, 117(23), 12117-12135.

70- Azizi Samir, M. A. S., Alloin, F., & Dufresne, A. (2005). Review of recent research into cellulosic whiskers, their properties and their application in nanocomposite field. Biomacromolecules, 6(2), 612-626.

71- Chen, M., & von Mikecz, A. (2005). Formation of nucleoplasmic protein aggregates impairs nuclear function in response to SiO 2 nanoparticles. Experimental cell research, 305(1), 51-62.

72- Samir, M. A. S. A., Alloin, F., Sanchez, J. Y., & Dufresne, A. (2004). Cellulose nanocrystals reinforced poly (oxyethylene). Polymer, 45(12), 4149-4157.

73- Ruiz-Hitzky, E., Aranda, P., Darder, M., & Ogawa, M. (2011). Hybrid and biohybrid silicate based materials: molecular vs. block-assembling bottom–up processes. Chemical Society Reviews, 40(2), 801-828.

74- Tolentino Chivite, A. (2014). Ionic complexes of biodegradable polyelectrolytes.

75- Kickelbick, G. (2003). Concepts for the incorporation of inorganic building blocks into organic polymers on a nanoscale. Progress in polymer science, 28(1), 83-114.

76- Buzek, J., & Ask, B. (2009). Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on cosmetic products. Official Journal of the European Union L, 342.

77- Neethirajan, S., & Jayas, D. S. (2011). Nanotechnology for the food and bioprocessing industries. Food and bioprocess technology, 4(1), 39-47.

78- Bumbudsanpharoke, N., & Ko, S. (2015). Nano-Food Packaging: An Overview of Market, Migration Research, and Safety Regulations. Journal of food science, 80(5).

79- Belli, B. (2012). Eating nano: Processed foods and food packaging already contain nanoparticles-Some of which could be harmful to our health. The Environmental Magazine Website.

80- Tuinier, R., & De Kruif, C. G. (2002). Stability of casein micelles in milk. The Journal of chemical physics, 117(3), 1290-1295.

81- Aguilera, J. M. (2014). Where is the nano in our foods?. Journal of agricultural and food chemistry, 62(41), 9953-9956.

82- Zhang, L., Chen, F., An, H., Yang, H., Sun, X., Guo, X., & Li, L. (2008). Physicochemical Properties, Firmness, and Nanostructures of Sodium Carbonate-Soluble Pectin of 2 Chinese Cherry Cultivars at 2 Ripening Stages. Journal of food science, 73(6).

83- Rasouli, F., & Zhang, W. (2006). U.S. Patent Application No. 11/435,826.

84- Thies, C. (2012). Nanotechnology as delivery system in the food, beverage and nutraceutical industries. Nanotechnology in the food, beverage and nutraceutical industries. Philadelphia, 208.

## ۵ پیشرفت نانوتکنولوژی در جهت بهبود قابلیت نگهداری جیره‌های حیاتی و عملیاتی

### ۵-۱ مقدمه

فرآیند بسته‌بندی مرحله‌ای ضروری برای حفظ خصوصیات ارگانولپتیک، تغذیه‌ای و بهداشتی موادغذایی از زمان تولید تا مصرف است .تجمع انواع مواد غیرقابل تجزیه به خصوص بقایای انواع مختلف مواد بسته‌بندی در طبیعت سبب شده که در سال‌های اخیر استفاده از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر به شدت مورد توجه قرارگیرد، همچنین اهمیت علمی نانوکامپوزیت‌ها به دلیل خواص بهبود یافته آن‌ها در حال افزایش است. نانو کامپوزیت‌های پایه پلیمری به دلیل مزایایی چون خواص پیشرفته مکانیکی، حرارتی، ویژگی‌های نفوذ ناپذیری، مقاومت در برابر خوردگی و کم هزینه بودن به طور گسترده در فناوری‌های مدرن استفاده می‌شوند. در تحقیق حاضر، مروری بر انواع ترکیبات بسته‌بندی و نانوفیلرهای کاربردی که نسل جدیدی از بسته‌بندی مواد غذایی آماده‌ی مصرف هستند به منظور بهره‌مندی از ویژگی‌های این سیستم در حفظ کیفیت جیره‌های غذایی فردی که امری اجتناب ناپذیر است پرداختیم.

### ۵-۲ کلیات

فاکتورهای تغذیه‌ای نقش قابل توجهی در سلامت جسمانی ، قدرت بدنی، تازگی و نشاط روح و تحمل شرایط سخت و استقامتی، کنترل وزن، کاهش خستگی و افزایش قدرت حافظه دارد به همین دلیل تغذیه نظامیان یکی از چالش‌های مهم نیروهای نظامی و یکی از اولویت‌های مهم در تمام کشورهای جهان می‌باشد. جیره‌های غذایی عملیاتی، سهم غذای کافی بسته‌بندی شده‌ای هستند که برای یک فرد نظامی در عملیات و رزمایش‌ها و همچنین شرایط بحران تهیه و مورد استفاده قرار می‌گیرند. جیره‌های غذایی با توجه به وضعیت خاص نگهداری از نظر زمانی و دمایی و از لحاظ حجم ، کالری ، ترکیبات ماکرومولکول و مواد مغذی متفاوت بوده و به منظور کاربردی بودن در موقعیت‌های خاص باید بهترین نوع ترکیب را به طور قابل قبولی مشخص نمود و بالاترین ماندگاری را برای آنها تامین کرد تا کیفیت

مناسب برای تثبیت توانایی‌های فیزیکی و جسمانی و سیستم ایمنی بدن فرد در سطح مطلوب را داشته باشد.

### ۵-۳بسته‌بندی مواد غذایی

هنگامیکه مواد غذایی بلافاصله پس از تولید مصرف نمی‌شوند باید از آلودگی، اکسیژن، نور، پاتوژن، رطوبت و ... محافظت شوندکه بسته‌بندی مناسب این وظیفه را بر عهده دارد. ارزان، سبک و غیرقابل نفوذ بودن در زمان انبارداری و حمل و نقل، پایداری فیزیکی مناسب فاکتورهایی هستند که در مورد ماده بسته‌بندی اهمیت دارند. هیچ ماده بسته‌بندی به طور کامل در مقابل گازها و فشار بخار غیرقابل نفوذ نیست، مهاجرت و نفوذناپذیری دو فاکتور مهم و کلیدی در بسته‌بندی می‌باشند [۱]. به طور مثال بسته‌بندی قدیمی و رایج مورد استفاده برای غذاهای آماده مصرف فویل آلومینیوم است که سه سال عمر مفید دارند ولی مشکلاتی مانند ترک خوردگی و سوراخ شدن خصوصا زمانی که در دمای فریزر قرار گیرند وجود دارد [۲]. همچنین اکثر موادی که برای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌گردند تجزیه ناپذیر و برای محیط مشکلاتی ایجاد می‌کنند.

### ۵-۴ پلیمر و بیوپلیمرها

پلیمرها کاربرد گسترده‌ای در بسته‌بندی و بسیاری از صنایع دیگر پیدا کرده‌اند. روش‌های مختلف اصلاح، به‌منظور بهبود ویژگی‌های آن‌ها بدون تغییر در خواص فیزیکی، توسعه یافته است. به تازگی یک روش جالب به نام آمینولیز گزارش شده است که سطح پلیمر را تغییر داده و خاصیت هیدروفیلی و سازگاری زیستی را افزایش می‌دهد[۳]. آمینولیز سبب ایجاد محصول با قابلیت ترشوندگی بهبود یافته و رنگ‌پذیری می‌شوند[۴]. پلیمرهای مصنوعی شامل پلی‌اتیلن‌اسید (PLA)، پلی‌کاپرولاکتون (PCL)، اسیدپلی‌گلیکولیک (PGA)، پلی‌وینیل‌الکل (PVA)، پلی‌وینیل‌کلراید (PVC)، پلی‌اتیلن(HDPE, LDPE)، پلی‌پروپیلن(PP)، پلی‌بوتیلن، پلی‌استایرن (PS) و پلی‌اتیلن‌ترفتالات (PET)، در صنایع غذایی کابرد پیدا کرده‌اند. در بین آن‌ها PET نفوذناپذیری بهتری نسبت به اکسیژن دارد[۵]. همچنین دارای مقاومت خوبی در برابر گرما، حلال‌ها، روغن‌های معدنی و اسیدها است.

شایع‌ترین پلیمر مصنوعی که در بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شود PLA است. علاوه بر این، پلی‌اتیلن‌ترفتالات، پلی‌اتیلن و پلی‌استایرن نیز معمولا استفاده می‌شود[۶]. مزایای پلیمرهای مصنوعی عبارتند از دوام، انعطاف پذیری، براق بودن، شفافیت و استحکام کششی. پلی‌پروپیلن با مقاومت شیمیایی عالی، چگالی کم، نقطه ذوب بالا[۷] نفوذپذیری پلیمرها در برابر اکسیژن و رطوبت به فاکتورهایی مثل قطبیت، ویژگی ساختاری زنجیره‌های جانبی پلیمری، خصوصیات پیوند هیدروژنی، وزن مولکولی، پراکندگی، درجه انشعابات یا پیوندهای عرضی، روش سنتز، درجه بلورینگی، روش فرایند بستگی دارد. هر پلیمر به تنهایی نمی‌تواند تمام خواص لازم برای بسته‌بندی را به وجود آورد به همین دلیل می‌توان یکی از راه‌های زیر را به کار برد:

۱- استفاده از فیلم‌های چند لایه ۲- ترکیب مستقیم پلیمر با مواد دیگر[۸].

به دلیل مشکلات موجود درمورد فیلم‌های مصنوعی، کاربرد مواد جدید بیولوژیکی برای توسعه فیلم‌های خوراکی و زیست تخریب پذیر به عنوان یک تلاش بزرگ برای گسترش عمر مفید و بهبود کیفیت مواد غذایی و در عین حال کاهش ضایعات بسته‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است[۹]. با این وجود، استفاده از این بیوپلیمرها به علت مشکلات مربوط به عملکرد مانند شکنندگی، نامناسب بودن در مقابل نفوذ گازها و رطوبت، و مشکلات مربوط به فرایند مانند دمای تخریب حرارتی پایین و هزینه، محدود شده است. بیوپلیمرها بر اساس واحدهای مونومری که توسط پیوندهای کووالان مرتبط هستند، ساختارهای مولکولی مانند زنجیره تشکیل می‌دهند. بیوپلیمرها می‌تواند به طور کامل از طریق واکنش طبیعی موجودات زنده تجزیه شوند و محصولات تجزیه‌ای مانند $H_2O$ و $CO_2$ که نسبت به محیط زیست بی‌خطر هستند را تولید کنند. نشاسته، سلولز، آگار، ژلاتین، گلوتن و آلژینات بیوپلیمرهای طبیعی پر کاربرد هستند پروتئین‌ها نیز تشکیل ژل‌های بیوپلیمری می‌دهند که توانایی به دام انداختن مولکول‌ها، حفاظت از هسته‌های به دام افتاده را فراهم می‌کنند و میزان انتشار آن را کاهش می‌دهند البته تا زمانی که یک محرک خارجی سبب تضعیف شبکه ژلی نشود[۱۰]. پروتئین‌های حاصل از بافت‌های حیوانی که عمدتا در کاربردهای تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از کازئین، کلاژن، پروتئین آب پنیر، پروتئین میوفیبریل ماهی

و سفیده تخم مرغ و پروتئین‌های گیاهی شامل پروتئین سویا، گلوتن گندم و زئین (پروتئین ذرت) می‌باشند[۱۱].

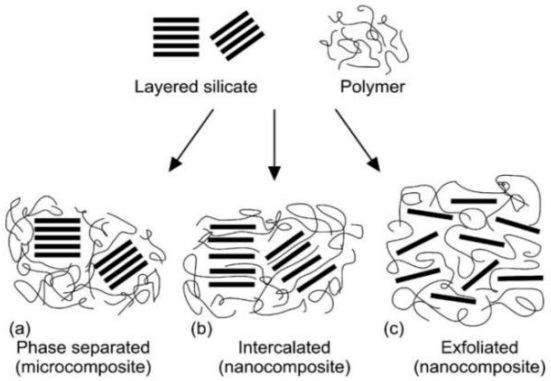
### ۵-۵ نانوفیلرها

افزودن نانوفیلرها (تقویت کننده‌ها) به یک ماتریس پلیمری کارایی آن‌ها همانند خواص مکانیکی فشاری و خمشی را بر پایه خواص و طبیعت نانوفیلر افزوده شده به طرز چشمگیری و به سادگی افزایش می‌دهد و رفتارهای جدیدی را ارائه کند که در سوبستراهای بدون فیلر وجود ندارد. اکثر مواد تقویت کننده دارای واکنش ضعیفی با ماتریس پلیمری هستند که با کاهش اندازه‌ی فیلر بهبود می‌یابد. استفاده از فیلرهایی با حداقل یک بعد در مقیاس نانو (نانوذرات) باعث تولید نانوکامپوزیت‌ها می‌شود. از انواع فیلرهایی که در این زمینه کاربرد دارند می‌توان سیلیکا، رس، گرافین، نانولوله‌های کربنی، نانوکریستال‌های نشاسته، نانوفیبرهای بر پایه سلولز، نانوذرات کیتین و کیتوزان و سایر مواد غیرآلی را نام برد[۸].
پیشرفت‌های اساسی در صنعت بسته‌بندی نقش بزرگی را در توسعه جیره‌های غذایی خاص مربوط به شرایط بحران ایفا کرده است. آخرین تغییر قابل توجه در این زمینه فناوری نانو است. فناوری نانو توانایی کار در مقیاس حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر و استفاده از ویژگی‌های مواد با خواص جدید ناشی از ساختار نانویی آن‌ها می‌باشد [۱۲]. ذرات به علت اندازه‌ی نانویی، سطح نسبتا بزرگتری دارند و در نتیجه اتم‌های سطحی بیشتری نسبت به مقیاس میکروسکوپی‌شان دارند. همچنین مواد ممکن است دارای خواص الکترونیکی مختلف باشند که به نوبه خود ویژگی‌های نوری، کاتالیزوری و دیگر واکنش‌های آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد[۱۳]. کامپوزیت‌های پلیمری مخلوطی از پلیمرها با فیلرهای معدنی یا آلی با اشکال هندسی خاص (الیاف، صفحه، کره، لوله، ذرات) هستند و استفاده از فیلرهایی که حداقل یک بعد در محدوده نانومتری دارند باعث تولید نانوکامپوزیت‌های پلیمری می‌شود [۱۴].

### ۵-۶رس و سیلیکا

صنعت بسته‌بندی به عنوان افزودنی به پلیمرها بر روی نانوذرات جامد غیر آلی مانند لایه‌های رسی و سیلیکات به دلیل در دسترس بودن آن، هزینه کم، پیشرفت‌های قابل توجه و قابلیت

پردازش آسان آن‌ها متمرکز شده است. نانو فیلر رس یکی از مهمترین‌هاست زیرا به راحتی از پوسته زمین قابل تهیه است[۱۵]. مثلا سیلیکات لایه‌ای شامل لایه‌های دو بعدی است که ضخامت ۱ نانومتر و بسته به ذرات سیلیکات چندین میکرون طول دارند و حضور آن در فرمولاسیون‌های پلیمری موجب افزایش مسیر انتشار برای یک مولکول نفوذگر می‌شود در نتیجه به طور قابل توجهی خواص نفوذناپذیری به اکسیژن و بخار آب مناسبی را به وجود می‌آورد. با توجه به واکنش بین سیلیکات‌های لایه‌ای و زنجیره‌های پلیمری ممکن است دو نوع نانوکامپوزیت ایده‌آل را تولید کند (شکل ۱). نانوکامپوزیت‌های با ساختار نامنظم به طور کلی براساس نفوذ فازهای پلیمری به ناحیه بین لایه‌ای رس ساخته می‌شوند که باعث ایجاد یک ساختار چند لایه از لایه‌های پلیمری-مواد معدنی که به طور متناوب در فواصل نانومتری از یکدیگر قرار دارند می‌شود[۱۶] و نوع دوم نانوکامپوزیت‌ها با ساختارهای پوسته‌ای هستند که شامل نفوذ شدید ماده پلیمری در لایه‌های رس بوده و به طور تصادفی در بستر پلیمری پراکنده می‌شوند. نانوکامپوزیت‌هایی با ساختار پوسته‌ای با توجه به واکنش قوی و مطلوب بین رس و پلیمرها خواص بسیار خوبی دارند[۱۷].




شکل ۵-۱a) نانوکامپوزیت با ساختار فاز جداگانه b) نانوکامپوزیت با ساختار نامنظم c) نانوکامپوزیت با ساختار پوسته‌ای

گزارش شده است که افزودن نانوذرات سیلیکا $nSiO_2$ به یک ماتریس پلی‌پروپیلن، ویژگی‌های کششی ماده شامل قدرت، مدول و کشیدگی را بهبود داده است[۱۸]. یکی از انواع فیلرهای رس که به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند مونتموریلونیت (MMT) است، که یک رسوب هیدراته آلومینا-سیلیکات لایه‌ای است که متشکل از صفحات هشت ضلعی هیدروکسید آلومینیومی است بین دو لایه سیلیسی چهارضلعی قرار گرفته است لایه‌های موازی با نیروی الکترواستاتیکی ضعیف مرتبط می‌شوند[۱۹] که این نوع رس بار منفی سطحی متوسطی دارد و یک عامل مهم برای تعادل فاصله‌ای لایه‌های آن است. بار لایه‌ها ثابت نیست و از لایه به لایه‌ای دیگر متغیر است و باید در کل کریستال مقدار آن متوسط در نظر گرفته شود[۱۴]. MMT به عنوان یک فیلر تقویت کننده به دلیل سطح بالای آن و ضریب نسبت بزرگ (۵۰-۱۰۰۰) بسیار موثر است[۲۰]. ناسازگاری شیمیایی بین نانوفیلر هیدروفیل و پلیمرهای هیدروفوب یک چالش بزرگ در تولید این نانوکامپوزیت‌هاست که باید بر آن غلبه شود. به نظر می‌رسد اصلاح سیلیکای لایه‌ای مونتموریلونیت از طریق جایگزین کردن کاتیون‌های معدنی با کاتیون‌های آلی سبب سازگاری آن با پلیمر شده و همچنین منجر به افزایش فاصله بین لایه‌های سیلیکات به دلیل وجود یون‌های آلی بزرگ می‌گردد [۲۱] و نیز افزایش فضا بین ذرات ورود پلیمر را به این فضا آسان‌تر می‌کند و لایه‌ها را محکم‌تر به هم متصل می‌سازد. اتصال بین سطح فوق العاده بزرگ فیلر و ماتریس پلیمری تحرک زنجیره‌ها را کاهش می‌دهد و اثر تقویت کننده به وجود می‌آورد و خواص فیزیکی مانند مقاومت کششی و مدول کششی بهبود می‌یابد. اصلاح به روش آلی‌سازی انرژی رس را کاهش می‌دهد و سازگاری آن با پلیمرهای آلی را بهبود می‌بخشد[۲۲]. به عنوان مثال ارگانومونتموریلونیت OMMT از مبادله‌ی کاتیون‌های معدنی MMT با یون‌های آلی آمونیوم تولید شده است و بهبود سازگاری MMT با پلیمرهای آلی منجر به سازماندهی منظم لایه‌ها در ساختار و کاهش جذب آب توسط نانو کامپوزیت می‌شود[۲۳]. سورفکتانت‌ها نیز برای بهبود پراکندگی OMMT در یک ماتریس پلی‌اتیلن مورد استفاده قرار گرفته و قادرند فاصله (d-spacing) بین لایه‌های رس را به دامنه‌های مختلف، بسته به تعداد واحدهای قطبی در مولکول سورفکتانت افزایش دهند. برای نانوکامپوزیت‌های سلولز استات و OMMT از استات بوتیرات پیوند شده با مالئیک انیدرید به عنوان سازگار کننده استفاده

کردند که این نانوکامپوزیت‌ها خواص مکانیکی بهتر را نسبت به همتای بدون این ترکیبات را نشان دادند[۲۴].

بزرگترین تئوری برای توضیح خواص بهبود یافته نانوکامپوزیت پلیمر رس بر اساس تئوری Nielsen در سال ۱۹۶۷می‌باشد که بر ایجاد یک مسیر پیچیده در اطراف صفحات رس تمرکز کرده است که این موضوع باعث می‌شود که گازها مجبور شوند مسیر طولانی‌تری را برای توزیع در میان فیلم طی کنند. که این طولانی شدن مسیر برمبنای بالا بودن نسبت ابعاد فیلر رس به حجم آن در ترکیب پدید می‌آید. مدل Nielsen به کار بردن رس کمتر از ۱٪ را برای بهبود خواص پیش بینی کرده اما در مطالعات تجربی در استفاده با مقادیر بالاتر نتایج متفاوت معنی‌داری نسبت به مدل بدست آمد [۲۵]. که بسیاری از این انحرافات با فاکتورهایی از قبیل خاصیت گرایش ضعیف رس و کامل پراکنده نشدن آن به صورت ساختار پوسته‌ای قابل توضیح می‌باشد [۲۶]. beall 2000 نیز یک مدل برای نفوذپذیری نانوکامپوزیت‌های پلیمری را پیشنهاد کرد که علاوه بر اینکه مسیر پیچشی را مطرح می‌کند بر روی تعامل پلیمر رس به عنوان عامل اصلی نیز تمرکز کرده است. این مدل یک فاکتور اصلاح پذیری برای مدل Nielsen را فراهم می‌کند. این مدل سه منطقه را در اطراف ورقه‌های رس تعریف می‌کند: منطقه تعدیل کننده سطح (۱-۲ نانومتر) که رس و پلیمر را به هم متصل می‌کند و فرض بر این است که به اندازه کافی کوچک است که اثر کمی بر نفوذپذیری کامپوزیت داشته باشد. منطقه پلیمری محدود و منطقه پلیمری بدون محدودیت که تحت تاثیر رس قرار ندارد است و خواص آن مشابه با پلیمر فله است. اما منطقه پلیمری محدود شده در تماس مستقیم با تعدیل کننده سطحی قرار دارد و فرض بر این است که حجم آزاد پایین‌تر و در نتیجه ضریب نفوذ پایین‌تر نسبت به پلیمر فله دارد. از آنجایی که اثر اصلی منطقه محدود شده، کاهش حجم آزاد است و این اثر در مناطق کریستالی قابل توجه نیست، منطقه محدود شده در پلیمرهای نیمه کریستالی به طور قابل توجهی نفوذپذیری را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد مگر اینکه کریستالی کاهش یابد. در واقع بیشترین انحرافات از مدل ساده‌ی مسیر پیچشی، شامل پلیمرهای آمورف می باشد[۲۷].

خودمونتاژی لایه به لایه (LbL) روشی است که از آن می‌توان بسته بندی چند لایه‌ای را از طریق پوشش‌دهی فیلم با لایه‌های نانومتری از طریق جذب متوالی پلی‌الکترولیت‌هایی با بار

مخالف بر روی یک سطح جامد تولید کرد [۲۸] به همین طریق فیلم‌های چند لایه را با قرار دادن لایه‌های تقویت کننده سدیم مونتموریلونیت آنیونی و پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی بر روی یک ماده سوبسترای PET ایجاد کردند. سرعت انتقال اکسیژن (OTR) به عنوان یک تابع از تعداد لایه‌ها کاهش یافته است، و به طور بالقوه قابلیت مایکروویو و شفافیت نوری خوبی دارند (بالاتر از ۹۰٪)[۲۹].

### ۵-۷سلولز

سلولز از دیگر ترکیبات تقویت کننده به صورت سلول‌های فیبری بلند و یک پلیمر طبیعی بسیار قوی است و هزینه کمی دارد و به طور گسترده‌ای در دسترس می‌باشد. علاوه بر این، آن‌ها دوستدار محیط زیست‌اند و قابلیت بازیافت آسان دارند[۳۰]. در گیاهان یا حیوانات زنجیرهای سلولز برای تشکیل میکروفیبرها به کار می‌روند که مجموعه‌ای از مولکول‌هایی هستند که از طریق پیوند هیدروژن طویل و پایدار می‌شوند[۳۱]. هر میکروفیبریل توسط مجموعه‌ای از فیبریل‌های اولیه تشکیل شده که خود از بخش‌های بلوری و آمورف (که به عنوان نقص ساختاری عمل می‌کنند) تشکیل شده‌اند و بخش آمورف یک مدول نزدیک به کریستال‌های طبیعی سلولز(حدود ۱۵۰ GPa) و قدرت حدود ۱۰ GPa دارند[۳۰]. روش اصلی برای به دست آوردن رشته‌های سلولز، هیدرولیز اسیدی است که بر اساس برداشتن مناطق آمورف موجود در فیبریل‌ها می‌باشد و مناطق کریستالی را دست نخورده باقی می‌گذارد. ابعاد رشته‌ها پس از هیدرولیز بستگی به درصد مناطق آمورف موجود در فیبریل‌های فله‌ای دارد که برای هر ارگانیسم متفاوت است[۳۱]. میکروکریستالین سلولز (MCC)، توسط هیدرولیز اسیدی سلولز تهیه می‌شود و مناطق کریستالی غیرقابل دسترس را به عنوان بلورهای خوب که به طور معمول ۲۰۰-۴۰۰ نانومتر و ضریب نسبت حدود ۱۰ باقی می‌گذارد. درجه پلیمریزاسیون (DP) با توجه به منبع سلولز و روش فرایند حدود ۱۴۰-۴۰۰ است[۳۲]. MCC با قطر و اندازه زیرمیکرون تاثیر بسیار بیشتری بر مقاومت کششی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) نسبت به اندازه‌ی میکرونی آن داشته است. جهت‌گیری الیاف سلولز می‌تواند خواص کششی یک نانوکامپوزیت را افزایش دهد به همین دلیل دانشمندان یک میدان مغناطیسی را به یک نانوکامپوزیت پلی‌وینیل‌الکل (PVOH)

دارای سلولز برای هدایت رشته‌های سلولزی اعمال کردند مدول نانوکامپوزیت ناشی از جهت‌گیری به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد[۳۳]. نظریه پراکندگی پیش بینی می‌کند که حداکثر بهبود خواص کامپوزیتی زمانی که فقط فیلرهای کافی برای ساخت یک ساختار پیوسته وجود داشته و نیز در داخل ماتریس به درستی پراکنده شوند به وجود می‌آید. تعامل بین فیبریل‌های سلولزی و ماتریس‌های هیدروفیلیک به دلیل سطح هیدروفیلی آن‌ها، معمولا رضایت‌بخش هستند و سبب پراکندگی و چسبندگی مناسب آن‌ها می‌شود اما هنگامی که سلولز به ماتریس‌های غیرقطبی اضافه شود، سطح بسیار قطبی فیبرهای سلولز منجر به بروز مشکلاتی می‌شود که عبارتند از: سازگاری سطحی کم با ماتریس، حساسیت به رطوبت، نفوذپذیری و پیوند هیدروژنی درون رشته‌ای فیبرها. یکی دیگر از محدودیت‌های کاربرد فیبرهای سلولز ظرفیت جذب آب آن‌ها بالاست[۳۴] و[۳۵]. سطوح سلولز را می‌توان با واکنش‌های مختلفی مانند استریفیکاسیون با گروه‌های هیدروکسیل اصلاح کنند تا سازگاری آن‌ها با پلیمرهای با قطبیت کمتر بهبود یابد[۳۶]. Freire و همکاران (۲۰۰۸) الیاف سلولز را توسط آسیلاسیون با اسیدهای چرب برای کاربرد آن‌ها در کامپوزیت با پلی‌اتیلن (PE) اصلاح کردند. اصلاح شیمیایی سطح الیاف سلولز منجر به بهبود چسبندگی بین الیاف و ماتریس شده و خواص مکانیکی و پایداری حرارتی افزایش یافته و این در صورتی بود که ظرفیت جذب آب کاهش یافت. افزودن سورفاکتانت نیز می‌تواند سازگاری بین ماتریس‌های هیدروفوب و سلولز را بهبود ببخشد. Hubbe و همکاران (۲۰۰۸) پیشنهاد کردند که سر گروه هیدروفیل سورفکتانت بر روی سطح سلولز جذب می‌شود در حالی که دم هیدروفوبی آن را در ماتریس حل می‌شود و مانع از تجمع فیلرهای سلولز از طریق پیوندهای استریک می‌شود[۳۷] و[۳۵].

## ۵-۸کیتین و کیتوزان

نانوذرات کیتوزان با استفاده از ژله‌ای شدن (انعقاد) یونی بدست می‌آیند، گروه‌های آمینو با بار مثبت در کیتوزان با پلی‌آنیون‌هایی که به عنوان عامل ایجاد پل‌های عرضی‌اند مانند تری‌پلی‌فسفات پیوند الکترواستاتیک برقرار می‌کنند و نانو ذرات کیتوزان-تری‌پلی‌فسفات

(CS-TPP) را ایجاد کرده و آن‌ها را به فیلم‌های هیدروکسی پروپیل متیل سلولز (HPMC) می‌افزایند که به‌طور قابل توجهی خواص مکانیکی و ممانعت فیلم‌ها را بهبود می‌بخشد.
محققان با استفاده از هیدرولیز اسیدی کیتین، رشته‌های کیتین را تهیه کردند که ابعاد رشته‌های به دست آمده ۴۱۷ نانومتر طول و ۳۳ نانومتر قطر داشت[۳۸]. یک نانو کامپوزیت بر پایه فیلم کیتوزان با ۱۵٪ نانو فیبرهای سلولز و قطعات با قابلیت پلاستیکی و ۱۸٪ گلیسرول از لحاظ سختی و مقاومت نسبت به پلیمرهای مصنوعی قابل مقایسه‌اند، اما ممانعت رطوبت آن‌ها خوب نیست [۳۹].

## ۵-۹ نانولوله‌های کربنی و گرافین

نانو لوله‌های کربنی (CNTs) هم یکی از متداول‌ترین نانوفیلرهایی هستند که ویژگی‌های حسی محصول را نشان می‌دهند و اخیرا موسسه فناوری گرجستان یک بیوسنسورهایی بر پایه نانولوله کربنی چند لایه و پلی‌آمید را برای نظارت بر پروتئین‌های خطرناک، میکروارگانیسم‌ها و پتانسیل فساد در غذا و نوشیدنی‌ها را ارائه کرده است[۴۰]. نانولوله‌های کربنی در بسته‌بندی به روش کپسوله کردن قادرند اکسیژن یا دی اکسیدکربن را به خارج از بسته پمپ کنند و از خرابی مواد غذایی و نوشیدنی‌ها جلوگیری کنند هم چنین به علت خواص مکانیکی فوق‌العاده و رسانای الکتریکی خوبی هستند و در بسته‌بندی‌های هوشمند و بیوحسگرها کاربرد دارند زیرا هنگامی که در ماتریس پلیمری عایق پراکنده شوند سبب تبدیل آن به یک رسانا می‌شوند [۴۱]. نانولوله‌های کربنی ممکن است به صورت تک دیواره با ضخامت یک اتم یا به صورت تعدادی از لوله‌های متمرکز به نام نانولوله‌های چند بعدی وجود داشته باشند که دارای ضریب سطح زیاد و مدول الاستیک بالا هستند [۴۲]. محققان گزارش کرده‌اند که CNTs دارای مدول الاستیک و استحکام کششی برابر با ۱ TPa و ۲۰۰ GPa است [۴۳]. گزارش شده است که CNTها با گروه‌های کربوکسیلیک اسید بر روی سطوح به افزایش تعاملات بین مولکولی با ماتریس پلی (اتیلن -۲،۶-نفتالن) کمک می‌کنند[۴۴] و حتی در غلظت های کمتر از ۰/۱ wt٪، به طور قابل توجهی بهبود پایداری حرارتی و همچنین استحکام کششی و مدول پلیمر را بهبود بخشیده. نانولوله‌های کربنی

همچنین اثرات ضد میکروبی دارند و فرم چند لایه آن که برای انسان و حیوان کمتر سمی هستند، سلول‌های *E.coli* را در تماس مستقیم غیرفعال می‌کنند[۲۹].
اخیرا محققان بر روی گرافین تمرکز کرده‌اند تا از تولید یک شبکه هیبریدی 2sp کربنی بهره ببرند زیرا هیبریدهای گرافین-فلزات (Ag,Au,Pt) پتانسیل کاربرد در زمینه‌های اپتیکی، الکترونیک، حسگرها را دارند. به طور خاص، گرافین به عنوان یک جزء تقویت کننده دو بعدی ایده‌آل که دارای سختی مکانیکی بالا، سطح فوق العاده بزرگ و پایداری حرارتی و شیمیایی است برای مواد کامپوزیتی در نظر گرفته شده است[۴۵]. نانوصفحات گرافین، به عنوان یک نانوفیلر بر پایه کربن بسیار امیدوار کننده هستند.

### ۱۰-۵ نانو فیلترهای ضد میکروبی

به جای ترکیب کردن مواد ضدمیکروبی به طور مستقیم با غذا استفاده از مواد بسته‌بندی با خاصیت ضدمیکروبی یک راه حل بالقوه می‌باشد که اثر ضد میکروبی مناسبی در سطح ماده خوراکی که اکثرا رشد میکروبی در آنجا مشاهده می‌گردد، پدید می‌آورد. بعضی از پلیمرهای کاتیونی از خود فعالیت ضد باکتریایی نشان می‌دهند و می‌توانند تا حد زیادی از رشد باکتری‌های مختلف بدون انتشار مواد شیمیایی سمی با وزن مولکولی کم به درون محیط جلوگیری کنند. پلیمرهای ضد میکروب معمولا شامل ساختارهای پلی‌کاتیونی مانند آمونیوم کواترنری جایگزین، نمک‌های فسفونیوم، نمک‌های N-آلکیل پیریدین و مشتقات رودامین هستند. علاوه بر پلیمرهای متداول با خواص ضدمیکروبی، استفاده از نانوذرات کاتیونی در ساختار پلیمر برای فعالیت‌های ضد میکروبی مورد بررسی قرار گرفته است، کاتیون فلزی Ag یا واکنشگرهای بسیار فعال هیدروژن پراکسید، رادیکال هیدروکسیل، و سوپراکسید تولید شده در فوتوکاتالیز، مواد ضدباکتریایی می‌باشند. البته یون نقره به علت داشتن خواص ضدمیکروبی پایدار و غیر فرار بودن، نوسانات کم در دمای بالا و نهایتا به دلیل سمی بودن آن در مورد طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها یکی از شایعترین موارد مورد استفاده است [۴۶]. یون نقره قابلیت نابودی باکتری های گرم مثبت و منفی مانند *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشرشیاکلی* را دارد [۴۷]. علاوه بر آن ویژگی‌های کلی مربوط به ماده بسته بندی از جمله استقامت مکانیکی را نیز به خوبی حفظ کرده است. روش‌های مختلفی برای تولید نانوذرات

نقره پیشنهاد شده است: واکنش شیمیایی احیاء، روش‌های هیدروترمال، روش فوتوشیمیایی، لیزر، سل-ژل [۳]. نقره به عنوان قدیمی‌ترین و محبوب‌ترین میکروب‌کش همانند فلزاتی نظیر مولیبدن و مس به عنوان ضدمیکروب در ماتریس پلیمرها به کار می‌رود [۴۸]. نانوذرات نقره از طریق واکنش با غشای باکتری و پروتئین‌های داخل سلولی آن‌ها باعث اختلال در تقسیم سلولی و نهایتا مرگ سلول می‌گردد. در حضور یون‌های نقره مکانیسم‌های دفاعی DNA سلول را از محیط سمی حفاظت می‌کند اما این موضوع خود سبب تضعیف توانایی تکثیر باکتری‌ها می‌شود[۴۹]. علاوه بر این، Ag-NP ها اتیلن را جذب و تجزیه می‌کند ، که می‌تواند تاثیرات آن را بر گسترش عمر مفید میوه‌ها و سبزیجات داشته باشد[۵۰].

اکسید روی (ZnO) نیز به عنوان یک اکسید فلزی به علت خواص ضدعفونی کننده و ضدباکتری آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزودن نانوفیلر ZnO باعث بهبود چسبندگی، رنگ، رطوبت، خاصیت هیدروفوبی، ممانعت از اشعه ماوراء بنفش، کشیدگی و ثبات حرارتی پوشش‌های نانوکامپوزیت، و همچنین کاهش مقاومت کششی، قدرت، نفوذپذیری رطوبت و مدول الاستیک می‌گردد. محققان از ژلاتین گاوی و نشاسته با هم به عنوان بستر پلیمری استفاده کردند و به آن‌ها نانوفیلر ZnO افزوده شد و نتایج مطلوب ذکر شده را مشاهده کردند[۵۱].

مکانیسم ضدباکتریایی نانوفیلرها متنوع است: ۱- تخریب دیواره سلولی ۲- تولید یون‌های فلزی برای محدود کردن واکنش آنزیم‌های اکسیداتیو ۳- دناتوره کردن پروتئین‌ها ۴- تداخل با تکثیر DNA و RNA [۵۲].

### ۵-۱۱ نانوحسگرها

استفاده از نانوکامپوزیت در بسته‌بندی به عنوان ترکیبات دارای پتانسیل تشخیص آنالیت‌های مربوط به غذا مثل گازها، مولکول‌های ارگانیک و پاتوژن‌ها یا پتانسیل پاسخگویی به تغییرات محیطی (مانند دما یا رطوبت در اتاق‌های ذخیره‌سازی، سطوح تماس با اکسیژن) موضوعاتی هستند که تولید بسته‌بندی‌های هوشمند را تائید می‌کنند که از طریق تغییر رنگ فیزیکی و شیمیایی سیگنال‌هایی را برای بیان تغییرات ایجاد شده در ماده غذایی ارائه و به اصطلاح نانوسنسورها ایجاد می‌کنند[۵۳]. پلیمرهای رسانا (CPs) یا پلیمرهای کنژوگه الکترو فعال

که می‌توانند از طریق اکسیداسیون شیمیایی یا الکتروشیمیایی سنتز شوند، به دلیل خواص الکتریکی، الکترونیکی، مغناطیسی و اپتیکی آن‌ها که وابسته به اتصالات الکترونی کنژوگه‌ی آن‌هاست برای این منظور مناسب هستند مانند CPهای پلی‌ان و پلی‌آروماتیک از قبیل پلی‌آنیلین (PANI)، پلی‌استیلن، پلی‌پیرول (PPy)[۵۴]. در فرایند فساد مواد غذایی بوسیله میکروارگانیسم‌ها گازهایی ایجاد می‌شود که می‌توانند توسط نانوکامپوزیت‌های پلیمری رسانا (CPC) یا اکسیدهای فلزی تشخیص داده شوند که این روش می‌تواند برای اندازه‌گیری و یا شناسایی میکروارگانیسم‌ها استفاده شود. تغییرات مقاومت این سنسورها یک الگوی خاص را مطابق با گاز مورد بررسی ایجاد می‌کند. سه باکتری *باسیلوس سرئوس*، *ویبریو پاراهمولیتیکوس* و *سالمونلا* می‌تواند از روی الگوی پاسخ تولید شده خاص خود شناسایی شوند. به طور کلی محققان دانشگاه در حال توسعه "زبان الکترونیکی" هستند که در بسته بندی مواد غذایی گنجانیده شود.

## ۱۲-۵ نانوحسگر شناساگر اکسیژن

علاقه به توسعه سنسورهای اکسیژنی غیرسمی و غیرقابل برگشت برای اطمینان از عدم وجود اکسیژن در سیستم‌های بسته‌بندی مواد غذایی بدون اکسیژن مانند بسته‌بندی تحت خلاء یا نیتروژن وجود دارد. لی، شریدان و میلز (۲۰۰۵) شاخص اکسیژن که یک نشانگررنگی فعال شده با UV است را با استفاده از نانوذرات تیتانیوم ($TiO_2$) تولید کردند و حساسیت به نور واکنش احیای متیلن بلو (MB) آن را توسط تری‌اتانولامین در محیط بسته‌بندی پلیمری با استفاده از اشعه ماورابنفش را به وجود آورند[۵۵]. در هنگام تابش اشعه ماوراء بنفش، حسگر سفید و بی رنگ باقی می‌ماند اما زمانی که اکسیژن در معرض آن قرار گیرد، رنگ آبی اصلی آن بازسازی می‌شود. نرخ بازیابی رنگ آبی متناسب با میزان وجود اکسیژن است[۵۶]. فیلم‌های نازک نانوکامپوزیت $MB\text{-}TiO_2$ را با استفاده از روش رسوب فاز مایع (LPD) که یک روش شیمیایی نرم برای رسوب اکسیدها به روی چندین سوبستراست می‌توان تهیه کرد. میلز و هازافی (۲۰۰۹) نیز به طور مشابهی از $SnO_2$ نانو کریستالی به عنوان یک حساس کننده به نور در یک نشانگر رنگ سنجی $O_2$ استفاده کردند[۵۷].

## ۵-۱۳ نانوحسگر جاذب اکسیژن

موضوع دیگری که در بسته‌بندی مطرح است جذب کردن اکسیژن باقیمانده در داخل بسته بندی خصوصا در مورد غذاهای حاوی چربی بالاست که این پدیده از کیفیت آن‌ها می‌کاهد. اکسیژن ($O_2$) مسئول از بین رفتن بسیاری از مواد غذایی به طور مستقیم یا غیر مستقیم است. واکنش‌های اکسیداسیون مستقیم منجر به قهوه‌ای شدن میوه‌ها و فساد روغن‌های گیاهی می‌شود. تخریب مواد غذایی توسط تاثیر غیرمستقیم $O_2$ بر فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی صورت می‌گیرد. ترکیب مواد جاذب $O_2$ در بسته‌بندی مواد غذایی می‌تواند $O_2$ را در سطوح بسیار کم حفظ کند. فعالیت فوتوکاتالیستی تیتانیوم دی اکسید ($TiO_2$) تحت اشعه ماوراء بنفش در این زمینه مورد توجه است. این ماده خواص جذب اکسیژن خوبی دارد و از اکسیداسیون ماده غذایی را می‌کاهد [۵۸]. این ماده به دلیل بی‌اثر بودن از نظر شیمیایی، خاصیت ضدمیکروبی از طریق تشعشع نوری، مقاومت در برابر خوردگی، سختی و اندیس رفراکت بالا توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در مطالعه‌ای یک جاذب اکسیژن بر پایه آهن که توسط رطوبت فعال می‌شد به پوشش افزوده شده و از آن برای بسته‌بندی استفاده شد. ورقه‌های حاوی جاذب اکسیژن یکپارچگی و قدرت یکسانی در مقایسه با ورقه‌های شاهد داشتند. غلظت اکسیژن موجود در کیسه‌ها در مدت یکساله‌ی نگهداری در دمای ۲۶/۷ در زیر رنج ۰/۵٪ قرار داشت و هیچگونه رشد میکروبی هوازی، کلی‌فرم و کپک و مخمر مشاهده نشد در حالیکه بسته‌بندی حاوی جاذب اکسیژن به علت کاهش بیشتر اکسیژن در فضای بسته بندی سبب حفظ بیشتر ویتامین C و کیفیت بالاتر غذا از لحاظ فیزیکوشیمیایی و ارگانولپتیکی شد.[۵۹]. استفاده از بسته‌بندی فعال جاذب اکسیژن برای افزایش ماندگاری کراکر در جیره غذایی نظامی نیز بررسی گردیده است و تحقیقات نشان داد که اکسیژن باقی‌مانده در فضای بسته‌بندی در طول ۵۲ هفته در پوشش‌های باز و بدون ماده جاذب اکسیژن به ترتیب ۹ ، ۳ ، ۲ و ۵۵ ، ۴۱ ، ۴ ml/l در دماهای ۱۵ ، ۲۵، ۳۵ بود، همچنین جذب اکسیژن به طور معنی‌داری باعث کاهش غلظت هگزانال می‌شود. در ارزیابی حسی کراکرهایی که در بسته‌بندی‌های بدون جاذب بودند طعم و بوی فساد اکسیداتیو بعد از ۲۴ هفته مشاهده گردید که عدم پذیرش آن را باعث می‌شود. اما در پوشش‌های فعال پس از ۴۴ هفته هنوز هیچ طعم و بوی نامطلوبی حس نشد. شروع

بوی فساد با غلظت هگزانال بالای mg/kg ۶ ارتباط دارد [۶۰]. بنابراین نتایج تمامی این تحقیقات ما را مجاب می‌کند که استفاده از فیلم‌های جاذب اکسیژن جایگزین مناسبی برای بسته‌بندی‌های معمولی برای نگهداری طولانی مدت هستند.

## ۱۴-۵ نانوکامپوزیت‌های تثبیت‌کننده‌ی آنزیم

آنزیم‌ها به طور گسترده‌ای برای صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برخی موارد، استفاده مستقیم از آنزیم‌ها، به دلیل حساسیت آن‌ها نسبت به شرایط فرایند و یا ترکیباتی در ماده غذایی می‌تواند مانع از عملکرد آن‌ها شود، در نتیجه باعث کوتاه شدن عمر مفید یا غیر فعال شدن آن‌ها شود. روش تثبیت آنزیم‌ها بر روی حامل‌های مختلف می‌تواند به منظور پایداری به pH و درجه حرارت، مقاومت در برابر پروتئازها و دیگر ترکیبات دناتوره کننده و همچنین ایجاد محیط مناسب برای استفاده مکرر از آن‌ها و یا آزاد شدن کنترل شده آن‌ها به کار روند[۶۱]. تثبیت آنزیم‌هایی مانند لاکتاز و کلسترول ردوکتاز بر روی مواد بسته‌بندی می‌تواند ارزش محصول غذایی را افزایش دهد و به نیاز مصرف‌کنندگان و مشکلات مربوط به آنزیم را پاسخ دهد. سیستم‌های تثبیت نانوساختاری با افزایش سطح تماس، در دسترس بودن و انتقال جرم را افزایش می‌دهند و این عامل احتمالا مهم‌ترین عوامل موثر بر اثربخشی این سیستم‌هاست[۶۲]. در مورد ترکیبات معدنی مانند رس‌ها یک وابستگی برای جذب پروتئین‌ها گزارش شده است بنابراین در سال‌های آینده انتظار می‌رود روش‌های جدیدتری در جذب آنزیم در رس موجود در پلیمرها و استفاده از آن به عنوان یک ماتریس برای تثبیت بیومولکول و کنترل انتشار آن استفاده کرد [۶۳] محققان گلوکز اکسیداز را نیز بر روی فیلم‌های پلی آنیلین-کوفلئوروآنیلین تثبیت کردند [۶۴] نانوذرات سیلیکا نیز برای تثبیت شدن گلوتامات دهیدروژناز و لاکتات دهیدروژناز مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۶۵]. آنزیم‌های تثبیت شده فعالیت بسیار خوبی را نشان داده‌اند. مونتاژ LbL توسط Rudra و همکاران (۲۰۰۶) برای به دست آوردن یک نانوفیلم ضدمیکروبی چند لایه پلی‌پپتید از لایه‌های ال گلوتامیک اسید با بار منفی و لیزوزیم سفیده تخم‌مرغ به عنوان لایه‌های مثبت به طور گسترده‌ای به عنوان یک نگهدارنده مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفت. این نانوفیلم‌ها در

مهار رشد *میکروکوکوس لوتئوس* موثر بودند[۲۸]. نویسندگان کنترل رهاسازی لیزوزیم را با تعدیل مقدار لایه‌های فیلم نشان دادند.

برنامه‌های تحقیق و توسعه بسیاری در مرکز نظامی نایتیک (NSC) با تمرکز بر استفاده از نانوکامپوزیت‌ها برای بسته بندی غذاهای آماده مصرف وجود دارد. این برنامه‌ها عمدتا تمرکز بر فرایند ذوب نانوذرات با مواد ترموپلاستیک است. این اطلاعات اجازه می‌دهد تا با استفاده از نانوکامپوزیت‌های مناسب سپس با تغییر پارامترهای فرایند ذوب، تنظیمات شکل پیچ، سرعت پیچ، میزان تغذیه ورودی و درجه حرارت فیلم‌های دمیدنی و قالبی مناسب را تولید کنند. تمرکز این مقاله بر مطالعه روی EVOH به همراه ۳٪ سیلیکا لایه‌ای مونتموریلونیت است. EVOH یک کوپلیمر تصادفی از پلی‌وینیل‌الکل (PVOH) و پلی‌اتیلن است و به همین دلیل خاصیت هیدروفیلی کمتری نسبت به PVOH دارد و خواص آن بستگی به نسبت ترکیب پلی‌وینیل الکل دارد. EVOH حاوی ۴۴٪ اتیلن خواص مکانیکی خوبی مانند مدول یانگ ۲۰۶۲ MPa و قدرت کششی ۵۸,۸۷ MPa و ۲۸۰٪ کشیدی و ممانعت کنندگی اکسیژن عالی ($OTR= 31.0\ cm^3.mil/m^2.d$) ایجاد می‌کند اگرچه EVOH کمی به رطوبت حساس است. برای جیره‌های نظامی، برخی از بسته بندی‌ها تحت دما و فشار بالا استریلیزه می‌شوند، که در نتیجه نفوذپذیری اکسیژن با پلاستیسیته شدن رطوبتی EVOH افزایش می‌یابد و باعث تغییرات غیر قابل برگشت در ساختار EVOH می‌شود. برای حفظ نفوذناپذیری اکسیژن در محیط‌های با رطوبت بالا و پس از استریلیزاسیون، EVOH اغلب در بین دو لایه با خاصیت نفوذناپذیری به رطوبت مانند پلی‌اتیلن یا پلی‌پروپیلن اکسترود می‌شود. به طور کلی خواص فیزیکی، مدول یانگ وخواص ممانعت کنندگی با میزان رطوبت نمونه تحت تاثیر قرار گرفت. جهت‌گیری ورقه‌های سیلیکا عامل مهمی است که در نفوذ ناپذیری اثر می‌گذارد[۲].

## ۱۵-۵ جمع‌بندی

توجه زیاد به توسعه بیوپلیمرها و فن‌آوری‌های نوآورانه که وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهند و آن‌ها را جایگزین مواد بسته‌بندی غیرقابل تجزیه پلاستیکی بر پایه نفتی می‌کند بسیار قابل توجه است. تا کنون بیشترین بیونانوکامپوزیت‌های مناسب برای

بسته‌بندی محصولات عبارتند از مشتقات سلولز، PLA، پای‌کاپرولاکتون PCL، پلی‌بوتیلن سوکسینات PBS و پلی‌هیدروکسی‌بوتیرات PHB و امیدوارکننده‌ترین نانوفیلرها سیلیکات‌های لایه‌ای نانورس مثل مونتموریلونیت و کائولینیت هستند [۶۷]. موضوعات چالش برانگیز زیادی چون عملکرد نانوکامپوریت‌ها، پلیمرهای سوبسترا، نانوفیلرهای کاربردی از قبیل نانو مواد ضدمیکروبی، حسگرهایی که آلاینده‌های غذایی را تشخیص می‌دهند یا تغییرات و یکنواختی داخل بسته‌بندی را رصد می‌کنند وجود دارند که قابل تامل و بحث است. پیش‌بینی شده است که نانوتکنولوژی حداقل در سال ۲۰۲۰ بر اقتصاد جهان ۳ تریلیون دلار تاثیر بگذارد و توسعه جهانی در این زمینه حداقل ۶ میلیون فرد نیاز دارد که تا پایان این هدف پشتیبانی شوند. با توجه به این بازدهی مالی یکی از صنعت‌هایی که می‌تواند از این تکنولوژی استفاده کند قطعا صنایع غذای است. که البته همانطور که گفته شد دید منفی مردم در تولید غذاهای طبیعی تا حدی مانع اجرای این فناوری نوظهور نانوغذاها گردیده است. با اینکه در سایر صنایع دید کاملا مثبت و رو به پیشرفتی نسبت به نانوتکنولوژی وجود دارد. در بخش‌های مختلفی از صنعت غذا از جمله کشاورزی تا فرآوری و بسته‌بندی مواد غذایی تا مکمل‌های غذایی با پایداری و فعالیت زیستی بیشتر قابل کاربرد است. اما بیشترین توسعه در زمینه‌ی بسته‌بندی صورت گرفته است. این تکنولوژی تقریبا یک دهه است که روبه صعود است و چندین شرکت تجاری در زمینه دارویی و درمان پزشکی، تولید انرژی، ترکیبات ساختاری و محاسبات مولکولی از این تکنولوژی استفاده می‌کنند[۸].

نهایتا باید آگاه باشیم با توجه به اینکه موفقیت‌های بسیاری در رابطه با صنعت غذا پدیدار شده است و بدون تردید در ابتدا دارای نقاط ضعفی بوده‌اند که باید امروزه با توجه به امکانات، تنوع و عادات غذایی در تولید و بهینه‌سازی جیره‌های نظامی مورد توجه قرار گیرند.

## ۵-۱۶ منابع


1. Morais, H., P., R. and C., R. Effect of ascorbic acid on the stability of beta-carotene and capsanthin in paprika (Capsicum annuum) powder. 2002; Nahrung 46(5): 308-310.Top of Form

2. Danielle Froio, Jeanne Lucciarini, Christopher Thellen, and Jo Ann Ratto. Nanocomposites research for combat ration packaging. U. S. Army Natick Soldier Center Kansas Street, Natick, MA 01760-5020.

3. Poortavasoly, H., Montazer, M., Harifi, T., 2014. Simultaneous synthesis of nano silver and activation of polyester producing higher tensile strength aminohydroxylated fiber with antibacterial and hydrophilic properties. RSC Adv. 4, 46250–46256.

4. Textor, T., Fouda, M.M.G., Mahltig, B., 2010. Deposition of durable thin silver layer onto polyamides employing a heterogeneous Tollens' reaction. Appl. Surf. Sci. 256, 2337–2342.

5. B.Finnigan, Barrier polymer, in: K.L. Yam (Ed), The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology, Jhon Wiley and Sons, Inc., New York, 2009; pp.103-109.

6. Farhoodi, M., 2015. Nanocomposite materials for food packaging applications: characterization and safety evaluation. Food Eng. Rev. 8, 35–51.

7. Michaels, F., 1995. Modern Plastics Encyclopedia. McGraw-Hill, New York.

8. Timothy V. DuncanBottom of Form Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors Journal of Colloid and Interface Science, Volume 363, Issue 1, 1 November 2011, Pages 1-24.

9. Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past,present and future.Trends in Food Science & Technology, 14(3), 71–78.

10. Othman, S.H., 2014. Bio-nanocomposite materials for food packaging applications: type of biopolymer and nano-sized filler. Agric. Agric. Sci. Procedia 2, 296–303.

11. Zhao, R.X., Torley, P., Halley, P.J., 2008. Emerging biodegradable materials: starch- and protein-based bionanocomposites. J. Mater. Sci. 43, 3058–3071.

12. Roco, M. C. (2003). Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine.Current Opinion in Biotechnology, 14 (3), 337–346.

13. Boccuni, F., Rondinone, B., Petyx, C., & Iavicoli, S. (2008). Potential occupational exposure to manufactured nanoparticles in Italy.Journal Of Cleaner Production, 16, 949–956.

14. Alexandre, M., Dubois, P., 2000. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. Mater. Sci. Eng. R 28 (1–2), 1–63.

15. Daibing Luo, Liangzhuan Wu, Jinfang Zhi, Nanocomposites for food encapsulation packaging. chapter 10, Key Laboratory of Photochemical Conversion and Optoelectronic Materials, Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing.

16. Weiss, J., Takhistov, P., & McClements, D. J. (2006). Functional materials in food nanotechnology. Journal of Food Science, 71(9), R107–R116.

17. Adame, D., & Beall, G. W. (2009). Direct measurement of the constrained polymer region in polyamide/clay nanocomposites and the implications for gas diffusion. Applied Clay Science, 42, 545–552.

18. Wu, C. L., Zhang, M. Q., Rong, M. Z., & Friedrick, K. (2002). Tensile performance improvement of low nanoparticles filled-polypropylene composites. Composites Science and Technology, 62, 1327–1340.

19. Tan, W., Zhang, Y., Szeto, Y., Liao, L., 2008. A novel method to prepare chitosan/ montmorillonite nanocomposites in the presence of

hydroxy-aluminum oligomeric cations. Compos. Sci. Technol. 68, 2917–2921.

20. Uyama, H., Kuwabara, M., Tsujimoto, T., Nakano, M., Usuki, A., & Kobayashi, S. (2003). Green nanocomposite from renewable resources: plant oil–clay hybrid materials.Chemistry of Materials, 15, 2492–2494.

21. LeBaron, P.C., Wang, Z., Pinnavaia, T.J., 1999. Polymer-layered silicate nanocomposites: an overview. Appl. Clay Sci. 15, 11–29.

22. Paiva, L. B., Morales, A. R., & Díaz, F. R. V. (2008). Organoclays: properties, preparation and applications. Applied Clay Science, 42, 8–24.

23. Picard, E., Gauthier, H., Gérard, J. F., & Espuche, E. (2007). Influence of the intercalated cations on the surface energy of montmorillonites: consequences for the morphology and gas barrier properties of polyethylene/ montmorillonites nanocomposites. Journal of Colloid and Interface Science, 307 364–376.

24. Park, H. M., Liang, X., Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2004). Effect of compatibilizer on nanostructure of the biodegradable cellulose acetate/ organoclay nanocomposites. Macromolecules, 37, 9076–9082.

25. Bharadwaj. R. K. 2001. Modeling the barrier properties of polymer-layered silicate nanocomposite. Mavromolecules, 34, 9189-9192.

26. Lawrence E. Nielsen, Models for the permeability of filled polymer systems, journal of macromolecular science, volume 1, 1967, issue 5, pages 929-924.

27. Adame, D., Beall, G.W., 2009. Direct measurement of the constrained polymer region in polyamide/clay nanocomposites and the implications for gas diffusion. Appl. Clay Sci. 42, 545–552.

28. Rudra, J.S., Dave, K., Haynie, D.T., 2006. Antimicrobial polypeptide multilayer nanocoatings. J. Biomater. Sci. Polym. Ed. 17 (11), 1301–1315.

29. Kong, H., Jang, J., 2008. Antibacterial properties of novel poly(methyl methacrylate) nanofiber containing silver nanoparticles. Langmuir 24, 2051–2056.

30. Helbert, W., Cavaillé, C. Y., & Dufresne, A. (1996). Thermoplastic nanocomposites filled with wheat straw cellulose whiskers. Part I: processing and mechanical behaviour. Polymer Composites, 17 (4), 604–611.

31. Azizi Samir, M. A. S., Alloin, F., & Dufresne, A. (2005). Review of recent research into cellulosic whiskers, their properties and their application in nanocomposite field.Biomacromolecules, 6, 612–626.

32. Gardner, D. J., Oporto, G. S., Mills, R., & Azizi Samir, M. A. S. (2008). Adhesion and surface issues in cellulose and nanocellulose. Journal of Adhesion Science and Technology, 22, 545–567.

33. Wu, Q., Henriksson, M., Liu, X., & Berglund, L. A. (2007). A high strength nanocomposite based on microcrystalline cellulose and polyurethane.Biomacromolecules, 8, 3687–3692.

34. Kvien, I., & Oksman, K. (2007). Orientation of cellulose nanowhiskers in polyvinyl alcohol. Applied Physics A: Materials Science and Processing, 87, 641–643.

35. Freire, C. S. R., Silvestre, A. J. D., Pascoal Neto, C., Gandini, A., Martin, L., & Mondragon, I. (2008). Composites based on acylated cellulose fibers and low- density polyethylene: effect of the fiber content, degree of substitution and fatty acid chain length on final properties. Composites Science and Technology, 68(15–16), 3358–3364.

36. mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2001). Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: an overview. Composite Interfaces, 8(5), 313–343.

37. Hubbe, M. A., Rojas, O. J., Lucia, L. A., & Sain, M. (2008). Cellulosic nanocomposites: a review. Bioresources, 3 (3), 929–980.

38. Sriupayo, J., Supaphol, P., Blackwell, J., & Rujiravanit, R. (2005). Preparation and characterization of a-chitin whisker-reinforced chitosan

nanocomposite films with or without heat treatment. Carbohydrate Polymers, 62, 130–136.

39. Azeredo, H., Mattoso, L.H.C., Avena-Bustillos, R.J., Munford, M.L., Wood, D., McHugh, T.H., 2010. Nanocellulose reinforced chitosan composite films as affected by nanofiller loading and plasticizer content. J. Food Sci. 75, N1–N7.

40. Han, W., Yu, Y.J., Li, N.T., Wang, L.B., 2011. Application and safety assessment for nano-composite materials in food packaging. Chinese Sci. Bull. 56, 1216–1225.

41. Dalmas, F., Cavaillé, J.-Y., Gauthier, C., Chazeau, L., Dendievel, R., Viscoelastic behavior and electrical properties of flexible nanofiber-filled polymer nanocomposites. Influence of processing conditions. Compos. Sci. Technol. 2007; 67, 829–839.

42. Zhou, X., Shin, E., Wang, K. W., & Bakis, C. E. (2004). Interfacial damping Characteristics of carbon nanotube-based composites. Composites Science and Technology, 64 (15), 2425–2437.

43. Lau, K. T., & Hui, D. (2002). The revolutionary creation of new advanced Materials –carbon nanotube composites. Composites Part B, 33 (4), 263–277.

44. Kim, J. Y., Han, S., II, & Hong, S. (2008). Effect of modified carbon nanotube on the properties of aromatic polyester nanocomposites. Polymer, 49 , 3335–3345.

45. Liu, L., Liu, J.C., Wang, Y.J., Yan, X.L., Sun, D.D., 2011. Facile synthesis of nanodispersed silver nanoparticles on grapheme oxide sheets with enhanced antibacterial activity. New J. Chem. 35, 1418–1423.

46. Heo, S.-Y., Choi, H.-J., Park, B.-J., Um, J.-H., Jung, H.-J., Jeong, J.-R., Yoon, S.-G., 2015. Effect of protective layer on enhanced transmittance, mechanical durability, anti-fingerprint, and antibacterial activity of the silver nanoparticles deposited on flexible substrate. Sensor. Actuat. A. 221, 131–138.

47. Wiley, B., Sun, Y., Mayers, B., & Xia, Y. (2005). Shape-controlled synthesis of metal nanostructures: the case of silver. Chemistry – A European Journal, 11 (2), 454–463.

48. Cushen, M., Kerry, J., Morris, M., Cruz-Remero, M., Cummins, E., 2014. Evaluation and simulation of silver and copper nanoparticle migration from polyethylene nanocomposites to food and an associated exposure assessment. J. Agric. Food. Chem. 62, 1403–1411.

49. Morones, J.R., Elechiguerra, J.L., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J.B., Ramirez, J.T., Yacaman, M.J., 2005. The bactericidal effect of silver nanoparticles. Nanotechnology 16, 2346–2353.

50. Hu, A. W., & Fu, Z. H. (2003). Nanotechnology and its application in packaging and packaging machinery. Packaging Engineering, 24, 22–24.

51. Espitia, P.J.P., Soares, N.F.F., Coimbra, J.S.R., de Andrade, N.J., Cruz, R.S., Medeiros, E.A.A., 2012. Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity, and food packaging applications. Food Bioprocess Technol. 5, 1447–1464.

52. Chen, J., Wang, F.Y.K., Liu, Q.M., Du, J.Z., 2014. Antibacterial polymeric nanostructures for biomedical applications. Chem. Commun. 50, 14482–14493.

53. Bouwmeester, H., Dekkers, S., Noordam, M.Y., Hagens, W.I., Bulder, A.S., De Heer, C., 2009. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. Regul. Toxicol. Pharm. 53, 52–62.

54. Ahuja, T., Mir, I.A., Kumar, D., Rajesh, 2007. Biomolecular immobilization on conducting polymers for biosensing applications. Biomaterials 28, 791–805.

55. Lee, S.K., Sheridan, M., Mills, A., 2005b. Novel UV-activated colorimetric oxygen indicator. Chem. Mater. 17 (10), 2744–2751

56. Gutiérrez-Tauste, D., Domènech, X., Casañ-Pastor, N., & Ayllón, J. A. (2007).Characterization of methylene blue/TiO2 hybrid thin films prepared by the liquid phase deposition (LPD) method: application for

fabrication light-activated colorimetric oxygen indicators. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 187, 45–52.

57. Mills, A., & Hazafy, D. (2009). Nanocrystalline SnO2-based, UVB-activated, colourimetric oxygen indicator. Sensor and Actuators B: Chemical, 136 (2), 344–349.

58. Xiao, L., Green, A.N.M., Haque, S.A., Mills, A., Durrant, J.R., 2004. Light-driven oxygen scavenging by titania/polymer nanocomposite films. J. Photochem. Photobiol. A 162, 253–259.

59. Carmen Gomes, M. Elena Castell-Perez, Ezekiel Chimbombi, Frederico Barros, Dazhi Sun, Jia (Daniel) Liu, Hung-Jue Sue, Peter Sherman, Patrick Dunne, Alan O. Wright, Effect of oxygen-absorbing packaging on the shelf life of a liquid-based component of military operational rations, journal of food science, volume 74, issue 4, May 2009, pages E167-E176.

60. SigalitBerenzonI.SamSaguyf1, Oxygen Absorbers for Extension of Crackers Shelf-life, LWT - Food Science and Technology, Volume 31, Issue 1, January 1998, Pages 1-5.

61. Kandimalla, V. B., Tripathi, V. S., & Ju, H. (2006). Immobilization of biomolecules in sol–gels: biological and analytical applications.Critical Reviews in Analytical Chemistry, 36(2), 73–106.

62. Fernández, A., Cava, D., Ocio, M. J., & Lagaron, J. M. (2008). Perspectives for biocatalysts in food packaging.Trends in Food Science & Technology, 19 (4), 198–206.

63. Rhim, J. W., & Ng, P. K. W. (2007). Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications.Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 47 (4), 411–433.

64. Sharma, A. L., Singhal, R., Kumar, A., Rajesh Pande, K. K., & Malhotra, B. D. (2004). Immobilization of glucose oxidase onto electrochemically prepared poly (aniline-co-fluoroaniline) films. Journal of Applied Polymer Science, 91 (6), 3999–4006.

65. Qhobosheane, M., Santra, S., Zhang, P., & Tan, W. H. (2001). Biochemically functionalized silica nanoparticles. Analyst, 126 (8), 1274–1278.

66. Rhim, J.-W., Park, H.-M., Ha, C.-S., 2013. Bio-nanocomposites for food packaging applications. Prog. Polym. Sci. 38, 1629–1652.

## ۶ اندازه‌گیری مهاجرت کلی در ظروف پلیمری

### ۶-۱ مقدمه

اندازه‌گیری مهاجرت بطری‌ها در شرایط زمانی و دمایی، شدت نور، نسبت سطح به حجم، در مشابه‌های غذایی مطابق جدول ۵ در تماس بطری‌ها به روش پر کردن با استفاده از استانداردهای سری ملی ایران به شماره۱- ۱۳۷۳۷ تا ۱۴- ۱۳۷۳۷ و استانداردهای EN1186-8 و EN1186-9 بر روی بطری PET انجام شد. به علت اینکه روش آزمون مورد استفاده، روش پر کردن مشابه غذایی در تماس بطری بود، و با عنایت به ترجمه این استانداردها و set up کامل آن‌ها جهت آزمون‌ها مهاجرت کلی مبنای کار قرار گرفت. لذا روش‌های آزمون مهاجرت کلی مطابق دو استاندارد به شماره‌های EN1186-8 و EN1186-9 به شرح ذیل انجام پذیرفت:

### ۶-۲ روش آزمون مهاجرت کلی مشابه غذایی آبکی در تماس مواد و ظرف پلاستیکی به روش پر کردن ( EN1186-9 )

#### ۶-۲-۱ هدف و دامنه

این روش آزمون یک رویه برای تعیین مهاجرت کلی مشابه مواد غذایی آبکی به داخل مواد و کالاهای پلاستیکی تحت شرایط تماس ۱۰ روز، ۲۴ ساعت و ۲ ساعت در دمای ۴۰ یا ۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد است.

#### ۶-۲-۲ اصول

مهاجرت کلی مواد غیر فرار از یک نمونه مواد و کالای پلاستیک به صورت باقی مانده جرم مواد غیر فرار پس از تبخیر مشابه مواد غذایی در نمونه آزمون پرشده تعیین می‌شود. نمونه آزمون مشابه مواد غذایی برای مدت ۱۰ روز، ۲۴ ساعت یا ۲ ساعت در $^{\circ}C$ ۴۰و یا به مدت ۲ ساعت در دمای $^{\circ}C$ ۷۰ پس از قرار گرفتن در معرض مشابه غذایی، نمونه ظرف خالی شده و مشابه مواد غذایی خشک و تبخیر می‌گردد. جرم باقی‌مانده مواد غیر فرار تعیین و بر حسب میلی‌گرم در هر دسی‌متر مربع از سطح در معرض مشابه مواد غذایی بیان می‌شود. مهاجرت کلی به صورت متوسط سه بار در آزمون‌های جداگانه تکرار و گزارش نمونه اعلام می‌گردد.

### ۶-۲-۳ معرف

آب مقطر یا آب با کیفیت معادل مشابه A

اسید استیک ۳ ٪ (w/v) بر حسب محلول آبی مشابه B

اتانول ۱۵ ٪ (v/v) بر حسب محلول آبی مشابه C

### ۶-۲-۴ دستگاه

ترازو با دقت ۰/۱ میلی‌گرم.

پارچه بدون پرز.

پیمانه، ۲ لیتر.

دانه‌های شیشه‌ای، ۲ میلی‌متر تا قطر ۳ میلی‌متر

آون با کنترل گرمایی و یا انکوباتور قادر به حفظ درجه حرارت از ۱ °C + ۴۰ °C تا ۲ °C + ۷۰ °C.

ظروف از جنس استیل ضد زنگ، آلیاژ پلاتین و یا طلا به ابعاد ۹۰×۵۰ میلی‌متر و ماکزیمم وزن ۱۰۰ گرم برای تبخیر مشابه‌های غذایی و توزین باقی‌مانده مواد.

حمام بخار، صفحه داغ، دستگاه تقطیر یا تبخیر کننده‌گردان برای تبخیر مشابه مواد غذایی در پایان دوره آزمون

دسیکاتورحاوی کلرید کلسیم بدون آب و یا سیلیکا ژل.

بشر، ۲۵۰ میلی‌لیتر.

پیپت، ۲۰۰ میلی‌لیتر، مطابق با حداقل استاندارد ISO 648 .

### ۶-۲-۵ تهیه نمونه‌های آزمایشی

#### ۶-۲-۵-۱ کلیات

ضروری است که نمونه‌های آزمون تمیز و عاری از آلودگی سطح باشد ( بسیاری از مواد پلاستیک می‌تواند به آسانی گرد و غبار را جذب کنند ). باید قبل از آزمون نمونه آماده سازی شود، باید به منظور حذف هر گونه آلودگی از سطح نمونه‌های به آرامی با یک پارچه بدون پرز، یا با مسواک زدن با یک برس نرم آن را پاک کنید. تحت هیچ شرایطی شستن نمونه را با آب یا حلال پیشنهاد

نمی‌شود. برای به حد اقل رساندن دست زدن به نمونه‌ها و در صورت لزوم، پوشیدن دستکش پنبه توصیه می‌شود.

### ۶-۲-۶ تعداد نمونه

حجم ظروف تعیین و ثبیت حجم مشابه مواد غذایی برای پر کردن یک ظروف مورد نیاز است.

### ۶-۲-۶-۱ ظروف با حجم اسمی بیش از ۲۰۰ میلی‌لیتر

پنج ظروف برای ارائه پنج نمونه آزمون لازم می‌باشد. این نمونه‌ها مورد استفاده به شرح زیر است:
الف) سه نمونه آزمونه جهت آزمون مهاجرت؛
ب) دو نمونه آزمونه برای تعیین سطح.

### ۶-۲-۶-۲ ظروف با حجم اسمی کمتر از ۲۰۰ میلی‌لیتر

تعداد ظروف مورد نیاز برای ارائه یک نمونه به حجم خود وابسته است. نمونه آزمون باید پر کردن ۲۰۰ میلی‌لیتر از مشابه مواد ساخته شده باشد. پنج نمونه مورد نیاز است. این نمونه‌ها به شرح زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند
الف) سه نمونه آزمونه برای آزمون مهاجرت؛
ب) دو نمونه آزمونه برای تعیین سطح.

### ۶-۲-۷ تعیین و ثبت مساحت سطح نمونه در معرض مشابه مواد غذایی

هنگامی که آن نمونه را به اندازه حجم اسمی آن پر شده، مساحت سطح نمونه در معرض مشابه مواد غذایی تعیین و ثبت می‌گردد. توجه: در مواردی که ظروف با حجم کمتر از ۲۰۰ میلی‌لیتری باشد، برای تعیین سطح یک نمونه ظرف ضربدر تعداد ظروفی که مورد استفاده برای ارائه یک نمونه آزمونه خواهد شد.
ظروف با ظرفیت کمتر از ۵۰۰ میلی‌لیتر و نه بیش تر از ۱۰ لیتر لازم است برای تعیین حجم این ظروف؛ میزان مهاجرت را باید بر حسب mg / kg مشابه مواد غذایی بیان شود.

### ۶-۲-۸ روش آزمون

#### ۶-۲-۸-۱ قرار گرفتن در معرض مشابه مواد غذایی

هر یک از نمونه ظروف جهت آزمون با یک کد شناسایی علامت گذاری شده و سپس، با یک بشر، حجم کافی از مشابه غذایی را در سه نمونه آزمونه پر کرده، در صورت نیاز آزمونه‌ها، برای ارائه دو شاهد از پیش گرم شوند، باید آون و یا انکوباتور دارای کنترل آزمونه را کاملا پوشانده و سیل کرده تا از بین رفتن مشابه غذایی و از تبخیرآن جلوگیری گردد. این بخش از کار را باید در حداقل زمان برای جلوگیری از دست دادن بی‌مورد گرما جهت مشابه غذایی انجام داد.

نمونه آزمونه و مشابه مواد غذایی در آون گرمایی قابل کنترل یا انکوباتور قابل تنظیم در دمای آزمون مورد نظر قرار داده، برای یک دوره آزمون ۲۴۰-۲۴۵ دقیقه. ۱۲۰-۱۲۵ دقیقه آنها را از آون خارج نکنید، پس از آن حمام هوا جهت کنترل ترموستات دمای آون و یا انکوباتور تا درجه حرارت در ۱ سانتی‌گراد از دمای تنظیم شده، لازم است. سطح مشابه غذایی باید همواره چک شود برای اطمینان از دست دادن بیش از حد مشابه توسط تبخیر رخ ندهد.

### ۶-۲-۹ تعیین مهاجرت مواد

#### ۶-۲-۹-۱ آماده‌سازی ظروف

پنج ظروف کد گذاری شده را برای تعیین مهاجرت در نظر گرفته، ظروف درآون ۱۰۵ تا ۱۱۰ سانتی‌گراد، به مدت ۳۰ دقیقه ± ۵ دقیقه قرار داده، تا خشک شود. ظروف از آون خارج کرده، در یک دسیکاتور قرار داده و اجازه داده تا خنک و به دمای محیط برسد جرم تک تک ظرف‌ها را توزین و ثبت نمایید.

ظرف‌ها را مجدد در آون قرار داده و دوباره حرارت‌دهی را تکرار نموده، تا خنک و توزین گردند. زمانی که جرم‌های متوالی ظروف بیش از ۰/۵ میلی‌گرم تفاوت نداشته، بعدا وزن آنها را یادداشت می‌کنید. لازم به ذکر است روش آماده‌سازی ظرف‌ها می‌تواند طبق روش‌های اشاره شده در این استاندارد یعنی به روش‌های تبخیر و یا تقطیر نیز انجام پذیرد.

### ۶-۲-۹-۲ روش تبخیر

بطری‌های حاوی مشابه‌های غذایی را برداشته و ۴۰تا ۵۰ میلی‌لیتر از هر کدام را در ظروف جداگانه بریزید. با استفاده از دستگاه حمام بخار، صفحه داغ یا سایر وسایل گرمادهی حلال را تا کم شدن حجم آن تبخیر کنید. مراقب باشید با دوری از گرمادهی شدید یا بیش از اندازه باقی‌مانده از بین نرود.

یادآوری ۱- تبخیر اسید استیک و اتانول باید زیر هود انجام شود.

زمانی که قسمت اعظم مشابه غذایی تبخیر شد، باقی‌مانده حلال هر یک از بطری‌ها را در ظرف‌های مربوطه بریزید و تبخیر را ادامه دهید. هر کدام از بطری‌هایی را که محتوی آزمونه بوده‌اند، دوبار با ۱+۱۰ میلی‌لیتر از مشابه غذایی تازه بشوئید و این مشابه‌های غذایی باقی‌مانده از شستشو را در ظرف‌های مربوطه بریزید. تبخیر را ادامه دهید.

یاد آوری ۲- می‌توان از جریان نیتروژن برای تسهیل در تبخیر استفاده کرد.

زمانی که مشابه غذایی تقریبا بطور کامل تبخیر شد، ظرف را به مدت ۵+ ۳۰ دقیقه در آون در دمای ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار دهید تا تبخیر کامل شده و باقی‌مانده خشک شود. ظرف‌ها را از آون خارج کرده و در دسیکاتور بگذارید و اجازه دهید تا رسیدن به دمای محیط خنک شود. ظرف‌ها را وزن کنید و جرم مربوط به هر ظرف و باقی‌مانده را ثبت کنید. دوباره ظرف‌ها را در آون قرار دهید و چرخه گرم کردن، خنک کردن و توزین را تا زمانی که اختلاف جرم هر نمونه در دو مرحله متوالی توزین بیشتر از ۰/۵ میلی‌گرم نشود، ادامه دهید. جرم باقی‌مانده را بوسیله تفریق جرم اولیه ظرف از جرم نهایی ظرف و باقی‌مانده تعیین کنید.

### ۶-۲-۹-۳ روش تقطیر

مشابه‌های غذایی را به بالن‌های ته گرد مجزا ( ۲۵۰ میلی‌لیتر مناسب ) منتقل کنید. هر کدام از ظرف‌ها را، شامل ظرف‌های شاهد دو بار با ۲±۲۰ میلی‌لیتر از مشابه غذایی تازه بشوئید، این شوینده‌ها را به بالن‌های مربوطه اضافه نمائید. بالن‌ها را در توری حرارتی الکتریکی قرار دهید و به یک سیستم تقطیر تک باز و یا تبخیر کننده چرخشی متصل کنید. مشابه‌های غذایی را تا زمانی که حجم مشابه باقی‌مانده در بالن تقریبا ۳۰ تا ۵۰ میلی‌لیتر شود، تقطیر کنید. مشابه باقی‌مانده در هر بالن را به ظروف تبخیر مجزا منتقل کنید. بالن‌ها

را با ۱+۱۰ میلی‌لیتر از مشابه غذایی اضافه کنید و این شوینده‌ها را به ظرف‌های مناسب ریخته و تبخیر مشابه غذایی را بوسیله دستگاه حمام بخار، صفحه داغ یا سایر وسایل گرمادهی ادامه دهید.
یادآوری – تبخیر اسید استیک باید زیر هود انجام شود.

### ۶-۲-۱۰ بیان نتایج

#### ۶-۲-۱۰-۱ روش محاسبه

مهاجرت کلی بر حسب میلی‌گرم باقی‌مانده در هر دسی‌متر مربع از سطح نمونه که در تماس با مواد غذایی قرار می‌گیرد، بیان می‌گردد. برای هر نمونه با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$M = \frac{(m_a - m_b) \times 1000}{S} \qquad (1)$$

که در آن:
M : مهاجرت کلی در مشابه غذایی بر حسب میلی‌گرم در هر دسی‌متر مربع ازسطح نمونه؛
$m_a$ : جرم باقی‌مانده از نمونه آزمونه پس از تبخیر مشابه غذایی که در آن ظرف، پر کرده؛ بر حسب گرم
$m_b$ : جرم باقی‌مانده از مشابه مواد غذایی تنها، بر حسب گرم
V : حجم نمونه آزمونه که در تماس با مواد غذایی قرار می‌گیرد بر حسب لیتر، در صورتی که وزن مخصوص مشابه‌های غذایی فرض شده ۱ باشد.
S : مساحت سطح نمونه در نظر گرفته شده در تماس با غذایی، برحسب دسی‌متر مربع.
مهاجرت به طور کلی باید برای هر نمونه با استفاده از فرمول زیر محاسبه شود :
فرمول:

$$ML = \frac{(m_a - m_b) \times 1000}{V} \qquad (2)$$

که در آن:

M : مهاجرت کلی در مشابه غذایی بر حسب میلی‌گرم در هر دسی‌متر مربع ازسطح نمونه؛

$m_a$ : جرم باقی‌مانده از نمونه آزمونه پس از تبخیر مشابه غذایی که در آن ظرف، پر کرده ؛بر حسب گرم

$m_b$ : جرم باقی‌مانده از مشابه مواد غذایی تنها، بر حسب گرم

V : حجم نمونه آزمونه که در تماس با مواد غذایی قرار می‌گیرد بر حسب لیتر، در صورتی که وزن مخصوص مشابه‌های غذایی فرض شده ۱ باشد .

ظروف با حجم بیش از ۲۰۰ میلی‌لیتر و کمتر از ۵۰۰ میلی‌لیتر، و یا از حجم کمتر از ۱۰ لیتر.

$$M = \frac{(m_a - m_b) \times 1000 \times v}{S \times 200} \qquad (3)$$

که در آن:

M : مهاجرت کلی در مشابه غذایی بر حسب میلی‌گرم در هر دسی‌متر مربع ازسطح نمونه؛

$m_a$ : جرم باقی‌مانده از نمونه آزمونه پس از تبخیر مشابه غذایی که در آن ظرف، پر کرده ؛بر حسب گرم

$m_b$ : جرم باقی‌مانده از مشابه مواد غذایی تنها، بر حسب گرم

V : حجم نمونه آزمونه که در تماس با مواد غذایی قرار می‌گیرد بر حسب لیتر، در صورتی که وزن مخصوص مشابه های غذایی فرض شده ۱ باشد.

S مساحت سطح نمونه در نظر گرفته شده که در تماس با غذا یی، برحسب دسی‌متر مربع.

ظروف با حجم بیشتر از ۵۰۰ میلی‌لیتر و کمتر از ۱۰ لیتر

$$ML = \frac{(m_a - m_b) \times 1000}{0.2} \qquad (4)$$

است که:

$$ML = 5000 \times (m_a - m_b) \qquad (5)$$

که در آن:

M : مهاجرت کلی در مشابه غذایی بر حسب میلی‌گرم در هر دسی‌متر مربع ازسطح نمونه؛

$m_a$ : جرم باقی‌مانده از نمونه آزمونه پس از تبخیر مشابه غذایی که در آن ظرف، پر کرده ؛بر حسب گرم

$m_b$ : جرم باقی‌مانده از مشابه مواد غذایی تنها، بر حسب گرم

ظروف با حجم کمتر از ۲۰۰ میلی‌لیتر

$$M = \frac{(m_a - m_b) \times 1000}{s \times N} \qquad (6)$$

که در آن:

M : مهاجرت کلی در مشابه غذایی بر حسب میلی‌گرم در هر دسی‌متر مربع ازسطح نمونه؛

$m_a$ : جرم باقی‌مانده از نمونه آزمونه پس از تبخیر مشابه غذایی که در آن ظرف، پر کرده ؛بر حسب گرم

$m_b$ : جرم باقی‌مانده از مشابه مواد غذایی تنها، بر حسب گرم

s : مساحت سطح نمونه در نظر گرفته شده که در تماس با غذایی، برحسب دسی‌متر مربع.

N : تعداد ظروف در معرض مشابه مواد غذایی

### ۶-۲-۱۰-۲ دقت

توجه: مقادیر تکرار پذیری (r) و تجدید پذیری (R) از نتایج آزمایش مشترک تعیین می‌شود.

### ۶-۲-۱۱ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف) اشاره به روش به کار گرفته شده به عنوان یک روش آزمون؛

ب) تمام اطلاعات لازم برای شناسایی کامل نمونه مانند

نوع شیمیایی، تامین کننده، علامت تجاری، درجه، تعداد دسته‌ای، ضخامت نمونه مورد آزمایش.

ج) شرایط زمان و دما در معرض قرار گرفتن در مشابه غذایی.
د) انحراف استاندارد، و دلایل نتیجه انحراف.
ه) نتایج آزمون‌های مجزا، و میانگین آن‌ها، بر حسب میلی‌گرم باقی‌مانده در هر دسی‌متر مربع از سطح نمونه و یا میلی‌گرم در هر کیلوگرم از مشابه مواد غذایی.

## ۶-۳ روش آزمون مهاجرت کلی در مشابه غذایی روغن زیتون در تماس با ظروف با روش پر کردن EN1186-8

### ۶-۳-۱ هدف و دامنه

این روش آزمون یک رویه برای تعیین مهاجرت کلی مشابه مواد غذایی روغن زیتون که به روش پر شدن مواد و کالاهای پلاستیکی با روغن زیتون تحت شرایط تماس ۱۰ روز، ۲۴ ساعت و ۲ ساعت در دمای ۴۰ یا ۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد است. این روش بسیار مناسب برای پلاستیک‌ها در شکل ظروف و کالاهاست که می‌توانند پر شوند.

### ۶-۳-۲ اصول روش آزمون

مهاجرت کلی مواد غیر فرار از یک نمونه مواد و کالای پلاستیک به صورت باقی‌مانده جرم مواد غیر فرار پس از تبخیر مشابه مواد غذایی در نمونه آزمون پرشده تعیین می‌شود. نمونه آزمون مشابه مواد غذایی برای مدت ۱۰ روز، ۲۴ ساعت یا ۲ ساعت در $^{\circ}C$ ۴۰ و یا به مدت ۲ ساعت در دمای $^{\circ}C$ ۷۰ پس از پر شدن و قرار گرفتن در معرض مشابه غذایی، نمونه ظرف خالی شده و مشابه مواد غذایی خشک و تبخیر می‌گردد. جرم باقی‌مانده مواد غیر فرار تعیین و بر حسب میلی‌گرم در هر دسی‌متر مربع از سطح در معرض مشابه مواد غذایی بیان می‌شود. مهاجرت کلی به صورت متوسط سه بار در آزمون‌های جداگانه تکرار و گزارش نمونه اعلام می‌گردد. کاهش جرم بر واحد مساحت سطح نمونه پلاستیک، در تماس با ماده غذایی بعنوان مهاجرت کل تعریف می‌شود. شرایط آزمون بر اساس شرایط کاربرد انتخاب می‌شوند. آزمونه‌ها با جرم معلوم ($m_a$) به مدت مشخصی دردمای، $^{o}C$ ۲۰ تا زیر ۱۰۰ درجه درروغن زیتون غوطه‌ور می‌شوند. سپس آزمونه‌ها از روغن زیتون خارج و پس از زدودن روغن به وسیله فشردن آزمونه دربین کاغذ صافی آزمونه‌ها، مجددا "وزن ($m_b$) می‌شوند. آزمونه‌ها

معمولاً روغن زیتون جذب شده را درخود حفظ می‌کنند. این روغن را می‌توان پس از تبدیل به متیل استرها استخراج و به وسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی به طور کمی معین کرد. متیلاسیون به وسیله واکنش یک کمپلکس تری فلوراید بورون /متانول با اسیدهای چرب حاصل از هیدرولیز روغن با هیدروکسید پتاسیم انجام می‌شود. پیش از استخراج روغن زیتون جذب شده، استاندارد داخلی تری هپتادکانوین به آزمونه‌ها اضافه می‌شود. این کار برای آن است که هرگونه جزء فعال یا استخراج شدنی ازپلاستیک با استاندارد داخلی، به همان خوبی روغن زیتون استخراج شده، واکنش دهد. برای جبران هرگونه ناکارایی در فرآیندهای هیدرولیز و متیل دارشدن، ماده استاندارد داخلی هم تحت این واکنش‌ها قرار می‌گیرد. بدین ترتیب، با این روش جرم روغن زیتون جذب شده به وسیله آزمونه‌ها (mc) محاسبه می‌شود.
مهاجرت به روغن زیتون با استفاده ازمعادله (۱) به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$M = \frac{[m_a - (m_b - m_c)] \times 1000}{S} \qquad (1)$$

که در آن:

M : مقدار مهاجرت کل به روغن زیتون، بر حسب میلی‌گرم بر دسی‌متر مربع سطح نمونه در تماس با ماده غذایی.

$m_a$ : جرم اولیه آزمونه پیش از تماس با روغن زیتون، بر حسب گرم

$m_b$ : جرم آزمونه پس ازتماس با روغن زیتون، برحسب گرم.

$m_c$ : جرم روغن زیتون جذب شده به وسیله آزمونه، برحسب گرم

S : سطح آزمونه در تماس با روغن زیتون، بر حسب دسی‌متر مربع.

مقدار مهاجرت کل گزارش شده در این آزمون باید میانگین حداقل سه بار اندازه‌گیری جداگانه برای آزمونه‌ها باشد.

برای پیشگیری از بروز خطاهای پیش آمده درحین انجام آزمون که شناسایی آن‌ها دشوار است، مانند آلودگی یا از دست رفتن روغن طی مراحل جا به جا کردن نمونه، آزمون را چهار بار انجام دهید، تا بتوان سه نتیجه نزدیک به هم را انتخاب کرد.

این روش شامل تغییراتی برای برخی از پلاستیک‌های خاص است.

**۶-۳-۳ مواد /واکنشگرها**

یادآوری -به جز موارد ویژه، واکنشگرها باید دارای کیفیت آزمایشگاهی باشند.

روغن زیتون مشابه غذایی

حلال استخراج

برای پلاستیک‌های غیرقطبی ، نظیر پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن:

پنتان ۹۸٪ با نقطه جوش $^{o}C$ ۳۶

برای پلاستیک‌های قطبی، نظیر پلی‌آمید و پلی‌استال:

مخلوط آزئوتروپیک ۹۵. ۵ حجمی از پنتان ۹۸٪ و اتانول ۹۹٪

یادآوری ۱ - پنتان یک حلال بسیار فرار و دارای قابلیت اشتعال بالا می‌باشد. بنابراین در زمان انتقال این حلال برای پیشگیری از تماس با منابع آتش‌زا، باید دقت شود. اتانول نیز یک حلال قابل اشتعال می‌باشد. توصیه می‌شود استخراج با پنتان و یا مخلوط پنتان/اتانول به ویژه در طول شب، بدون مراقب رها نشود.

یادآوری ۲ –برای جلوگیری ازکاهش حلال به دلیل نقطه جوش پایین این حلال‌ها، نیازبه یک مبردآبی است در مبردآبی باید از آب سرد استفاده شود.

سایر حلال‌های مناسب

یادآوری۱- در روش‌های قبل برای تعیین مهاجرت کل به روغن زیتون جهت زدودن حلال‌ها از ۲-۱-۱ – تری‌کلروتری فلوئورواتان استفاده شده بود. به دلایل زیست محیطی، بایستی از استفاده کردن این حلال‌ها تاجایی که ممکن است اجتناب شود. تجربه نشان داده که این حلال‌ها، اگرچه برای بیشتر پلاستیک‌ها موثر هستند نیازمند زمان استخراج طولانی‌تری می‌باشند.

یادآوری ۲- بعضی از حلال‌ها می‌توانند شامل مواد غیرفراری باشندکه بعد از فرآیند هیدرولیز و متیلاسیون، پیک‌های گاز کروماتوگرافی با زمان نگهداری مشابه متیل‌استرها و متیل‌هپتادکنوات از استاندارد داخلی تولید نمایند. حلال‌های یافت شده شامل چنین موادی بایستی قبل از استفاده مجددا"تقطیر شوند.

استاندارد داخلی

تری‌هپتادکانوین (گلیسریل‌تری‌مارگارات) (CAS No. 2438-40-61) با کیفیتی که محصولات حاصل از هیدرولیز و متیلاسیون، شامل مواد با پیک‌های کروماتوگرافی قابل تشخیص و با زمان بازدارندگی مشابه پیک‌های متیل‌استرهای روغن زیتون، نباشد این ماده به صورت یک محلول حاوی ۲ mg/ml سیکلوهگزان تهیه می‌شود.

محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۱ g/l در متانول

کمپلکس تری‌فلورید بور، متانول تقریبا ۱۵۰ g/l و $BF_3$

هپتان

سولفات سدیم

سولفات سدیم خشک، $Na_2So_4$

محلول اشباع سولفات سدیم

دی‌اتیل اتر

حلال کارل فیشر، تهیه شده به صورت تجاری، برپایهٔ متانول و کلروفرم ظرفیت آبی ۵ mg/ml

تیترانت کارل فیشر(تنها برای تجهیزات حجم سنجی)، تهیه شده به صورت تجاری، بر پایه‌ی متانول و کلروفرم با ظرفیت آبی ۲ mg/ml

### ۶-۳-۴ وسایل

صفحه برش، شیشه صاف و تمیز، فلز یا صفحه پلاستیک دارای فضای کافی برای تهیه آزمونه، به ابعاد ۲۵۰ mm × ۲۵۰ mm مناسب می‌باشد.

گیره، ازجنس فولاد زنگ نزن با نوک تیز

ابزار برش، تیغ، قیچی، چاقوی تیز یا سایر وسایل مناسب

خط‌کش‌های مدرج بر حسب میلی‌متر، و با دقت ۰/۱ mg

ترازوی آزمایشگاهی، قابل انطباق برای تعیین تغییرات جرم در حد ۰/۱میلی‌گرم

محفظه‌های تثبیت برای نمونه آزمونه در رطوبت نسبی ۵٪+۵۰ ٪ ویا رطوبت نسبی ۵+ ۸۰ ٪

یادآوری -برای رطوبت نسبی ۵۰٪، ۴۳٪ w/v % محلول آبی اسیدسولفوریک مناسب است. برای رطوبت نسبی ۸۰٪، ۲۷ درصد w/v % محلول‌های سولفوریک مناسب می‌باشد که

بایستی با افزودن مقدار وزنی اسید به حجم مناسب آب، خنک کردن تا دمای اتاق حجم مورد نیاز رسانده و به صورت تازه تهیه شده باشند. توصیه شده که رطوبت نسبی و دما در طول دوره نگهداری حفظ شود.

انکوباتور یا آون، با دمای کنترل شده به روش ترمواستاتیک، دارای قابلیت حفظ دمای (۱+۴۰) و ( ۲+۷۰ ) درجه سانتی‌گراد

کاغذ صافی بدون پرز

سنگ جوش

استخراج کننده نوع سوکسله، دارای قابلیت نگهداشتن آزمونه‌ها بر روی نگهدارنده‌ها، با بالون ته صاف با ظرفیت ۲۵۰ یا ۵۰۰ میلی‌لیتری

یادآوری - آب خنک شده، برای چگالش حلال بانقطه جوش پایین ضروری است.

حمام آب، دارای قابلیت نگهداری بالون‌های سوکسله از نوع استخراج دستگاه سوکسله تبخیرکننده چرخشی یا دستگاه تقطیر، برای تقطیر و جمع آوری حلال‌های استخراجی

یادآوری -آب خنک شده، برای میعان حلال بانقطه جوش پایین ضروری است.

حمام بخار یا صفحه داغ

چگالنده‌هایی با گردن بلند برای اتصال، برای آماده سازی متیل استر

بالون‌های ۵۰ میلی‌لیتری

استوانه مدرج مطابق با حداقل استاندارد ISO 4788، با ظرفیت۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ ml

پی‌پت‌هایی مطابق با حداقل استاندارد ISO 648، با ظرفیت ۵، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ میلی‌لیتری

پارچه بدون پرز یا پرس

کروماتوگرامی گازی

با آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای مجهز به یک ستون مناسب که قادر به دادن خط پایه استاندارد داخلی متیل استر C17 (متیل‌هپتادسی‌نوات) از C18 (۹-متیل‌اکتادکانوات) یا (متیل اولئات) و C16 (هگزادکانوات) متیل‌پالمیتات پیک‌های اصلی روغن زیتون، نظیر ۱۶:۰

یادآوری :ستون‌های زیر مناسب می‌باشند:

ستون ۱، ستون قطبی (WCOT) سیلیکا ذوب شده طول ۵۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر، پوشیده شده با یک فیلم با ضخامت، ۰/۲۱ از سیلیکون سیانوپروپیل

ستون ۲؛ ستون غیرقطبی سیلیسی مویینه ذوب شده، طول ۱۲ متر، قطر داخلی ۰/۳۲ میلی‌متر،، فاز مایع دی‌متیل‌سیلوکسان
ستون ۳، ستون قطبی استیل ضد زنگ، طول ۲ متر قطر داخلی ۳ میلی‌متر و که ۲ متر آن با ۱۰٪ تا ۲۰٪ وزن پلی‌استرساکسینات روی یک فاز ساکن خاک دیاتومه پک شده، مش ۸۰ تا ۱۰۰
لوله‌های شیشه‌ای گردن بلند و درب‌دار، باحجم حدودا ۱۰ میلی‌لیتر برای ذخیره‌سازی لایه هپتان در صورت لزوم
آون تحت خلاء یا دسیکاتور تحت خلأ، دارای قابلیت حفظ دما در حد ۵- درجه سانتی‌گراد
دسیکاتور حاوی ژل سیلیکاژل یا کلرید کلسیم بدون آب

### ۶-۳-۵ آماده سازی آزمونه

#### ۶-۳-۵-۱ کلیات

لازم است آزمونه‌ها تمیز و عاری ازهرگونه آلودگی سطحی باشند. ( بسیاری از پلاستیک‌ها به دلیل وجود بارهای الکترواستاتیکی، گرد و غبار را به خود جذب می‌کنند). پیش از آماده سازی آزمونه‌ها، با استفاده از یک پارچه بدون پرز، یا با یک برس نرم، هرگونه آلودگی را ازسطح نمونه بردارید. تحت هیچ گونه شرایطی نباید نمونه را با آب یا حلال دیگری بشویید. اگر در دستورالعمل کالا آمده باشد که باید قبل از استفاده شسته یا تمیزشود). میزان دست زدن به نمونه‌ها را به حداقل برسانید و در صورت لزوم، دستکش نخی بپوشید.

### ۶-۳-۶ تعداد آزمونه

آزمونه برای نمونه‌های به شکل بطری، مورد نیاز می‌باشد.
این آزمونه ها به صورت زیر به کار می‌روند:
الف) چهار آزمونه برای آزمون مهاجرت
ب) دو آزمونه برای کنترل احتمال کاهش مواد فرار
پ) یک آزمونه برای تشخیص مناسب بودن روغن زیتون به عنوان ماده مشابه غذایی چرب و تری هپتادکانوین به عنوان استاندارد داخلی

د ) دو آزمونه برای تعیین مساحت سطح، نمونه‌های دارای شکل غیرعادی
یادآوری -دو آزمونه مطابق بند ب، برای بررسی اینکه آیا نمونه‌ها در طی دوره‌ی آزمون، از راه تبخیر فرارهایی مانند حلال‌ها، جرم از دست می‌دهند یا نه، به کار می‌رود.
اگر روش خشک کردن تحت خلاء در پیوست پ به کار رود، این آزمونه‌ها مورد نیاز نمی‌باشند، زیرا در طی خشک کردن تحت خلاء هرگونه مواد فراری از آزمونه خارج می‌شود.
حداقل سه نتیجه آزمون معتبر برای محاسبه میانگین مورد نیاز است. آزمایش به صورت سه‌گانه مجاز می‌باشد اما در این مورد اگر یک نتیجه آزمون نامعتبر است کل روش را تکرار کنید.

### ۶-۳-۷ برش نمونه کالاهای دارای شکل غیرعادی و بزرگ

اگر ظرف بزرگ باشد برای جلوگیری از جابجایی و مشکلات توزین یا جلوگیری از استفاده بیش از حد روغن زیتون بعنوان مشابه غذایی شاید بهتر باشد که آن را به سطح‌های کوچک‌تر تقسیم نمائید به طوری که سطح آزمونه در تماس با روغن از ۳ دسی‌متر مربع تجاوز نکند. اگر اینکار انجام شود باید دقت شود که روغن زیتون در تماس با لبه‌های برش داده شده قرار نگیرد، چرا که آن مناطق در تماس با روغن زیتون در محاسبات بعدی وارد می‌شوند.
یاد آوری – اگر تنها بخشی از آزمونه برداشته شود، باید آن بخش نماینده کل نمونه از لحاظ ضخامت، دیواره، ترکیب باشد.

### ۶-۳-۸ روش کار

#### ۶-۳-۸-۱ توزین اولیه آزمونه

نیاز به تثبیت آزمونه‌ها را با اجرای روش شرح داده شده در پیوست ب یا پیوست پ تعیین کنید. اگر آزمون‌های پیشین ثابت کرده باشند که مشروط کردن نمونه مورد نیاز نمی‌باشد، پس پیوست ب و پیوست پ می‌توانند کنار گذاشته شوند. اگر آزمون‌های پیشین ثابت کرده باشند که روش شرح داده شده در پیوست ت قابل استفاده برای نمونه می‌باشد، پس پیوست ب و پیوست پ می‌توانند کنار گذاشته شوند.

اگر آزمون‌های شرح داده شده در پیوست ب یا پیوست پ نشان دهند که تثبیت ضروری نمی‌باشد، جرم هر نمونه را مشخص نموده و ثبت کنید.
اگر آزمون‌های شرح داده شده در پیوست ب یا پیوست پ نشان دهند که تثبیت ضروری می‌باشد، دستور العمل مرتبط با پیوست را برای تعیین جرم اولیه نمونه دنبال کنید.
اگر آزمون‌های شرح داده شده در پیوست ب نشان دهد که تثبیت وزن ضروری می‌باشد، اما جرم ثابت پیوست پ یا پیوست ت - در محدوده‌ی پنج روز قابل دستیابی نباشد، پس روش تثبیت شرح داده شده، را اجرا کنید.
یادآوری ۱- دوره‌های بلند تثبیت به دلیل اکسیداسیون روغن زیتون که می‌تواند در نتیجه تثبیت بیش از حد طولانی رخ دهد، مناسب نمی‌باشد.
یادآوری ۲- روش‌های تثبیت شرح داده شده در پیوست پ و پیوست ت ممکن است در صورت اثبات این امر که این فرآیندها برای گونه پلیمر تحت آزمون مناسب‌تر می‌باشد، استفاده شوند.

### ۶-۳-۹ تماس با مشابه غذایی

حجم معینی از روغن زیتون را در یک بشر بریزید و سپس تا رسیدن به دمای مورد نیاز در آون با دمای کنترل شده یا انکوباتور که دمای آن قابل تنظیم یاشد، قرار دهید. بگذارید روغن زیتون به دمای آزمون برسد. از دماسنج یا ترموکوپل برای پایش دما استفاده کنید.
شش نمونه را بردارید و آن‌ها را به منظور شناسایی علامت‌گذاری کنید. با استوانه مدرج تا ۵ سانتی‌متر از لب بطری از روغن زیتون در هر یک از بطری‌ها بریزید و درب آن‌ها را بگذارید. آن‌ها را درگرمخانه یا انکوباتوری( ۴۰ با ۷۰ درجه سانتیگراد ) که با ترموستات کنترل می‌شود و در دمای آزمون تنظیم شده است، قرار دهید.
یادآوری ۱- مراقب باشید روغن در سطح خارجی بطری‌ها نریزد.
راه دیگر پرکردن آن است که لوله‌ها را تا حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر علامت بزنید و آن‌ها را با روغن زیتون تا محل علامت پر کنید. دو لوله اضافی با حداقل ۵۰ میلی‌لیتر روغن زیتون به عنوان شاهد برای مشابه مورد نیاز است. شش یا هشت لوله و دو لوله خالی را درون گرم‌خانه یا انکوباتور تنظیم شده در دمای آزمون که با ترموستات کنترل می‌شود، قرار دهید. این

قسمت را در کمترین زمان ممکن برای جلوگیری از اتلاف گرما انجام دهید. نمونه‌ها را برای دوره ۲۴۵-۲۴۰ ساعت یا ۲۴. ۵ – ۲۴ ساعت یا ۱۲۵-۱۲۰ دقیقه بعد از تنظیم دمای آون یا انکوباتور برای رسیدن به آن دما قرار دهید.

یادآوری ۲- از روغن زیتون لوله پنجم، به عنوان نمونه استاندارد مرجع در تهیه شکل کالیبراسیون استفاده می‌شود. اگر روش کار پیوست ت به کار برده می‌شود، از آن به عنوان نمونه شاهد سوم برای تیتر کردن کارل فیشر استفاده شود. روغن زیتون لوله ششم برای کنترل دمای روغن استفاده می‌شود. دوآزمونه را در لوله‌های خالی قرار داده و درپوش آنها را نیز بگذارید.

یادآوری ۳- این دو آزمونه برای کنترل احتمال کاهش جرم ناشی از تبخیر مواد فرار مانند آب، حلال و چند بار طی مدت آزمون به کار می‌روند. اگرروش خشک کردن تحت خلاء، مطابق پیوست پ به کار رود، این آزمونه‌ها لازم نیستند، زیرا طی خشک کردن در خلاء، مواد فرار از آزمونه‌ها خارج می‌شوند.

یاد آوری ۴- لوله‌ها را از گرمخانه یا انکوباتور بیرون آورید و به سرعت آزمونه‌ها را از لوله‌ها خارج کنید. اجازه دهید تا روغن آزمونه‌هایی که در روغن زیتون قرار داشتند، بریزد. هرگونه روغن زیتون چسبیده به آزمونه‌ها را با فشردن ملایم بزدایید. این کار را آن قدر با کاغذهای صافی تمیز تکرار کنید. آن‌ها را میان دو کاغذ صافی تا اثری از روغن زیتون روی کاغذ صافی مشاهده نشود.

یادآوری ۵- برای زمان‌های در معرض قرارگرفتن ۲۴ ساعت یا بیشتر، پایش دمای حمام هوای گرم‌خانه یا ا نکوباتور یا یخچالی که با ترموستات کنترل می‌شود به جای دمای مشابه غذایی، قابل پذیرش است.

یادآوری ۶- اگر طبق روش کار پیوست ت عمل می‌کنید، لوله‌های دارای روغن را باید نگهدارید. در لوله‌ها باید برای جلوگیری از تغییر بیشتر در مقدار رطوبت روغن بسته شود و تعیین به روش کارل فیشر باید تا آن‌جا که ممکن است به سرعت انجام شود.

### ۶-۳-۱۰توزین نهایی آزمونه‌ها

برای آن نمونه‌هایی که نیاز به تثبیت کردن برای به دست آوردن جرم اولیه آن‌ها نیست تمام شش آزمونه‌ها، یعنی؛ چهارتایی که درون روغن زیتون قرار داشتند و دوتایی که درون لوله‌های خالی قرار داشتند را توزین نموده و جرم هر آزمونه را ثبت نمایید.

### ۶-۳-۱۱استخراج روغن زیتون جذب شده

یادآوری ۱- در موقع برش دقت کنید تکه‌های بطری ایجاد سطح‌های ریز نکنند. چهار بالن ته گرد ۲۵۰ میلی‌لیتری و یا ۵۰۰ میلی‌لیتری مناسب برای اندازه استخراج کننده سوکسله را برداشته و ۱۰ میلی‌لیتر از محلول سیکلوهگزان استاندارد داخلی بریزید.

درون هر بالن با استفاده از یک پیپت یا در صورتی که وجود بیش از ۱۰۰ روغن زیتون، از استاندارد داخلی از تری‌هپتادکانوین یک مقدار انتخابی بالاتر را قرار دهید.

اگر آزمونه‌ها بیش از ۱۰۰ میلی‌لیتر از روغن زیتون را نگه دارند ۱۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد داخلی برای دقت بهینه در تشخیص گازکروماتوگرافی پس از استخراج کافی نیست. پیش از مبادرت به عملیات این بند، مقدار روغن زیتون نگه‌داشته شده.

درآزمونه‌ها باید با مقایسه جرم‌های نهایی آزمونه‌ها با جرم نخستین آنها تخمین زده شود. در صورت لزوم، مقدار محلول استاندارد را ۱۰ میلی‌لیتر افزایش داد، هرچندکه باید همان مقدارکه برای هر آزمونه به کار می‌رود برای این استاندارد برای گراف کالیبراسیون به عنوان یک راهنمایی، حدوداً ۰. ۵ میلی‌گرم از استانداردهای روغن زیتون داخلی را می‌توان از استاندارد داخلی برای هر میلی‌گرم از روغن زیتون استخراج شده لازم است. به مقدار کافی حلال استخراج اضافه کنید. تا چرخه استخراج کننده امکان‌پذیر نماید. برای کنترل جوشش حدوداً ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌لیتر سنگ جوش بریزید.

تعداد چهار آزمونه که در تماس با روغن زیتون بوده‌اند را در چهار استخراج کننده سوکسله قرار دهید. هر سوکسله را با یک بالن حاوی استاندارد داخلی آماده شده به صورتی که در بالا آمده است متصل کنید. عمل استخراج برای دوره ۷-۸ ساعت با حداقل شش چرخه در ساعت با استفاده از یک حمام آب یا حمام بخار انجام دهید. با اطمینان از اینکه قطعات

آزمون در طی هر چرخه سوکسله، کاملاً در حلال غوطه‌ور باشند، و اینکه آن‌ها از یکدیگر جدا بمانند، انجام دهید.
تمام حلال را از استخراج کننده سوکسله تخلیه کنید، بالن‌ها را از استخراج کننده سوکسله در آورده و حلال را تا حد ۱۰ میلی‌لیتر با استفاده از یک تبخیر کننده چرخشی یا دستگاه تقطیر ساده تبخیر نمایید. محلول‌های حاوی روغن زیتون استخراج شده و استاندارد داخلی را به بالن‌های ۵۰ میلی‌لیتری جداگانه منتقل نموده و هر بالن را با سه بخش ۵ میلی‌لیتری از حلال شستشو دهید سه بخش حلال شستشو را به بالن‌های ۵۰ میلی‌لیتری جداگانه مربوطه اضافه کنید. با استفاده از یک تبخیر کننده چرخشی یا حمام آب تا خشک شدن کامل، تبخیر کنید.

### ۱۲-۳-۶ آماده سازی متیل استرهای چرب

با استوانه مدرج ۰/۲ + ۱۰ میلی‌لیتر از نرمال هپتان را به بالن ml ۵۰ حاوی باقی‌مانده رسوب استخراج ۷ ساعته اول اضافه کنید، مطمئن شویدکه باقی‌مانده روغن زیتون و مواد قابل استخراج پلاستیک حل شده وبا تکان دادن، گرم کردن یا با عملیات فراصوتی، به خوبی پخش شده‌اند.
مقدار ۰/۲ +۱۰ میلی‌لیتر از محلول هیدروکسید پتاسیم را با استوانه مدرج یا سرنگ و مقداری سنگ جوش اضافه کنید.
یک چگالنده را به بالن وصل کرده و مخلوط در حال بازگشت را به مدت ۱ + ۱۰ دقیقه حرارت دهید. با استوانه مدرج یا سرنگ ۰/۲ + ۵ میلی‌لیتر از محلول متانول از تری فلورید بورون اضافه کنید و مخلوط در حال بازگشت برای ۰/۲۵ +۲ دقیقه بجوشانید.
محلول‌های بالا را تا رسیدن به دمای اتاق سرد نموده و با استوانه مدرج ۱۵ تا ۲۰ میلی‌لیتر از محلول سولفات سدیم اشباع اضافه نموده و به خوبی تکان دهید. سپس محلول سولفات سدیم اشباع بیشتری اضافه کنید تا جایی که سطح مایع به گردن بالن برسد. بگذارید تا فازها از هم جدا شوند.

## ۶-۳-۱۳ تشخیص متیل استرهای چرب

### ۶-۳-۱۳-۱ ابزار

متیل استرهای اسیدهای چرب روغن زیتون را با استفاده از گازکروماتوگرافی تعیین کنید.

یادآوری۱- برای ستون ۱شرح داده شده شرایط عملیات زیر مناسب تشخیص داده شده :

گاز حامل هلیوم در ml/min ۲

تزریق کننده تقسیم شده به نسبت ۴۰:۱

آشکار ساز شعلهٔ یونیزه کننده

برنامهٔ دمایی در ابتدا ۱ دقیقه در $^{o}C$ ۱۴۰ سپس پنج درجه -پنج درجه تا دمای $^{o}C$ ۱۹۰ بالا ببرید و در همین دما به مدت، min ۸ نگه دارید.

دمای تزریق کننده $^{o}C$ 220

دمای آشکار ساز $^{o}C$ 240

برای ستون۲ شرح داده شده، شرایط عملیات زیر مناسب تشخیص داده شده :

گازحامل هلیوم

دمای آون $^{o}C$ 250

دمای تزریق کننده $^{o}C$ 320

دمای آشکا رساز $^{o}C$ 320

برای ستون ۳ شرح داده شده، شرایط عملیات زیر مناسب تشخیص داده شده:

گاز حامل نیتروژن در ml/min 25

دمای آون $^{o}C$ 195 تا $^{o}C$ 185

دمای تزریق کننده $^{o}C$ 200 تا $^{o}C$ 190

دمای آشکار ساز $^{o}C$ 200 تا $^{o}C$ 190

برای اندازه‌گیری سطح هر کدام از پیک‌های روغن زیتون و استاندارد داخلی از روش انتگرال‌گیری استفاده کنید. به صورت اختیاری ممکن است از یک ثبت‌کننده شکل برای ثبت کروماتوگرام استفاده گردد، و ارتفاع پیک‌های مختلف اندازه‌گیری شود. در این مورد تنها ارتفاع پیک اصلی روغن زیتون ( C18 یا C18:1 ) و استاندارد داخلی باید برای اندازه‌گیری میزان روغن زیتون استفاده شود.

یادآوری۲- استفاده از انتگرال‌گیری یا اندازه‌گیری سطح زیرپیک روش برتری می‌باشد.

### ۶-۳-۱۴ گراف کالیبراسیون

یک گستره از مقادیر روغن زیتون مرجع شاهد را که تحت شرایط آزمون مانند آزمونه درون بالن‌های ۵۰ میلی‌لیتری قرارگرفته‌اند، توزین نمایید. یک گستره که نباید کمتر از چهار استاندارد باشد را ازمقادیرروغن زیتون برگرفته از مقادیر روغن زیتون مرجع در استخراج ۷ ساعته اول را توزین کنید.

مقدار ۱۰ میلی‌لیتر ازمحلول سیکلوهگزان استاندارد داخلی تری‌هپتادکانوین یا مقدار جانشین در صورت نیاز و در شرایطی که قبلاً توضیح داده شد را با استفاده از یک پیپت۴ میلی‌لیتر به بالن‌های استخراج اضافه کنید. سیکلوهگزان را با استفاده از یک تبخیر کننده چرخشی یا حمام آب گرم خارج کنید. مقادیر روغن زیتون را با افزودن استاندارد داخلی به متیل‌استرهایی که دستورالعمل بیان شده، بررسی کنید.

هرکدام از محلول‌های متیل‌استر نرمال هپتان راحداقل دوبار، به داخل ستون کروماتوگرافی گازی تزریق نمایید.

#### ۶-۳-۱۴-۱روش۱: روش ارتفاع پیک

ارتفاع پیک استاندارد داخلی و متیل‌اولئات C18:1 را در زمانی که یک ستون قطبی به کار رفته باشد، اندازه بگیرید. در موردی که یک ستون غیرقطبی برای جداسازی متیل‌استر استفاده شود، پیک استاندارد داخلی و پیک C18 روغن زیتون را اندازه‌گیری کنید. نسبت اندازه‌گیری شده پیک‌های C18 به پیک استاندارد داخلی را اندازه‌گیری نموده و نسبت‌ها را در مقابل مقادیر توزین شده روغن زیتون رسم کنید.

#### ۶-۳-۱۴-۲ روش۲: روش سطح پیک

سطح پیک استاندارد داخلی و هرکدام از متیل‌استرهای بوجود آمده از روغن زیتون را اندازه‌گیری کنید. اگر یک ستون غیرقطبی به کار رفته باشد سطوح پیک و C16 C18 را در کنار هم اضافه کنید. اگر یک ستون قطبی استفاده شده باشد، سطوح تمام پیک‌های بوجود آمده از روغن زیتون ( C16:0 , C16:1 , C18:0 , C18:1 ) را با هم جمع کنید. نسبت

سطوح ترکیب شده از پیک‌های اندازه‌گیری شده به سطح پیک استاندارد داخلی را محاسبه نموده و نسبت در مقابل مقادیر توزین شده روغن زیتون را رسم نمایید.

### ۶-۳-۱۴-۳ روش ۳: روش سطح پیک درحالت تداخل نمونه

چنانچه آنالیز یک نمونه آزمون شاهد، یک تداخل با یکی و یا تعداد بیشتری از متیل‌استرهای روغن زیتون، و نه همه پیک‌ها را آشکار نموده باشد، پس این پیک یا پیک‌ها باید از محاسبه سطح کل متیل‌استرهای روغن زیتون کنار گذاشته شوند. نسبت سطح کل متیل‌استرهای نشأت گرفته از روغن زیتون و آن‌هایی که بدون تداخل می‌باشند و سطح استاندارد داخلی محاسبه کنید و این نسبت را در مقابل مقادیر وزن شده روغن رسم کنید.

اگر یک ستون قطبی به کار رفته باشد، از هر کروماتوگرام استاندارد کالیبراسیون، نسبت C18:1/C16:0 را محاسبه کنید. و در صورت استفاده از یک ستون غیرقطبی، نسبت C18/C16 محاسبه نمایید، مقدار نسبت میانگین از تزریق‌های دوگانه یا چندگانه را برای مقایسه با همان نسبت‌های بدست آمده از استخراج‌های آزمونه، مشخص کنید.

### ۶-۳-۱۵ تعیین روغن زیتون جذب شده توسط آزمونه

مقدار مناسبی از محلول‌های متیل‌استر نرمال هپتان تهیه شده از باقی‌مانده حاوی روغن زیتون استخراج شده را به داخل کروماتوگراف گازی تزریق کنید. حداقل دوبار تزریق را انجام دهید.

برای هر کروماتوگرام، ارتفاع یا سطح پیک یا پیک‌های متیل‌استر روغن زیتون و پیک استاندارد داخلی را با استفاده ازپیک‌های مشابه و روش استفاده شده در ایجاد گراف کالیبراسیون اندازه‌گیری کنید. نسبت پیک‌های مرتبط را با پیک‌های استاندارد داخلی برای هر کروماتوگرام محاسبه کنید. و برای هر محلول مقدار نسبت میانگین از تزریق‌های دوگانه یا چندگانه را تعیین کنید.

مقدار روغن زیتون استخراج شده از آزمونه را به نحوی که در ادامه می‌آید محاسبه کنید:

### ۶-۳-۱۶ روش گرافیکی

مقدار روغن زیتون استخراج شده را از گراف کالیبراسیون با استفاده از نسبت محاسبه شده از پیک یا پیک‌های مربوط روغن زیتون به پیک استاندارد داخلی، بخوانید.

### ۶-۳-۱۶-۱محاسبه از پارامترهای رگرسیون

اگر معادلهٔ خط رگرسیون به صورت زیر باشد

$$Y = a\,x + b \qquad (۱)$$

پس

$$m_{oo} = \frac{(y - b)}{a}$$

که

$m_{\infty}$ : جرم روغن زیتون استخراج شده از نمونه، در میلی‌گرم

a : شیب گراف کالیبراسیون

b : محل تقاطع با گراف کالیبراسیون

x : جرم روغن زیتون در استاندارد در میلی‌گرم

y : نسبت متیل استرهای روغن زیتون به استاندارد داخلی

هر دو روش مستقیماً مقدار روغن زیتون استخراج شده از آزمونه را در میلی‌گرم نتیجه می‌دهد.

یادآوری ۱- روش اعمال محاسبه از پارامترهای رگرسیون، روش ترجیحی می‌باشد.

اگر روغن زیتون در دومین استخراج از بیش از یکی ازآزمونه‌ها یافت شود و مقدار کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بوده، اما قابل اندازه‌گیری باشد، این را به مقدار تشخیص داده شده از استخراج ۷ ساعته اول اضافه نموده و جرم کل روغن زیتون استخراج شده برای هر آزمونه را در گرم ثبت نمایید.

برای هر کروماتوگرام از اولین استخراج هفت ساعته، نسبت ارتفاع یا سطح پیک C18 به بلندی یا فضای پیک C16 را محاسبه کنید. مقدار میانگین این نسبت‌ها را مشخص نموده و

با نسبت مشابه مشخص شده از کروماتوگرام‌های کالیبراسیون روغن زیتون مقایسه نمایید. ثابت کنید که آیا تفاوت بین دو مقدار نسبت قابل قبول می‌باشد یا خیر.

یادآوری۲- تغییردر نسبت C18/C16 برای نمونه‌های روغن زیتون استخراج شده در مقایسه با نسبت مشابه برای روغن زیتون استفاده شده درگراف کالیبراسیون نشان دهنده وقوع واکنش یا شکست در مولکول‌های روغن زیتون درطی مراحل آزمون یا در طی استخراج آزمونه می‌باشد. چنین تغییراتی تاثیرات نامطلوبی بر نتایج مهاجرت کل خواهند داشت.

## ۶-۳-۱۷ بیان نتایج

### ۶-۳-۱۷-۱روش محاسبه

مهاجرت کل را بصورت میلی‌گرم کاهش یافته به ازای هر دسی‌متر مربع از سطح نمونه که انتظار می‌رود در تماس با مواد غذایی قرار گیرد، برای هر آزمونه نمونه با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود :

$$M = \frac{[m_a - (m_b - m_c)] \times 1000}{S} \qquad (1)$$

که در آن:

M : مقدار مهاجرت کلی به روغن زیتون بر حسب میلی‌گرم در هر دسی‌متر مربع از سطح نمونه در تماس با مواد غذایی.

$m_a$ : جرم اولیه آزمونه پش از تماس با روغن زیتون، بر حسب گرم

$m_b$ : جرم آزمونه پس از تماس با روغن زیتون بر حسب گرم، یا جرم اصلاح شده که کاهش مواد فرار تا بالاتر از ۲ میلی‌گرم به ازای هر آزمونه را نشان می‌دهد.

$m_c$ : جرم روغن زیتون جذب شده توسط آزمونه، بر حسب گرم می‌باشد.

S : مساحت سطح آزمونه که انتظار می‌رود در تماس با مواد غذایی قرار گیرد، برحسب دسی‌متر مربع.

اگر ظروفی که می‌توانند پر شوند برای تخمین سطح نمونه که انتظار می‌رود در تماس با ماده غذایی قرار گیرد. مهاجرت کلی به صورت زیر گزارش شده و محاسبه می‌شود :

$$ML = \frac{[m_a - (m_b - m_c)] \times 1000}{V} \qquad (2)$$

که در آن:

ML : مهاجرت کلی مشابه غذایی روغن زیتون بر حسب میلی‌گرم در هر کیلوگرم از مواد غذایی

$m_b$ : جرم آزمونه پس از تماس با روغن زیتون بر حسب گرم یا جرم اصلاح شده که کاهش مواد فرار بزرگتر از ۲ میلی‌گرم به ازای هر دسی‌متر مربع آزمونه می‌باشد.

$m_c$ : جرم از روغن زیتون جذب شده توسط آزمونه بر حسب گرم.

V : حجم آزمونه مورد انتظار تا در تماس با مواد غذایی بر حسب لیتر، از آنجا که وزن مخصوص روغن زیتون معمولی یک فرض می‌گردد. نتیجه را برای هر آزمونه با دقت ۰/۱ میلی‌گرم بر دسی‌متر مربع ظرف و برای میانگین نتایج آزمون معتبر، با دقت میلی‌گرم به ازای دسی‌متر مریع محاسبه کنید.

جرم تصحیح شده با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$m_b = m_{b'} + m_d \qquad (3)$$

که در آن:

$m_b$ : جرم تصحیح شده آزمونه بر حسب گرم، که برای کاهش مواد فرار در لوله‌های خالی مجاز می‌باشد.

$m_d$ : میانگین کاهش جرم آزمونه در لوله‌های خالی، بر حسب گرم می‌باشد.

$m_b$ : جرم آزمونه پس از تماس با روغن زیتون بر حسب گرم می‌باشد.

یادآوری- این میزان فرض شده که همان به مقدار مواد فرار کاهش یافته در نمونه در معرض روغن زیتون بعنوان مشابه غذایی در تماس باشد.

### ۶-۳-۱۷-۲ دقت

توجه: با ارزیابی به روش تکرارپذیری (r) و تجدید پذیری (R) از نتایج آزمایش مشترک مشخص می‌شود.

### ۶-۳-۱۸ گزارش آزمون

هنگامی که از مواد پلاستیکی برای استفاده در تماس با غذای چرب در نظر گرفته شده باشد، استفاده از فاکتورهای کاهش مجاز بوده و این فاکتورها باید در زمان گزارش نتایج آزمون مد نظر قرار گیرد.

گزارش آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

الف) به این استاندارد بین‌المللی و قسمت مورد استفاده برای این روش آزمون ارجاع داده شود ؛

ب) تمامی اطلاعات لازم برای شناسایی کامل نمونه شامل:

نوع ماده شیمیایی، تامین کننده، علامت تجاری، درجه، پروانه ساخت، ضخامت‌ها بیان شود.

ج) شرایط زمانی و دمای تماس با مشابه غذایی بیان شود.

د) در صورت انحراف، از روش تعیین شده در این استاندارد، دلایل آن بیان شود.

ه) نتایج هر آزمون منفرد و یا میانگین نتایج بر حسب میلی‌گرم باقی‌مانده در دسی‌متر مربع نمونه گزارش شود.

ج) ارجاع به روش مورد استفاده برای تعیین جرم نمونه‌های حساس به رطوبت و دلایل انتخاب روش بیان شود.

ر ) برای جلوگیر یا از اتلاف مواد فرار آزمونه‌ها، استفاده از هرگونه تنظیمات بکار برده شده بیان شود .

ز) توضیح مرتبط در مورد نتایج آزمون، شامل سطح بطری در تماس با مشابه غذایی و کل سطح خارجی بطری بعد از حذف مواد اضافی، بیان شود .

س ) فاکتور کاهش مورد استفاده در محاسبه مهاجرت بیان شود .

## ۶-۴اندازه‌گیری استالدئید از بطریPET به داخل محلول مدل غذایی (روش EPA554)

این روش جهت تعیین استالدئید در مشابه‌های غذایی آبکی، اسید استیک ۳ درصد.w/v ، محلول اتانول آبکی ۱۰ درصد V/V و روغن زیتون است. سطح مونومرها بر حسب میلی‌گرم فرمالدئید در کیلوگرم ازمشابه مواد غذایی بیان خواهد شد. این روش برای تعیین کمی مقدار

استالدئید در سطح حداقل ۳ میلی‌گرم/کیلوگرم تا ۳۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم از مشابه مواد غذایی می‌باشد.
توجه داشته باشید این روش برای سایر مشابه‌های غذایی چرب (روغن آفتابگردان و مخلوطی از تری‌گلیسیرید مصنوعی) نیز قابل اجرا است.
ویژگی ماده مهاجر در جدول ۶-۱ آورده شده است.

جدول ۶-۱ ویژگی ماده مهاجرت کننده استالدئید

| نام ترکیب | وزن مولکولی $g\ mol^{-1}$ | نقطه جوش °C | فرمول | حد مهاجرت ویژه mg/l |
|---|---|---|---|---|
| Acetaldehyde | 44. 05 | (20. 2°C) | $C_2H_4O$ | 6 |

### ۶-۴-۱ اصول روش آزمون

استالدئید چون خاصیت واکنش با UV یا گروه فلوئورسنت را ندارند. لازم است با مشتق‌سازی آن‌ها را دارای این خاصیت نمود. برای مشتق سازی از ۲-۴ - دی نیترو فنیل هیدرازین (DNPH) بعنوان واکنشگر برای مشتق سازی استفاده نمود. به خاطر نقطه جوش فرمالدئید (۲۱ $^{\circ}C$-) و استالدئید (۲۰,۱ $^{\circ}C$-) مشتق سازی باید در سیستم بسته انجام گردد.

۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه مشابه غذایی آبکی (آب) را با اسید کلردریک ۶ مولار تا pH=3 تنظیم کرده و بعد ۶ میلی‌لیتر از محلول ۷۰ درصد ۲-۴- دی نیترو فنیل‌هیدرازین (DNPH) اضافه می‌شود. ظروف را فوراً مهر و موم کرده در روی هیتر حرارتی مجهز به مگنت در دمای (۴۰ $^{\circ}C$)، دور مگنت ۵۵۰ دور در دقیقه مدت یک ساعت قرار دهید. منتج مشتق سازی را جهت استخراج از ستون SPE-C18 عبور دهید. آماده سازی ستون تحت شرایط ۱۰ میلی‌لیتر بافر استات با PH=3 و سپس با ۱۰ میلی‌لیتر محلول اشباع سدیم کلراید انجام می‌گیرد.شستشو ستون را با ۸ میلی‌لیتر استونیتریل انجام داده و سپس محلول‌های شستشو را در یک ظرف جمع‌آوری کرده و بعد با ازت تغلیظ نموده و جهت

تزریق به دستگاه HPLC با حجم ۱. ۵ میلی‌لیتر استونیتریل مخلوط کنید. غلظت استالدئید در نمونه‌ها از منحنی کالیبراسیون در طول موج ۳۶۰ نانومتر خوانده می‌شود.

### ۶-۴-۲ تجهیزات و وسایل مورد نیاز

#### ۶-۴-۲-۱ دستگاه HPLC

Agilent 1100 series همراه با degasser G1379A &POMP binary G1312
ستون استفاده شده با قطر HEWLETT PACKARD،2. 5µm با ابعاد 124mm×4mm

#### ۶-۴-۲-۲ فاز متحرک

نسبت استونیتریل به آب 60:40 ( V/V ) با سرعت جریان 1 ml/min، دمای ستون ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دتکتور UV در ۳۶۰ نانومتر استفاده شد.

#### ۶-۴-۲-۳ معرف‌ها

توجه داشته باشید همه معرف باید از کیفیت بالای آزمایشگاهی برخوردار باشد و از مارک معتبر تهیه شود.

#### ۶-۴-۲-۴ مواد واکنش‌گر

محلول استالدئید، $CH_2O$، حداقل ۳۷٪(W/V) ، تثبیت شده با حدود ۱۰ ٪ متانول.

#### ۶-۴-۲-۵ مواد شیمیایی

آب دیونیزه، اسید استیک، گلاسیک ۱۰۰ ٪، اتانول مطلق، روغن زیتون، کروموتروپیک اسید نمک دی‌سدیم ( دی هیدرات )، ۴ و ۵-دی هیدروکسی-۲ اسید، ۷-نفتالن‌دی سولفونیک، اسید سولفوریک با چگالی ۱، ۸۴ گرم / سانتی‌متر، استون، نشاسته، محلول ان پنتان

### ۶-۴-۲-۶ محلول‌ها

- استون ۹۰ درصد
- محلول ذخیره استالدئید در آب حاوی حدود ۵,۱ میلی‌گرم استالدئید در هر میلی‌لیتر: حدود ۰/۸ گرم با دقت ۱ میلی‌گرم محلول استالدئید را توزین کرده و سپس به فلاسک حجمی ۲۰۰ میلی‌لیتر منتقل و تا خط نشان با آب به حجم رسانده شد.تعیین قدرت این محلول به شرح زیر است. توسط پیپت ۰/۱۰ میلی‌لیتر محلول استالدئید ذخیره را به یک بشر منتقل نموده، ۰/۲۵ میلی‌لیتر از محلول ید استاندارد ۰/۰۵ مول به آن افزوده و سپس ۰/۱۰ میلی‌لیتر از محلول هیدروکسید سدیم ۱ مول به بشر اضافه گردید. اجازه داده شد تا به مدت ۵ دقیقه محلول ساکن بماند. با ۰/۱۱ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۱ مول، محلول را اسیدی نموده و جهت تعیین ید اضافی آن به روش تیتراسیون با محلول استاندارد سدیم تیوسولفات ۰/۱ مول در حضور ۰/۱ میلی‌لیتر معرف نشاسته انجام گردید. انجام یک آزمون شاهد نیز بر روی مقدار متناظر از محلول ید استاندارد الزامیست. ۱ میلی‌لیتر ید مصرفی۰/۱ نرمال معادل ۱/۵ میلی‌گرم استالدئید است. محاسبه غلظت استالدئید بر حسب میلی‌گرم در هر میلی‌لیتر از محلول خواهد بود. همین روش برای محلول ذخیره دوم نیز تکرار گردید. محلول ذخیره فرمالدئید را می‌توان به مدت ۳ ماه در فریزر نگهداری کرد.
- محلول ذخیره استالدئید در ۹۰٪ استون حاوی تقریبا ۱ میلی‌گرم استالدئید در هر میلی‌لیتر: ۰،۳ گرم محلول استالدئید با دقت ۱ میلی‌گرم توزین و به یک بالن حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتر منتقل کرده و تا خط نشان با استون ۹۰ ٪ پر گردید. غلظت استالدئید درمحلول استون ۹۰ ٪ با استفاده از غلظت محلول استالدئید محاسبه و به دست آورده شد. همین روش برای محلول ذخیره دوم نیز تکرار شد. محلول ذخیره فرمالدئید را می‌شود به مدت ۳ ماه در فریزر نگهداری کرد.
- محلول‌های رقیق استاندارد استالدئید در مشابه‌های غذایی آبی: توسط پیپت به یک سری (پنج عدد) بالن حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتری به ترتیب مقدار حجم۱۰۰۰،۷۰۰،۴۰۰،۱۰۰ و ۲۰۰۰ میکرولیتر محلول ذخیره استاندارد فرمالدئید ریخته، تا علامت نشان بامشابه غذایی مناسب به حجم رسانده شد. محلول‌های استاندارد بدست آمده به ترتیب شامل حدود ۱، ۵/۵، ۶، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم استالدئید در هر لیتر می‌باشد. سپس غلظت دقیق آن‌ها بر

حسب میلی‌گرم استالدئید در هر لیتر از محلول مشابه مواد غذایی مربوطه محاسبه شد. همین روش برای محلول رقیق دوم نیز تکرار گردید. محلول ذخیره استالدئید را می‌توان به مدت ۳ ماه در فریزر نگهداری نمود.

- ید در محلول آبی، ۰/۰۵ مولار
- هیدروکسید سدیم در محلول آبی،سود،NaOH, 1 M
- هیدروکلریک اسید در محلول آبی،هیدروکلراید،HCl, 1 M.
- تیوسولفات سدیم در محلول آبی،$Na_2S_5O_3.5H_2O$, 0,1 M
- کروموتروپیک اسید دی سدیم نمک (دی‌هیدرات) ۵٪: ۵۰۰ میلی‌گرم اسیدکروموتروپیک نمک دی سدیم را توزین کرده و به یک فلاسک حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتر منتقل نموده و سپس تا خط نشان با آب به حجم رسانده شد. این محلول باید به صورت تازه در همان روز استفاده و آماده گردد.
- محلول اسید سولفوریک: ۱۰۰ میلی‌لیتر آب را برداشته و با اسید سولفوریک مخلوط کرده و سپس به حجم۴۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد
- محلول اسید سولفوریک ۴ مول: دقیقا ۲۲۲ میلی‌لیتر اسید سولفوریک بالا را به فلاسک حجمی حاوی حدود ۷۰۰ میلی‌لیتر آب منتقل کرده .پس از خنک کردن تا دمای اتاق، به حجم ۱۰۰۰میلی‌لیتر با آب رسانده شد.
- محلول نشاسته: ۱ گرم نشاسته را در ۵۰ میلی‌لیتر آب حل گردید. این محلول باید تازه آماده شود.

### ۶-۴-۲-۷ سایر تجهیزات

- دستگاه اسپکتروفوتومتر، ترجیحا با پرتو دوتایی
- حمام آب
- میکروسرنگ، با ظرفیت ۰تا ۱میلی‌لیتر
- لوله‌های شیشه‌ای درب پیچ دار
- نمونه آزمایش

### ۶-۴-۳ آماده سازی نمونه‌های آزمایش

#### ۶-۴-۳-۱ کلیات

نمونه‌های آزمایشگاهی مشابه مواد غذایی بدست آمده مطابق استاندارد EN 13130-1 جداسازی و جهت تجزیه و تحلیل در یخچال ۴+ °C در ظروف در بسته دور از نور نگهداری شدند.

مشابه ماده غذایی آبکی برای تعیین استالدئید:
۰/۱ میلی‌لیترمشابه مواد غذایی به دست آمده از آزمایش مهاجرت به داخل لوله‌های شیشه‌ای درب پیچ دار۱۲ میلی‌لیتری منتقل گردید. سپس به همان روش بند ۵-۲ عمل شد.

روغن زیتون برای تعیین استالدئید:
۲ گرم ± ۰، ۲ گرم مشابه غذایی روغن زیتون، به دست آمده از آزمایش مهاجرت، به قیف جدا کننده ۲۵۰ میلی‌لیتر منتقل گردید .۴۰ میلی‌لیتر ازپنتان نرمال به آن اضافه نموده، با تکان دادن شدید۴ بار هر بار با ۲۰ میلی‌لیتر آب مخلوط شد. اجازه داده شد مراحل جدا سازی انجام شود و لایه آبی پایینی با کاغذ صافی به داخل یک ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف گردید. بعد تا خط نشان با آب پر، و به طور کامل مخلوط شد.یک میلی‌لیتر از این محلول آبی به داخل لوله‌های شیشه‌ای درب پیچ دار ۱۲ میلی‌لیتر منتقل شد .سپس به همان روش بند ۶-۲ عمل گردید. توجه داشته باشید که جداسازی لایه آبی و آلی در بازده استخراج نهایی تاثیر گذار خواهد بود. بنابراین اجرای درست مراحل جداسازی مهم خواهد بود.

#### ۶-۴-۳-۲ آماده سازی نمونه‌های شاهد

جهت مشابه‌های غذایی که در تماس با مواد بسته بندی قرار نداشتند، نیز مثل روش بند ۵-۱ عمل گردید.

### ۶-۴-۳-۳ آماده سازی نمونه‌های کالیبراسیون

منحنی کالیبراسیون در مشابه غذا آبکی:

۰/۱ میلی‌لیتر از هر یک از محلول‌های استاندارد رقیق به داخل لوله شیشه‌ای۱۲ میلی‌لیتر درب پیچ دار منتقل شد، سپس به همان روش بند ۵-۲ عمل گردید.

منحنی کالیبراسیون در روغن زیتون:

۲ گرم ± ۰، ۲ گرم روغن زیتون دریک سری (شش عدد ) قیف جداکننده توزین شد. سپس به ترتیب۳۰۰،۲۰۰،۱۰۰،۳۰،۰ و ۶۰۰ میکرولیتر از محلول فرمالدئید در ۹۰ ٪ استون اضافه و خوب مخلوط گردید. محلول‌های به دست آمده به ترتیب حاوی حدود ۰،۱، ۵،۵، ۰، ۱۰، ۰،۱۵، ۰و ۳۰. ۰ میلی‌گرم فرمالدئید در کیلوگرم روغن زیتون است. بعد۴۰ میلی‌لیتر از پنتان نرمال اضافه کرده با تکان دادن شدید. ۴ بار هر بار با ۲۰ میلی‌لیتر آب، مخلوط گردید. اجازه داده شد تا مراحل جداسازی انجام شود و لایه آبی پایینی با کاغذ صافی به داخل یک ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف شد. بعد تا خط نشان با آب پر،و به طور کامل مخلوط گردید. یک میلی‌لیتر از این محلول آبی را به داخل لوله‌های شیشه‌ای در پیچ‌دار ۱۲ میلی‌لیتر منتقل کرده، سپس به همان روش بند ۵-۲ عمل شد. توجه داشته باشید که جداسازی لایه آبی و آلی در بازده استخراج نهایی تاثیر گذار خواهد بود. بنابراین اجرای درست مراحل جداسازی مهم خواهد بود.

### ۶-۴-۳-۴ روش تجزیه و تحلیل

تجزیه و تحلیل اسپکتروفتومتری:

نمونه آزمون، نمونه شاهد و نمونه کالیبراسیون آماده سازی شده در حضور اسید کروموتروپیک، میزان جذب محصول واکنش را درطول موج ۶۵۰ نانومتر تا ۴۵۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. لازم به ذکر است که جذب در ۵۷۴ نانومتر برای محاسبات کمی استفاده می‌شود. اندازه‌گیری میزان جذب هر محلول حداقل دو بار تکرار شد.

### ۶-۴-۳-۵ آماده سازی نمونه

به هر یک از ظرف نمونه‌های آزمون، شاهد و کالیبراسیون یک میلی‌لیتر محلول اسیدکروموتروپیک اضافه کرده، و سپس۸ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۵٪ به آنها افزوده، ظرف ویال‌ها را در حمام آب در ۶۰ °C به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شد .ظروف از حمام آب خارج شد. اجازه داده شد ظرف‌ها به مدت یک ساعت در دمای اتاق سرد شوند. سپس ثبت میزان جذب محلول‌ها در طول موج۶۵۰ نانومترتا ۴۵۰ نانومتر با استفاده از سل‌هایی با طول ۱۰ میلی‌لیتر انجام شد. یک محلول بلانک جهت سطح صفر منحنی کالیبراسیون به عنوان مرجع نیز تهیه و جذب آن قرائت گردید.

### ۶-۴-۳-۶ کالیبراسیون

اندازه‌گیری جذب استالدئید / اسید کروموتروپیک در طول موج ۵۷۴ نانومتر از هر محلول استاندارد را انجام شد. منحنی کالیبراسیون جذب در مقابل غلظت فرمالدئید در نمونه بر حسب میلی‌گرم در هر کیلوگرم ترسیم گردید. منحنی کالیبراسیون خط مستقیم و با ضریب همبستگی بالای۰. ۹۹۶ شد. نهایتاً دو سری محلول‌های کالیبراسیون تهیه شده از محلول‌های ذخیره به طور مستقل جهت آماده سازی و منحنی کالیبراسیون که بر اساس اندازه‌گیری مساحت پیک‌ها رسم می‌شوند در محدود مورد توافق یعنی± ۵ ٪ از یکدیگر قرار داشتند.

### ۶-۴-۳-۷ بررسی داده‌ها

در محاسبات زیر فرض شد که در تمام اندازه‌گیری‌های نسبت جرم یا حجم مشابه غذایی مورد استفاده یعنی آب، اسید استیک آبکی ۳٪ w/v، اتانول آبکی۱۵٪ V/Vو روغن زیتون یکسان و ثابت باشد.

### ۶-۴-۳-۸ دخالت اسپکتروسکوپی

تداخل ممکن است به دلیل رنگ پس زمینه در نمونه‌ها با استفاده از یک محلول مرجع حذف شد.

### ۶-۴-۳-۹ محاسبه سطح آنالیت

- تعیین گرافیکی:

جذب محلول‌های استاندارد در طول موج ۵۷۴ نانومتر اندازه‌گیری کرده و به طور متوسط، مقدار جذب به دست آمده از نمونه آزمون محاسبه شد. سپس غلظت استالدئید نمونه‌های آزمایش شده از نمودار کالیبراسیون تعیین گردید.

- محاسبه پارامترهای رگرسیون

اگر معادله خط رگرسیون است:

$$y = (a \times x) + b$$

y : جذب استالدئید / اسید کروموتروپیک است؛

a : شیب خط رگرسیون است؛

x : غلظت استالدئید بر حسب میلی‌گرم در هر کیلوگرم مشابه مواد غذایی است؛

b : عرض از مبدا خط رگرسیون است،

سپس غلظت استالدئید در مشابه مواد غذایی توسط:

$$C_{m,k} = \frac{y-b}{a}$$

C : غلظت استالدئید در مشابه غذایی بر حسب میلی‌گرم در هرکیلوگرم است. از هر دو روش به طور مستقیم غلظت استالدئید بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم مشابه مواد غذایی محاسبه می‌شود. روش استفاده از محاسبات پارامترهای رگرسیون به روش بالا ارجحیت دارد.

### ۶-۴-۳-۱۰محاسبه مهاجرت ویژه استالدئید

بسته به حجم بطری‌ها ؛از مواد آزمون پر شد و بر اساس نسبت سطح به حجم مشابه مواد غذایی، غلظت استالدئید در نمونه آزمون، بر حسب فرمول بند ۱۳استاندارد ۱۳۱۳۰-۱ تعیین گردید، جهت محاسبات ریاضی برای محاسبه مقدار مهاجرت خاص استالدئید در مقایسه با حدود قابل قبول مقدار مهاجرت (SML) نیاز می‌باشد.

**۶-۴-۳-۱۱دقت**

- اعتباردهی تعیین استالدئید

جهت اعتباردهی به نتایج آزمون از روش مقایسات بین آزمایشگاهی سه آزمایشگاه استفاده شد. هر سه آزمایشگاه مطابق استاندارد ۱-۱۳۱۳۰ تست مهاجرت بر روی حداقل۶ نمونه در تماس به مدت ۱۰ روز در دمای ۴۰ °C با مشابه غذایی اتانول آبی ۱۰٪ V/V و روغن زیتون آزمایش گردید.

- تکرار پذیری تعیین استالدئید

دقت و صحت سه نتایج آزمون با انجام تکرار پذیری و تجدید پذیری آزمایشگاهی انجام شد، با عنایت به استاندارد ISO 5725، در غلظت ۱۵میلی‌گرم فرمالدئید به ازای کیلوگرم مشابه مواد غذایی، با در نظر گرفتن سطح احتمال ۹۵٪ در حد قابل قبول بدست آمد.

**۶-۴-۳-۱۲ حد تشخیص استالدئید**

حد تشخیص دستگاه، با توجه به روش منحنی کالیبراسیون مطابق استاندارد DIN 32645، در محدوده ۰. ۵ میلی‌گرم / کیلوگرم تا۳ میلی‌گرم در هر کیلوگرم از مشابه مواد غذایی شد. بنابراین روش فوق فقط در سطح حداقل ۳ میلی‌گرم استالدئید در کیلوگرم مشابه غذایی خواهد بود .

**۶-۴-۳-۱۳ تأییدیه / تصدیق**

- شرایط مورد نیاز برای تایید

اگر مهاجرت ویژه استالدئید، مطابق با روش ارائه شده در EN 13130-1 محاسبه گردد، با عنایت به سطح تجزیه مطابق بند۶-۴-۳، حد قابل قبول،به عنوان مثال SML=15 میلی‌گرم / کیلوگرم می‌باشد، در نتیجه مقدار استالدئید با استفاده از روش شرح داده شده در ۶-۱تعیین و تایید شد.

- اصول روش آزمون تصدیق

استالدئید با پنتان - ۲،۴- دیون در حضور استات آمونیوم واکنش داده ترکیب ۳-۵ دی استیل-۱،۴ -دی هیدرو لوتیدین تشکیل می‌گردد که جذب این ترکیب در طول موج ۴۱۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قابل اندازه‌گیری خواهد بود.

معرف‌ها

مواد شیمیایی

استات آمونیوم، بدون آب

پنتان - ۲،۴- دی اون (استیل استون )، $C_5H_8O_2$

معرف پنتان -۲،۴- دی اون

این معرف تازه در روز آزمون آماده شد، که مراحل آماده‌سازی آن‌ها به شرح زیر است:

۱۵ گرم استات آمونیوم در فلاسک حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتر توسط ۷۵ میلی‌لیتر آب حل گردید.۰، ۲ میلی‌لیتر حلال پنتان - ۲،۴- دی اون و ۰، ۳ میلی‌لیتر اسید استیک اضافه شد. با آب به حجم۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در این حال، pH محلول حدوداً ۶. ۴ بود.

معرف بدون پنتان - ۲،۴- دی اون

معرف بدون استفاده از پنتان – ۲-۴- دی اون، مطابق بند ۸-۳-۲-۱ تهیه گردید.

آماده سازی نمونه استالدئید:

۵،۰ میلی‌لیتر ازمشابه غذایی به بالن ۵۰ میلی‌لیترمنتقل گردید. به محلول‌های تهیه شده مطابق بندهای ۵-۱-۱- و ۵-۱-۲-۱ مقدار ۵ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید پتاسیم و سپس ۱۵ میلی‌لیتر آب اضافه شد. pH محلول چک گردید. در صورت نیاز به تنظیم pH در حد ۴ تا ۶، چند قطره محلول هیدروکسید سدیم یا اسید سولفوریک استفاده گردید. بعد ۵ میلی‌لیتر از معرف پنتان – ۲-۴ – دی اون اضافه شد و مطابق بند ۸-۵ ادامه داده شد.

تهیه نمونه‌های شاهد:

جهت مشابه‌های غذایی که در تماس با مواد بسته بندی قرار نداشتند، نیز مثل روش بند ۵-۱ و ۸-۴-۱عمل گردید.

آماده سازی نمونه‌های کالیبراسیون:
۵ میلی‌لیتر از محلول‌های استاندارد رقیق به فلاسک حجمی۵۰ میلی‌لیتر منتقل گردید و سپس۲۰ میلی‌لیتر آب و ۲۵ میلی‌لیتر از عصاره به دست آمده و ۰/۵ میلی‌لیتر از معرف پنتان - ۲،۴- دی اون اضافه گردید و تا خط نشان به حجم رسانده شد.

محلول‌های استاندارد مرجع:
۰/۵ میلی‌لیتر از مشابه آبی غذایی را به یک فلاسک ۵۰ میلی‌لیتر منتقل کرده، ۲۰ میلی‌لیتر آب و ۵ میلی‌لیتر از معرف بدون پنتان -۲،۴- دی اون به آن افزوده شد. در مورد روغن زیتون ۲۵ میلی‌لیتر از عصاره روغن فوق به فلاسک حجمی۵۰ میلی‌لیتر منتقل شد و سپس ۵ میلی‌لیتر از معرف بدون حلال پنتان -۲،۴- دی اون به آن اضافه گردید. توجه داشته باشید تداخل ممکن است به دلیل رنگ پس زمینه در نمونه با استفاده از این محلول مرجع حذف گردد.

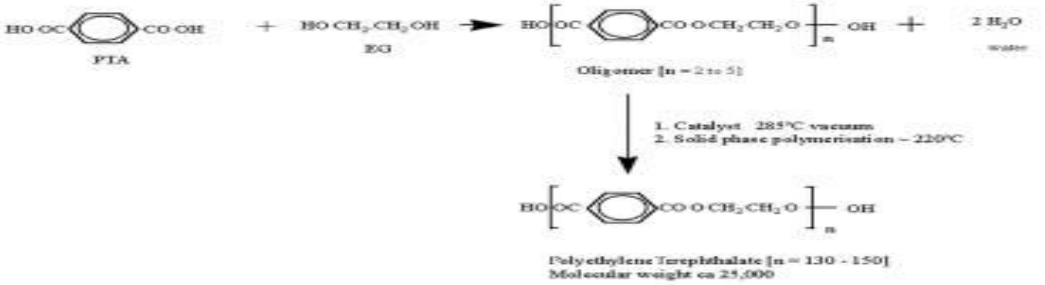
آماده سازی نمونه:
مخلوط آماده شده در بند ۸-۴ خوب مخلوط گردید. فلاسک درحمام آب در دمای۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دقیقاً ۱۰ دقیقه غوطه ور شد. اجازه داده شد جهت خنک شدن به مدت ۲ دقیقه در حمام آب سرد بماند .در عرض ۲۵ دقیقه از لحظه‌ای که بطری‌ها را در آب قرار داده شد، به بعد اندازه‌گیری جذب در طول موج ۴۱۰ نانومتر از محلول نمونه با همراه محلول‌های مرجع در سل مرجع انجام گردید.

بررسی داده‌ها:
ارزیابی داده‌ها پس از طی مراحل شرح داده شده انجام گردید.

## ۶-۵مهاجرت ویژه دی و مونو اتیلن گلایکول

پلی‌استرها به وسیله واکنش اسید و باز در حضور کاتالیست تولید می‌شوند. مرحله کلیدی فرآیند پلیمری شدن ثانویه که در فاز جامد رخ می‌دهد ادامه پیدا خواهد کرد. مواد اولیه

جهت تولید PET، اسید ترفتالیک خالص و اتیلن گلایکول می‌باشد که از نفت خام استخراج می‌شوند. وقتی که مواد اولیه با همدیگر مخلوط می‌شوند و تحت تاثیر حرارت و فشار ثابت قرار می‌گیرند. اولین محلول به نام مونومر (بیس هیدروکیسی اتیل ترفتالات ) با پلیمرهای جرم مولکولی پایین بنام الیگومر مخلوط شده سپس واکنش پیش می‌رود و آب خارج می‌شود و پلیمر PET شکل می‌گیرد. در این مرحله PET مذاب بوده که توسط اکسترودر، اکسترود شده و پس از خنک شدن با آب و بدون املاح به شکل یک ماده آمورف شیشه‌ای و شفاف به دست می‌آید. بعضی از مواد پلی استری PET با استفاده از تکنولوژی بر پایه دی متیل ترفتالیک (DMT) نیز تولید می‌شوند. برای تولید PET با جرم مولکولی بالا نیاز به مرحله دوم پلیمری شدن است که در قسمت ssp یا پلیمری شدن در حالت جامد و دمای پایین انجام می‌گیرد. در این عملیات به طور عمده تمام مواد ناخالص و فرار از قبیل استالدئید،گلایکول و آب آزاد و خارج می‌شوند. در شکل ۶-۱ مکانیسم تشکیل اتیلن گلایکول در هنگام تولید PET آورده شده است.




شکل ۶-۱ مکانیسم تشکیل اتیلن گلایکول در هنگام تولید PET

### ۶-۵-۱ تعیین مهاجرت ویژه مونومرهای مونو اتیلن گلیکول و دی اتیلن گلیکول

آزمون تعیین مهاجرت ویژه مونومرهای مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول مطابق استاندارد EN13130-7 - مواد و کالاها در تماس با مواد غذایی- موضوع محدودیت مواد پلاستیکی - قسمت۷ : تعیین مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول در مواد مشابه غذایی انجام گردید.

مونو اتیلن‌گلیکول (MEG) و دی اتیلن‌گلایکول (DEG) مونومر مورد استفاده در ساخت مواد و کالاهای پلاستیکی در تماس با مواد غذایی می‌باشد. باقی‌مانده مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول درپلاستیک‌ها، پس از پردازش و تولید آن‌ها به شکل مواد و کالا مصرفی در تماس با غذا باقی می‌مانند، و به مواد غذایی می‌توانند مهاجرت کنند.

یادآوری -در لیست دستورالعمل کمیسیون شماره 2002/72/EC، میزان محدودیت ترکیب مهاجرت خاص مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول در مواد غذایی یا مشابه مواد غذایی ۳۰میلی‌گرم / کیلوگرم است.

این روش آزمون تعیین مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول در مشابه مواد غذایی آب، اسید استیک۳٪ (w/v)، اتانول۱۰٪ (v/v) و روغن زیتون و سایر مشابه‌های غذایی چرب، مشابه D، به عنوان مثال، مخلوطی از تری گلیسیرید مصنوعی و یا روغن آفتابگردان می‌باشد. این روش قادر به تعیین مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیل‌گلیکول در مشابه غذایی هم بصورت آزاد، و هم ترکیبی در حد مهاجرت ویژه کل (T) SML ۳۰ میلی‌گرم / کیلوگرم می‌باشد.

توجه داشته باشید این روش برای تعیین مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول در اتانول آبی ۱۵ درصد (V/V)، قابل اجرا است. با این حال، این روش با تغییراتی می‌تواند برای تعیین در اتانول آبکی۱۰درصد (v/v) نیز قابل اجرا باشد.

### ۶-۵-۱-۱ اصول روش آزمون

در این روش از یک استاندارد داخلی مشابه غذایی آبکی و یا مشابه غذایی روغن زیتون استخراج شده به طور مستقیم برای تجزیه و تحلیل به دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکار ساز یونیزاسیون شعله تزریق استفاده گردید. حد تشخیص دستگاه حدود ۱ میلی‌گرم غلظت مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول به ازای کیلوگرم در مشابه مواد غذایی می‌باشد. از نسبت مساحت زیر پیک نمونه به مساحت پیک استاندارد اندازه‌گیری انجام می‌شود. ویژگی مواد مهاجر در جداول ۶-۲ و ۶-۳ ذکر شده است.

جدول ۶-۲ ویژگی ماده مهاجرت کننده MEG

| نام ترکیب | وزن مولکولی $g\ mol^{-1}$ | نقطه جوش °C | فرمول | حد مهاجرت ویژه mg/l |
|---|---|---|---|---|
| Mono ethylene glycol | 62. 07 | °C 197. 3 | $C_2H_6O_2$ | 30 |

جدول ۶-۳ ویژگی ماده مهاجرت کننده DEG

| نام ترکیب | وزن مولکولی g/mol | نقطه جوش °C | فرمول | حد مهاجرت ویژه mg/l |
|---|---|---|---|---|
| Di ethylene glycol | 106. 12 | 244–245 °C | $C_4H_{10}O_3$ | 30 |

- **معرف‌ها**

هشدار: تمامی مواد شیمیایی به میزان کمتر یا بیشتر برای سلامتی خطرناک هستند. برای جابجایی همه مواد شیمیایی آموزش‌های لازم جهت زمان در معرض تماس قرار دادن و زمان پر کردن در تعهدات قانونی در همه کشورها موجود است.کاربران این روش باید در موقع تماس، همه نکات ایمنی مورد نیاز را رعایت کنند.

متانول

مونو اتیلن‌گلیکول

دی اتیلن‌گلیکول

۱- بوتان،۴- دیول،استاندارد داخلی

آب دیونیزه( HPLCگرید )

هپتان

محلول‌های استاندارد ذخیره مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول؛ به شرح زیر آماده سازی می‌شود:

دقیقا۰، ۷۵ گرم از هر کدام ازمونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول را در یک بشر توزین نمائید، و پس از انحلال درمتانول و آن‌ها را با شستن به ۱۰۰ میلی‌لیتر فلاسک حجمی

منتقل کرده و تا علامت خط نشان با متانول.رقیق کنید. این محلول‌ها برای مدت۱ ماه اگر در تاریکی و در دمای $^{\circ}C$ ۵ در یک فلاسک ثابت نگهداری شوند، پایدارند. آماده کردن یک محلول استاندارد دوم جهت مقاصد اعتبار سنجی باید مد نظر قرار گیرد.

محلول استاندارد داخلی بوتان۱- ۴ – دیول؛ به شرح زیر تهیه شود :
حدود ۱ گرم بوتان۱- ۴- دیول در یک بشر وزن کنید، پس از حل کردن در متانول، تا علامت خط نشان در بالن حجمی۱۰۰با متانول به حجم برسانید. این محلول برای مدت۱ ماه اگر در تاریکی و در دمای $5^{\circ}C$ در فلاسک درب بسته نگهداری شود، پایدار است.

- **تجهیزات**

ترازو آزمایشگاهی با قابلیت توزین تا۰، ۱ میلی‌گرم.
پیپ مدرج، مطابق استاندارد ISO 835 با ظرفیت ۱ میلی‌لیتر و ۲ میلی‌لیتر.
بورت، مطابق با حداقل استاندارد ISO 385 با ظرفیت ۲۵ میلی‌لیتر.
بالن‌های حجمی، مطابق با حداقل استاندارد EN ISO 1042 با ظرفیت ۲۵ میلی‌لیتر، ۵۰ میلی‌لیتر و۱۰۰ میلی‌لیتر.
قیف جداکننده قیف با شیر سه‌راهی از جنس پلی تترا فلوئور اتیلن، با ظرفیت۲۵۰ میلی‌لیتر.
سرنگ شیشه ای، با ظرفیت۵۰ میلی‌لیتر.
فیلتر یکبار مصرف HPLC، ۰. ۲میکرومتر جهت استفاده در فاز جامد کارتریج استخراج ۴۰۰ میلی‌گرم SPE-C18.
استوانه مدرج، مطابق با حداقل استاندارد ISO 4788 با ظرفیت ۲۵ و ۵۰ میلی‌لیتر.
کروماتوگرافی گازی (GC) با یک آشکارساز یونیزاسیون شعله (FID) و با ستون تزریق سرد.
یادآوری ۱- این روش برای استفاده با تزریق سرد در ستون انژکتور فراهم شده، که در دسترس تمام تامین کنندگان دستگاه GCهای توسعه یافته، می‌باشد. مطالعات قبلی در آزمایشگاه نشان داده است که تزریق و تقسیم splitless / نتایج غیر قابل باوری می‌دهد. سرعت جریان گاز حامل بهینه شده مطلوب‌تر، ارتفاع پیک کمتری را می‌دهد و طول عمر ستون برای فاز ساکن پلی اتیلن‌گلیکول افزایش می‌دهد. ستون GC باید قادر به جداکردن

مونو اتیلن‌گلیکول، دی اتیلن‌گلیکول و بوتان۱،۴- دیول حل شده در مشابه‌های غذایی اتانول و اسید استیک را از یکدیگر داشته باشد. از ستون‌های موئینه GC مناسب با مشخصات ذیل جهت فاز ساکن دی اتیلن‌گلیکول استفاده شد بطور مثال:

روش الف) ستون۱۵ متر X ۰. ۵۳ میلی‌متر قطر داخلی، ضخامت فیلم۱ میکرومتر.

دما در °C ۱۰۰ به مدت ۲ دقیقه نگه داشته شد و با سرعت افزایش دما °C ۱۰در دقیقه تا افزایش دمای °C ۱۵۰، به مدت ۴ دقیقه

گاز حامل هلیوم KPa ۵۰، با سرعت عبور ۱۸میلی‌لیتر / دقیقه

آشکارساز یونش شعله‌ای در دمای °C ۲۵۰

تزریق کننده دمای سرد در ستون

Retention time برای مونو اتیلن‌گلیکول، ۴ دقیقه، بوتان۱،۴- دیول، ۷,۵ دقیقه و دی‌اتیلن گلیکول، ۸. ۱ دقیقه می‌باشد.

روش ب) ستون۱۲ متر × ۰. ۳۲ میلی‌متر قطر داخلی، ضخامت فیلم ۱ میکرومتر

دما در دمای °C ۱۰۰ به مدت ۱ دقیقه نگه داشته و با سرعت افزایش دما °C ۱۰در دقیقه تا افزایش دمای °C ۲۰۰، به مدت ۱ دقیقه

گاز حامل هلیوم KPa ۷۰، با سرعت عبور ۷ میلی‌لیتر / دقیقه

آشکارساز یونش شعله‌ای در دمای °C ۲۵۰

تزریق کننده دمای سرد در ستون

Retention time برای مونو اتیلن‌گلیکول، ۳,۸ دقیقه، بوتان۱،۴- دیول، ۷ دقیقه و دی‌اتیلن گلیکول، ۷. ۶دقیقه، مطابق کروماتوگرام GC ب می‌باشد.

- **نمونه‌ها**

نمونه‌های آزمایشگاهی مشابه مواد غذایی بدست آمده مطابق استاندارد EN 13130-1 جداسازی و جهت تجزیه و تحلیل باید در یخچال °C ۴+ در ظروف در بسته دور از نور نگهداری شوند.

یادآوری ۱– مشابه غذایی عاری از دی اتیلن / مونو اتیلن‌گلایکول مربوط به همان هر نوع مشابه غذایی جهت تجزیه و تحلیل و همچنین برای اهداف کالیبراسیون مورد نیاز است. برای هر یک از مشابه‌ها، ۵۰ میلی‌لیتر نمونه در هر آزمون مورد نیاز است .

## ➢ روش آماده‌سازی

آماده‌سازی استانداردهای واسط / میانی:

به هر یک از پنج فلاسک حجمی۲۵ میلی‌لیتر باپیپت ۲ میلی‌لیتر از محلول ذخیره بوتان ۱،۴- دیول افزوده و سپس با استفاده از یک بورت و یا پیپت مدرج ۰/۵، ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد مونو اتیلن‌گلیکول / دی اتیلن محلول گلایکول اضافه نمائید و تا علامت خط نشان با متانول پر کنید. محلول استانداردهای میانی شامل ۱۵۰، ۳۰۰، ۷۵۰، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ mg/L از مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول بدست می‌آید. این استانداردها برای مدت ۱ ماه در صورت نگهداری در تاریکی و در دمای ۵ °C، در بطری درب بسته پایدار می‌مانند.

استاندارد داخلی ۸۰۰ mg/L بوتان ۱،۴ -دیول:

با پیپت ۲ میلی‌لیتر از محلول ذخیره بوتان۱،۴- دیول، را فلاسک حجمی ۲۵ میلی‌لیتر منتقل و تا علامت خط نشان با متانول رقیق کنید. این محلول برای مدت۱ ماه اگر در تاریکی در دمای ۵ °C در یک فلاسک درب بسته نگهداری شود، پایدار می‌ماند.

استانداردهای کاری برای مشابه‌های غذایی آبکی:

به هر یک از پنج فلاسک حجمی ۵۰ میلی‌لیتر با پیپت مدرج، ۱ میلی‌لیتر از هر یک از استانداردهای میانی افزوده، سپس تا خط نشان با آب به حجم برسانید و کاملا مخلوط کنید. استانداردهای کاری حاوی ۳، ۶، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ mg/L مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول بدست می‌آید. به فلاسک حجمی ۵۰ میلی‌لیتری تا علامت خط نشان با اضافه کردن آب پر کرده، بعد توسط پیپت، ۱ میلی‌لیتر از استاندارد داخلی ۸۰۰ mg/L بوتان ۱،۴-دیول اضافه و خوب مخلوط کنید تا به عنوان یک استاندارد شاهد عمل کند.

استانداردهای کاری برای مشابه غذایی روغن زیتون:
۵۰ گرم ± ۱ گرم از مشابه غذایی شاهد روغن زیتون را در قیف جدا کننده ۲۵۰ میلی‌لیتر توزین نمائید. باپی‌پت،۱ میلی‌لیتر از اولین استاندارد میانی را به آن اضافه و خوب مخلوط کنید و بعد توسط استوانه مدرج۲ ± ۵۰ میلی‌لیتر از هپتان را به ظرف منتقل و مخلوط کنید و سپس با استوانه مدرج۲۰ ± ۱ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه کنید. به مدت ۱ دقیقه به شدت تکان دهید و اجازه دهید ۵ دقیقه الی ۱۰ دقیقه بماند تا اینکه لایه‌ها از هم جدا شوند.
یادآوری ۱- با نگه داشتن قیف جداکننده در یک زاویه حدود ۴۵ درجه و به آرامی چرخش آن می‌توان جداسازی را تسهیل کرد.
لایه آبی پایینی را در یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتر بریزید و با بیش از ۲۰ میلی‌لیتر ۱ ± میلی‌لیتر آب دوباره استخراج روغن زیتون را انجام دهید. اجازه دهید که مرحله جدا سازی صورت گرفته و سپس لایه پایینی را در بشر جمع آوری عصاره بریزید حدود۲ میلی‌لیتر از محلول آبی را توسط سرنگ از فیلتر یکبار مصرف عبور داده و محلول آبکی تصفیه شده را جمع آوری کنید. برای هر یک از استانداردهای میانی و استاندارد شاهد این فرایندها را انجم دهید. این استانداردها شامل ۰، ۳، ۶، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم مونو اتیلن‌گلیکول و دی‌اتیلن‌گلیکول در کیلوگرم مشابه غذایی روغن زیتون است .
یادآوری ۲- از ستون فاز جامد کارتریج استخراج SPE-C18 نیز می‌توان به طور موثر برای حذف قطرات روغن استفاده کرد.

### ➢ تهیه منحنی کالیبراسیون

تزریق استانداردها:
مقدار مناسب ۰، ۵ تا ۱ میکرولیتر ازهر یک از استانداردها را تزریق کنید و ارتفاع آن و یا مساحت پیک‌ها را محاسبه نمائید. ارتفاع یا مساحت پیک بوتان ۱، ۴ دیول را به ارتفاع یا مساحت پیک مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول تقسیم کنید و این نسبت را در برابرغلظت مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول برنامه ریزی کرده و نمودار آن را ترسیم

کنید. منحنی کالیبراسیون خطی با ضریب همبستگی ۰۹۹۸. و یا بالاتر می‌باشد. همچنین شیب و عرض از مبدا در روی محور Y ها از روی نمودار خطی قابل محاسبه خواهد بود.

- **اعتبارسنجی محلول ذخیره مونو اتیلن‌گلایکول / دی اتیلن‌گلایکول**

دو استاندارد ذخیره مونو اتیلن‌گلیکول / دی اتیلن‌گلایکول آماده شده مطابق بند فوق تا بدست آوردن محلول با غلظت mg/L ۷۵۰ رقیق کنید. برای تهیه استاندارد واسط دوم مطابق بند بالا دوباره برای به دست آوردن یک استاندارد کاری با غلظت mg/L ۱۵ رقیق سازی را انجام دهید. این استاندارد کاری در دو دفعه، برای تجزیه و تحلیل به دستگاه GC تزریق کنید. از روی محاسبه نسبت مساحت پیک مونو اتیلن‌گلیکول / دی اتیلن‌گلیکول به مساحت پیک بوتان ۱،۴-دیول، محاسبه غلظت متوسط ازمونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول که در استاندارد کاری اعتبار سنجی شده را با استفاده از شیب و مقادیر عرض از مبدا به دست آمده، با مقدار غلظت mg/Kg ۱+ تصحیح نمائید. اگر میانگین غلظت واقعی در حد mg/Kg ۱+ نباشد باید محلول استانداردها را مجدد تهیه و دوباره تزریق صورت پذیرد.

- **استخراج نمونه‌های آزمایش مهاجرت مشابه غذایی روغن زیتون**

۵۰ گرم ± ۱ گرم از نمونه مشابه روغن زیتون را مستقیما از سلول مهاجرت توزین کنید و به قیف جدا کننده ۲۵۰ میلی‌لیتر منتقل نمائید. توسط پیپت،۱ میلی‌لیتر از محلول داخلی استاندارد ( mg/L ۸۰۰ بوتان۱،۴-دیول ) افزوده و کاملا مخلوط کنید. با استوانه ۵۰ میلی‌لیتر ± ۲ از هپتان به قیف جدا کننده اضافه و سپس استخراج و شستشو دو بار با آب انجام شود.

- **آماده‌سازی نمونه‌های آزمایش مهاجرت مشابه غذایی آبی**

یک سری فلاسک حجمی ۵۰ میلی‌لیتر خشک را با هر نمونه مشابه آبکی تا خط نشان پر کنید و با پیپت،۱ میلی‌لیتر استاندارد داخلی به آن افزوده، خوب مخلوط کنید .برای هر مشابه غذایی آبکی، روش مشابه یک مشابه شاهد / بلانک آماده کنید، اما تا خط نشان با مشابه غذایی شاهد پر کنید.

### ➢ تزریق نمونه

مقدار مناسب۰، ۵ تا ۱ میکرولیتر در دو دفعه برای هر نمونه به دستگاه کروماتوگرافی تزریق کنید. ارتفاع یا مساحت پیک را اندازه بگیرید. بعد از تصحیح بلانک، در صورت لزوم میزان مونو اتیلن‌گلیکول/ دی اتیلن‌گلیکول و بوتان۱،۴-دیول را از روی نسبت مساحت پیک‌ها محاسبه نمائید و از شیب و عرض از مبدا مقادیر موجود، غلظت دی اتیلن‌گلیکول و مونو اتیلن‌گلیکول بر حسب میلی‌گرم در هر لیتر تعیین می‌شود.

روش دیگر،به طور مستقیم غلظت‌ها از نمودار کالیبراسیون غلظت مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول در مقابل نسبت مساحت پیک مونو اتیلن / ۱- بوتان،۴-دیول و دی اتیلن گلیکول/ ۱- بوتان،۴-دیول می توان قرائت کرد. تصحیح غلظت واقعی مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول استفاده برای تهیه محلول ذخیره دوم نیز الزامیست.

### ➢ بیان نتایج

روش محاسبه میلی‌گرم مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول در هر کیلوگرم ازمشابه مواد غذایی:

این روش آزمون، غلظت بر حسب میلی‌گرم در هر لیتر برای مشابه غذایی آبکی و میلی‌گرم در هر کیلوگرم برای مشابه غذایی روغن زیتون و مشابه D محاسبه خواهد شد.

میلی‌گرم مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول در هر دسی‌متر مربع از سطح تماس مواد و کالاهای پلاستیکی با مواد غذایی از کل حجم یا جرم مشابه غذایی و سطح تماس پلاستیکی مورد استفاده در آزمون مهاجرت، محاسبه مقدار مهاجرت ویژه مونو اتیلن‌گلیکول و / یا دی اتیلن‌گلیکول بر حسب میلی‌گرم در هر دسی‌متر مربع انجام خواهد گرفت.

محاسبه مهاجرت ویژه:

بسته به حجمی از مواد آزمون پر خواهد شد و بر اساس نسبت سطح به حجم مشابه مواد غذایی، غلظت مونو و دی اتیلن‌گلیکول در نمونه آزمون، بر حسب فرمول بندهای۸. ۱. ۱ یا ۸. ۱. ۲ استاندارد ۱۳۱۳۰-۱ تعیین می‌شود، محاسبات ریاضی برای محاسبه مقدار مهاجرت خاص در مقایسه با حدود قابل قبول مقدار مهاجرت ( SML ) نیاز می‌باشد.

- **دقت**

اعتباردهی:

جهت اعتبار دهی به نتایج آزمون از روش مقایسات بین آزمایشگاهی سه آزمایشگاه استفاده شد. هر سه آزمایشگاه مطابق استاندارد ۱-۱۳۱۳۰ تست مهاجرت بر روی حداقل۶ نمونه در تماس به مدت ۱۰ روز در دمای ۴۰ °C با مشابه غذایی اتانول آبی ۱۰٪ V/V و روغن زیتون آزمایش گردید.

تکرارپذیری:

با روش تکرارپذیری دقت و صحت نتایج آزمون در آزمایشگاه انجام شد، با عنایت به استاندارد ISO 5725 غلظت میلی‌گرم غلظت مونو و دی اتیلن‌گلیکول به ازای کیلوگرم مشابه مواد غذایی آبکی، با در نظر گرفتن سطح احتمال ۹۵٪ با مقدار حد تکرار پذیری و ضریب همبستگی قابل قبول انجام شد.

تجدید پذیری:

جهت بررسی دقت و صحت نتایج حاصل از سه آزمایشگاه برای آزمایش مونو اتیلن‌گلیکول درسطح احتمال ۹۵٪ با ویژگی های عملکردی در میزان قابل قبول بدست آورده شد.

و همچنین جهت بررسی دقت و صحت نتایج حاصل از سه آزمایشگاه نیز برای آزمایش دی اتیلن‌گلیکول در سطح احتمال ۹۵٪ با ویژگی‌های عملکردی در حد قابل قبول بدست آمد.

برای اعتبار بخشی بطور کامل شرایط تکرار پذیری و تجدید پذیری مطابق استاندارد ISO 5725 در سطح اطمینان ۹۵٪ لحاظ گردید.

- **حد تشخیص**

حد تشخیص دستگاه غلظت بین ۰،۶ تاغلظت mg/l ۱. ۸ برای مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول در مشابه غذایی آبکی و چربی می‌باشد.

### ➢ تصدیق غلظت مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول

تصدیق با آنالیز دوباره با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی – طیف سنجی جرمی:

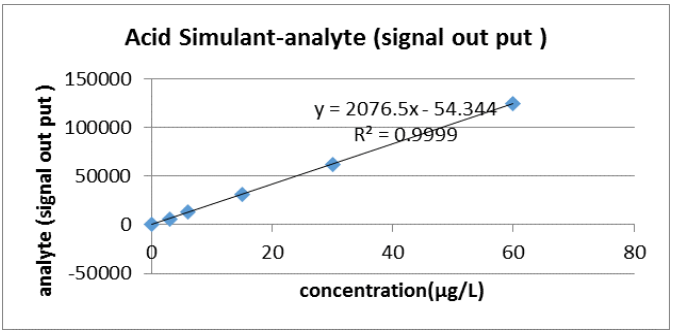
بعد از تهیه نمونه‌های آزمون(ها)، استانداردهای کاری و شاهد مناسب در حالت یونی، دوباره تجزیه و تحلیل مشابه غذایی به روش کروماتوگرافی گازی - طیف سنجی جرمی، با استفاده از ستون روش تزریق سرد تایید شد. یون‌های نمایش داده شده روی طیف به صورت ذیل بود: مونو اتیلن‌گلایکول m/Z ۶۱، دی اتیلن‌گلایکول m/Z ۷۵، بوتان۱،۴-دیول m/Z ۷۱.

طیف‌سنجی برای مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول در پیوست زیر نشان داده شده است.

پیک‌های نشان داده شده برای مونو اتیلن‌گلیکول،دی اتیلن‌گلیکول و بوتان۱،۴-دیول باید تا نصف عرض پیک ( اندازه‌گیری شده در نصف ارتفاع H/2) یا در حداکثر ۲ درصد از زمان بازماند Retention time مطابق استاندارد می‌باشد. هر کدام که کوچکتر شد با استفاده از نسبت پیک منتجه، برای محاسبه سطح مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول در مشابه مواد غذایی بکار برده شد. سطح فوق باید در محاسبه غلظت واقعی درنظر گرفته شود.

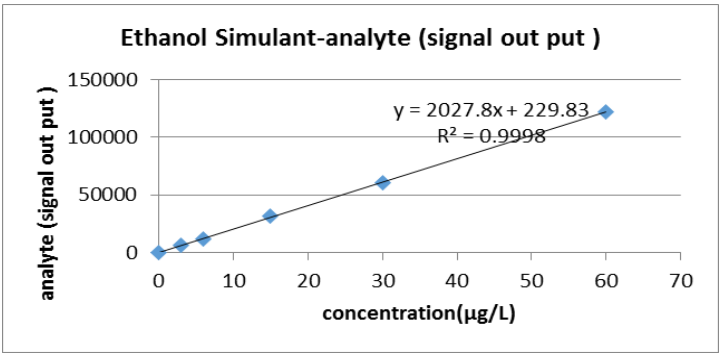
جدول ۶-۴ منحنی کالیبراسیون دی اتیلن‌گلایکول در مشابه غذایی اسید استیک ۳٪

| analyte (signal out put ) | DEG-AAx(mg/L) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 6219 | 3 |
| 12715 | 6 |
| 31022 | 15 |
| 61595 | 30 |
| 124841 | 60 |



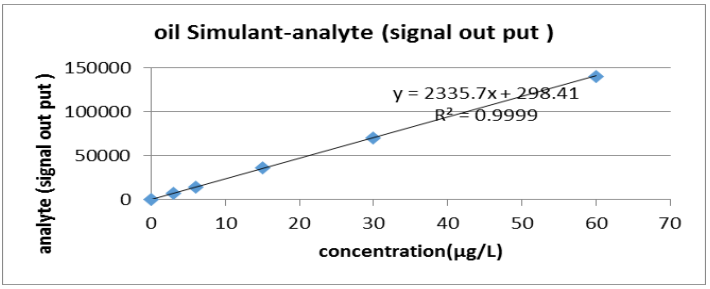
جدول ۶-۵ منحنی کالیبراسیون دی اتیلن‌گلایکول در مشابه غذایی اتانول ۱۰ ٪

| analyte (signal out put ) | EG-E simulantAx(mg/L) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 6079 | 3 |
| 12015 | 6 |
| 32022 | 15 |
| 60595 | 30 |
| 121841 | 60 |



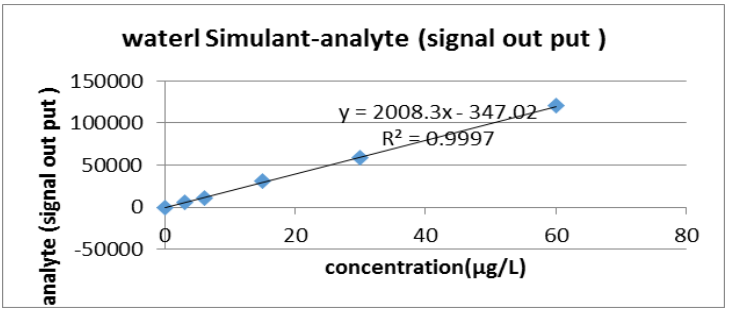

جدول ۶-۶ منحنی کالیبراسیون دی اتیلن‌گلایکول در مشابه غذایی چرب

| analyte (signal out put ) | DEG-oil x(mg/L) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 7180 | 3 |
| 14066 | 6 |
| 36035 | 15 |
| 70595 | 30 |
| 140181 | 60 |



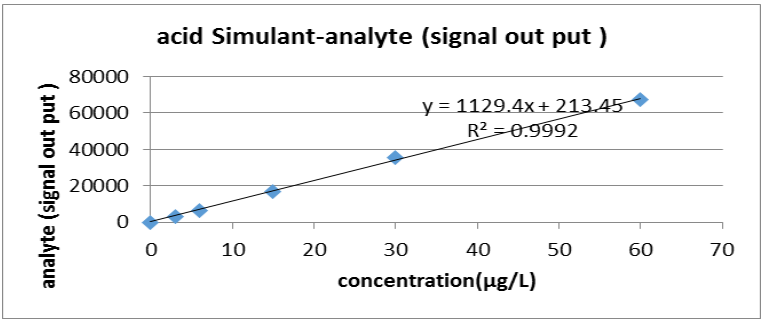
جدول ۶-۷ منحنی کالیبراسیون دی اتیلن‌گلایکول در مشابه غذایی آب مقطر

| analyte (signal out put ) | DEG-W x(µg/L) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 59975 | 3 |
| 110746 | 6 |
| 305385 | 15 |
| 585951 | 30 |
| 1206642 | 60 |



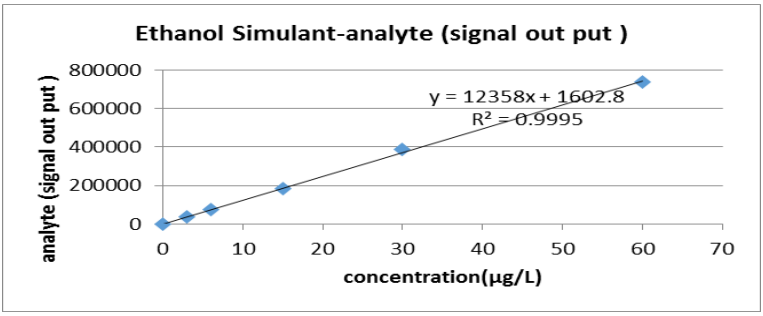

جدول ۶-۸ منحنی کالیبراسیون مونو اتیلن‌گلایکول در مشابه غذایی اسید استیک ۳٪

| analyte (signal out put ) | MEG-AAx(µg/L) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 3405 | 3 |
| 6701 | 6 |
| 17082 | 15 |
| 35522 | 30 |
| 67318 | 60 |



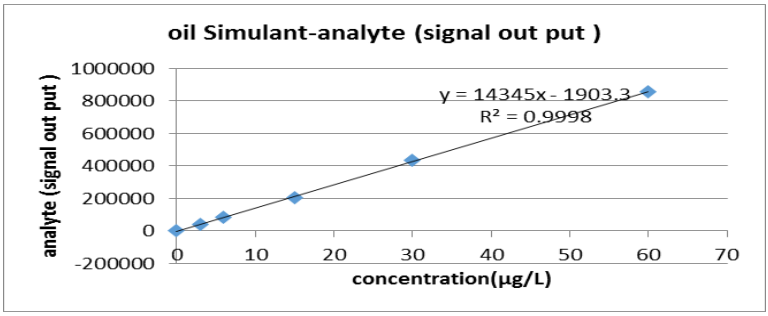
جدول ۶-۹ منحنی کالیبراسیون مونو اتیلن‌گلایکول در مشابه غذایی اتانول ۱۰ ٪

| analyte (signal out put ) | MEG-E x(µg/L) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 3736 | 3 |
| 7346 | 6 |
| 18481 | 15 |
| 38536 | 30 |
| 73736 | 60 |



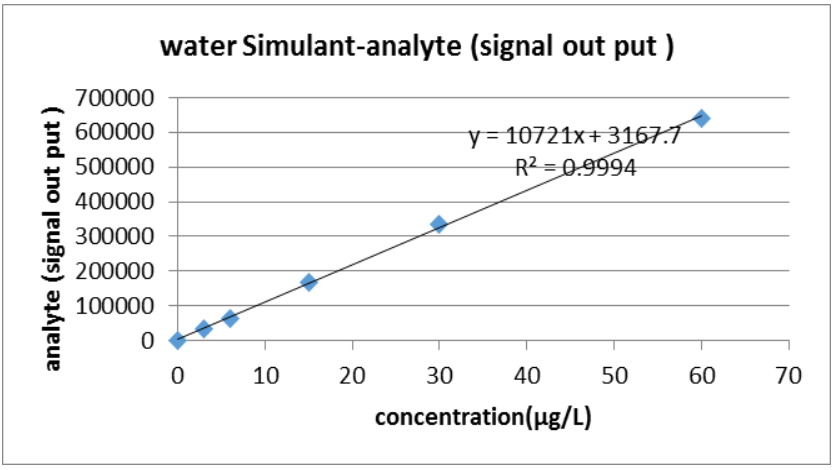

جدول ۶-۱۰ منحنی کالیبراسیون مونو اتیلن‌گلایکول در مشابه غذایی چرب

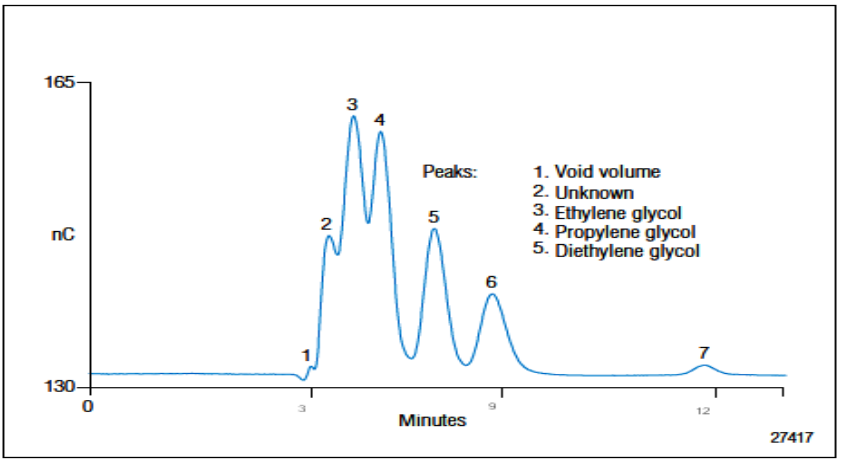
| analyte (signal out put ) | MEG-oilx(µg/L) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 4255 | 3 |
| 8364 | 6 |
| 20479 | 15 |
| 43559 | 30 |
| 85733 | 60 |



جدول ۶-۱۱ منحنی کالیبراسیون مونو اتیلن‌گلایکول در مشابه غذایی آب مقطر

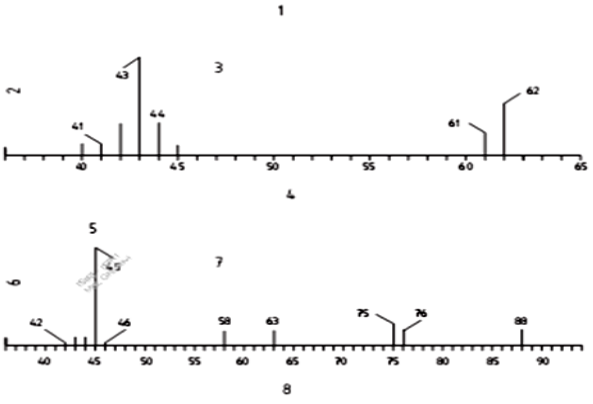
| analyte (signal out put ) | MEG-W Ax(µg/L) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 3296 | 3 |
| 6405 | 6 |
| 16853 | 15 |
| 33500 | 30 |
| 64066 | 60 |






شکل ۶-۲کروماتوگرام گازی نمونه مونو و دی اتیلن‌گلیکول درآب با استفاده ازستون تزریق سرد ستون۱۲ متر × ۰. ۳۲ میلی‌متر قطر داخلی، ضخامت فیلم۱ میکرومتر؛ دما: در دمای ۱۰۰ °C به مدت ۱ دقیقه نگه داشته و با سرعت افزایش دما ۱۰ °C دردقیقه تا افزایش دمای ۲۰۰ °C، به مدت ۱ دقیقه؛ گاز حامل هلیم ۷۰ KPa،با سرعت عبور ۷میلی لیتر/دقیقه؛ آشکارساز یونش شعله ای در دمای ۲۵۰ °C؛ تزریق کننده دمای سرد در ستون.

Retention time برای مونو اتیلن‌گلیکول ۳,۸ دقیقه، بوتان۱،۴- دیول ۷ دقیقه و دی اتیلن‌گلیکول ۷. ۶دقیقه، مطابق کروماتوگرام GC پیوست ذیل می‌باشد.

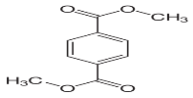


شکل ۶-۳ طیف سنجی مونو اتیلن‌گلیکول و دی اتیلن‌گلیکول

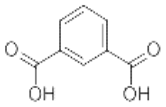
## ۶-۶ بررسی و تعیین مهاجرت ویژه مونومر ایزو فتالیک اسید، ایزو فتالیک اسید دی‌متیل استر

ترفتالیک اسید دی متیل استر (DMT) یک ترکیب شیمیایی آلی است که از دی استر کردن ترفتالیک اسید با متانول تشکیل می‌شود. ترفتالیک اسید دی متیل استر، ماده فرار است و بعنوان ماده مهاجرت کننده در بطری‌های PET بازیافتی می‌باشد. ویژگی مواد مهاجر در جداول ۶-۱۲ الی ۶-۱۴ آورده شده است.

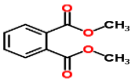
جدول ۶- ۱۲ ویژگی ماده مهاجرت کننده Terephthalic acid methyl ester و 1,4-Dimethyl benzene-1,4-dicarboxylate

| نام ترکیب | وزن مولکولی | نقطه جوش °C | فرمول | ساختار | حد مهاجرت ویژه mg/l |
|---|---|---|---|---|---|
| Dimethyl terephthalate (DMT) | 194. 18 g $mol^{-1}$ | 288 °C | $C_{10}H_{10}O_4$ |  | 5 |

جدول ۶-۱۳ ویژگی ماده مهاجرت‌کننده Isophthalic acid (Benzene-1,3-dicarboxylic acid)

| نام ترکیب | وزن مولکولی g/mol | دانسیته $g/cm^3$ | فرمول | ساختار | حد مهاجرت ویژه mg/l |
|---|---|---|---|---|---|
| Isophthalic acid | 166. 14 | 1. 53 | $C_6H_4(COOH)_2$ |  | 5 |

جدول ۶-۱۴ ویژگی ماده مهاجرت کننده ایزو فتالیک اسید دی متیل استر

| نام ترکیب | وزن مولکولی | نقطه جوش °C | فرمول | ساختار | حد مهاجرت ویژه mg/l |
|---|---|---|---|---|---|
| Dimethyl phthalate | 194. 18 | 124 °C | $C_{10}H_{10}O_4$ |  | 0. 05 |

اصول روش آزمون اندازه‌گیری ترفتالات‌ها و ترفتالات استر ها به روش EPA8061A به شرح ذیل انجام گردید:

این روش برای تعیین مقادیر و غلظت‌های مختلف ترفتالات‌ها و ترفتالات استرها در محلول آبکی،روغن و...استفاده می‌شود. اندازه‌گیری ترکیبات با دستگاه GC-ECD انجام شد. جدول ذیل زمان بازماند انواع ترفتالات‌ها توسط دستگاه کروماتوگرافی و حد تشخیص دستگاه را نشان می‌دهد. ترفتالات استرها در pH زیر ۵ و بالای ۷ هیدرولیز می‌شوند. میزان هیدرولیز آن‌ها با افزایش یا کاهش pH و زمان طولانی‌تر، افزایش خواهد شد.

جدول ۶-۱۵زمان‌های بازداری روش تعیین استرهای فتالات در روش کروماتوگرافی گازی

GAS CHROMATOGRAPHIC RETENTION TIMES AND METHOD DETECTION LIMITS FOR THE PHTHALATE ESTERS[a]

| Compound No. | Compound Name | Chemical Abstract Registry No. | Retention Time (min) | | MDL[b] Liquid (ng/L) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Column 1 | Column 2 | |
| 1 | Dimethyl phthalate (DMP) | 131-11-3 | 7.06 | 6.37 | 640 |
| 2 | Diethyl phthalate (DEP) | 84-66-2 | 9.30 | 8.45 | 250 |
| 3 | Diisobutyl phthalate (DIBP) | 84-69-5 | 14.44 | 12.91 | 120 |
| 4 | Di-n-butyl phthalate (DBP) | 84-74-2 | 16.26 | 14.66 | 330 |
| 5 | Bis(4-methyl-2-pentyl) phthalate (BMPP) | 146-50-9 | 18.77 | 16.27 | 370 |
| 6 | Bis(2-methoxyethyl) phthalate (BMEP) | 117-82-8 | 17.02 | 16.41 | 510 |
| 7 | Diamyl phthalate (DAP) | 131-18-0 | 20.25 | 18.08 | 110 |
| 8 | Bis(2-ethoxyethyl) phthalate (BEEP) | 605-54-9 | 19.43 | 18.21 | 270 |
| 9 | Hexyl 2-ethylhexyl phthalate (HEHP) | 75673-16-4 | 21.07 | 18.97 | 130 |
| 10 | Dihexyl phthalate (DHP) | 84-75-3 | 24.57 | 21.85 | 68 |
| 11 | Butyl benzyl phthalate (BBP) | 85-68-7 | 24.86 | 23.08 | 42 |
| 12 | Bis(2-n-butoxyethyl) phthalate (BBEP) | 117-83-9 | 27.56 | 25.24 | 84 |
| 13 | Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) | 117-81-7 | 29.23 | 25.67 | 270 |
| 14 | Dicyclohexyl phthalate (DCP) | 84-61-7 | 28.88 | 26.35 | 22 |
| 15 | Di-n-octyl phthalate (DOP) | 117-84-0 | 33.33 | 29.83 | 49 |
| 16 | Dinonyl phthalate | 84-76-4 | 38.80 | 33.84 | 22 |
| IS | Benzyl benzoate | 120-51-4 | 12.71 | 11.07 | [c] |
| SU-1 | Diphenyl phthalate (DPP) | 84-62-8 | 29.46 | 28.32 | [c] |
| SU-2 | Diphenyl isophthalate (DPIP) | 744-45-6 | 32.99 | 31.37 | [c] |
| SU-3 | Dibenzyl phthalate (DBZP) | 523-31-9 | 34.40 | 32.65 | [c] |

[a] Column 1 is a 30 m x 0.53 mm ID DB-5 fused-silica open tubular column (1.5 µm film thickness). Column 2 is a 30 m 0.53 mm ID DB-1701 fused-silica open tubular column (1.0 µm film thickness). Temperature program is 150°C (0.5 min hold) to 220°C at 5°C/min, then to 275°C (13 min hold) at 3°C/min. An 8-in Supelco injection tee or a J&W Scientific press fit glass inlet

### ۶-۶-۱ مواد و روش‌ها

نمونه‌های مشابه غذایی آبکی در pH زیر ۵ و بالای ۷ توسط کلرید متیلن در قیف جداکننده استخراج گردید. سپس از فیلتر غشایی C18-BONDED SILICA محلول را عبور داده، ترفتالات‌ها توسط سیلیکا جذب شده، عمل شستشو را با استو نیتریل چندین بار انجام داده و درنهایت با هگزان شستشو کامل گردید. ترفتالات‌ها توسط ستون جداسازی سیلیکا جذب می‌شوند. بنابراین جداسازی کار مشکل خواهد بود، میزان بازیافت ترکیبات حدود ۴۰درصد خواهد بود.

جهت نمونه‌های مشابه غذایی چرب، ابتدا عمل استخراج نمونه‌ها با نسبت ۱:۱ با کلرید متیلن / استونیا هگزان / استون انجام شد. پس از پاکسازی عصاره حاصل توسط فیلتر غشایی، به دستگاه کروماتوگرافی با اشکار ساز ربایش الکترون ترزیق گردید.

یادآوری- برای کاهش تداخلات برای نمونه مشابه غذایی چرب، بهتر است از نمونه‌های موم‌گیری شده استفاده گردد و یا اینکخه واکس‌ها و چربی‌ها را می‌توان با ستون نفوذ ژل کروماتوگرافی حذف نمود.

مشخصات دستگاه گاز کروماتوگرافی دو ستونی که می‌توان از آن استفاده نمود شامل:

گاز کروماتوگرافی- سیستم تحلیلی کامل با دستگاه کروماتوگرافی گازی مناسب برای دو ستون و به روش تقسیم splitless / تزریق انجام گردید و علاوه بر دستگاه گاز کروماتوگراف سایر لوازم جانبی مورد نیاز، عبارتند از: آشکارساز، ستون تحلیلی، Recoder، گاز و سرنگ. سیستم داده‌ها برای اندازه‌گیری اوج ارتفاع و یا نواحی پیک توصیه می‌شود.

Carrier gas (He) = 6 mL/min.
Makeup gas (N2 ) = 19 mL/min.
Injector temperature = 250°C.
Detector temperature = 320°C.
Injection volume = 2 µm
Column temperature:

Initial temperature = 150°C, hold for 0. 5 min.
Temperature program = 150°C to 220°C at 5°C/min. ,
followed by 220°C to 275°C at 3°C/min.
Final temperature = 275°C hold for 13 min.

Column 1 - 30 m x 0. 53 mm ID, 5% phenyl/95% methyl silicone fusedsilica
Open tubular column (DB-5, J&W Scientific, or equivalent), 1. 5 µm film thickness.
Column 2 - 30 m x 0. 53 mm ID, 14% cyanopropyl phenyl siliconefused-silica open tubular column (DB-1701, J&W Scientific, or equivalent), 1. 0 µm filmthickness.

- **محلول استانداردهای ذخیره ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر**

برای آماده‌سازی محلول استاندارد ذخیره هر ماده مرجع، حدود ۰/۱ گرم از هر استاندارد را در بالن حجمی ۱۰ میلی‌لیتری با هگزان رقیق و به حجم رسانده شد.خلوص تمام مواد مرجع ترفتالات‌ها همه بالای ۹۹ ٪ بود. غلظت واقعی ترفتالات هابر حسب میکروگرم محلول ترفتالات‌ها در میلی‌لیتر محاسبه شد. این کار را برای محلول استاندارد دوم نیز تکرار گردید. محلول‌های استاندارد ذخیره در دمای ۵ °C به مدت ۳ ماه با محافظت از نور در ظرف شیشه‌ای درب بسته می‌توان نگهداری نمود.

- **محلول استاندارد کالیبراسیون**

با استفاده از پیپت مدرج، از محلول استاندارد کاری بالا ۰/۰، ۱/۵، ۲/۰، ۳/۰ و ۴/۰ میلی‌لیتر به یکسری فلاسک حجمی ۱۰ میلی‌لیتر منتقل و تا علامت خط نشان با هگزان رقیق کرده و سپس خوب مخلوط گردید. این استانداردهای اسمی شامل ۰/۰، ۱/۵، ۲/۰، ۳/۰ و ۴/۰ میکروگرم/میلی‌لیتر از هر ترفتالات می‌باشد.

- **محلول استاندارد داخلی**

با پیپت، ۵ میلی‌لیتر بنزوات بنزیل محلول استاندارد داخلی را در فلاسک حجمی ۲۵ میلی‌لیتر ریخته و با هگزان تا علامت رقیق شد.

- **تهیه محلول Spike شده (استاندارد میانی) با بنزوات بنزیل در هگزان با غلظت ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر**

مقدار ۱۰ میکرولیتر از محلول استاندارد داخلی به نمونه استخراج شده اضافه گردید. غلظت استاندارد داخلی spike شده به عصاره نمونه‌ها باید برای همه نمونه‌ها یکسان باشد. محلول‌های فوق را در دمای $5\ ^{\circ}C$ به مدت ۱ ماه با محافظت از نور در ظرف شیشه‌ای در بسته می‌توان نگهداری نمود.

- **استانداردهای کاری برای مشابه آبکی**

با پیپت ۲ میلی‌لیتر از هر یک از استانداردهای میانی، به پنج فلاسک حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتر ریخته و سپس توسط پیپت ۵۰ میلی‌لیتر آب افزوده شد. این استانداردهای کاری به ترتیب حاوی حدود ۰. ۸،۱. ۸،۴،۶، mg/l ۱۶ ایزوهای ترفتالات‌ها و ترفتالات استرها می‌باشند. باپیپت،۲ میلی‌لیتر از استاندارد داخلی بند فوق را به فلاسک حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتر منتقل و بعد۵۰ میلی‌لیتر آب جهت تهیه یک استاندارد شاهد با غلظت۰، ۰ میلی‌گرم / لیتر ترفتالات‌ها اضافه گردید.

- **استانداردهای کاری برای مشابه روغن زیتون**

۱± ۵۰ گرم از روغن زیتون بلانک / شاهد منتج آزمون مهاجرت را درقیف جداکننده ۲۵۰ میلی‌لیتر وزن کرده و سپس بوسیله پیپت،۲میلی‌لیتر از استاندارد میانی اضافه و خوب مخلوط گردید و با استوانه مدرج، ۲±۵۰ میلی‌لیتر از هگزان نرمال جهت شستشو قیف جدا کننده اضافه و مخلوط گردید. سپس با استوانه مدرج ۱± ۲۰ میلی‌لیتر محلول سدیم هیدروژن کربنات، جهت رقیق سازی اضافه گردید. مخلوط حاصل به آرامی و به مدت ۱ دقیقه تکان داده و بعداجازه داده شد تا ۱۵ دقیقه بماند تا مراحل جدا سازی انجام پذیرد.

یادآوری- با نگه داشتن قیف جداکننده در یک زاویه حدود ۴۵ درجه و چرخش آرام آن، عمل جداسازی تسهیل می‌شود. لایه آبی پایینی را به یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتر منتقل و دوباره استخراج روغن با حجم بیشتری حدود۱±۲۰ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم هیدروژن انجام گیرد. در مراحل جدا سازی اجازه داده شد جداسازی لایه‌ها صورت پذیرد و بعد مجددا لایه

آبی پایینی را به ظرف بشر برای جمع‌آوری عصاره استخراجی منتقل گردید. محلول آبی از یک کارتریج $C_{18}$ با استفاده از یک سرنگ و مکش با نرخ جریان حدود ۱۰ میلی‌لیتر در دقیقه تا ۲۰ میلی‌لیتر در دقیقه عبور داده و صاف شد. مایع صاف شده به فلاسک حجمی ۵۰ میلی‌لیتر منتقل و با پیپت مدرج ۰، ۱±۱میلی‌لیتر از اسید استیک ۵۰٪ اضافه و کاملا مخلوط کرده و با آب رقیق شد. سپس ۱ میلی‌لیتر تا ۲ میلی‌لیتر از آن را از فیلتر غشایی ۰/۲ میکرومتر عبور داده و برای تجزیه و تحلیل بعدی فیلتر صاف گردید. این روش برای هر یک از استاندارد میانی و استاندارد داخلی تکرار شد.

- **تهیه نمودار کالیبراسیون**

دو سری از استانداردهای کاری به کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا با استفاده یک لوپ ۰/۱ میکرولیتر تزریق شد. ارتفاع پیک/ مساحت پیک محلول هر ترفتالات را به ارتفاع /مساحت پیک اسید بنزوان بنزیل تقسیم گردید و این مقدارها در غلظت ترفتالات‌ها در استانداردها بر حسب میلی‌گرم در هر لیتر برای هر دو مشابه آبی غذایی و روغن زیتون محاسبه و نمودار کالیبراسیون ترسیم گردید. منحنی کالیبراسیون خط راست و ضریب همبستگی آن مساوی یا بالاتر از ۰/۹۹۷ شد.

- **آزمایش تاییدیه/تصدیق**

تجزیه و تحلیل با روش کروماتوگرافی GC/MS

دو میلی‌لیتر عصاره جمع‌آوری شده از سوکسله را به یک کروماتوگراف / GC مجهز به یک آشکارساز طیف جرمی/ MS تزریق شد. تا مشخصات کروماتوگرافی هر یک از نمونه بدست آید. ابزار مورد استفاده شامل :

کروماتوگرافی نوع و مدل Shimadzu QP5000 system با محدوده جرمی از ۳۵ تا ۴۵۰ m/z

ستون مدل DB-5 با مشخصات : ( ابعاد ۶۰ متر × ۰/۲۵ × با قطر ۰/۵۲ میلی‌متر )

گاز حامل هلیوم در فشار ثابت ۶۹/۶ کیلوپاسکال با سرعت جریان کم ۱/۳ میلی‌لیتر در دقیقه

دمای قسمت تزریق و آشکار ساز به ترتیب ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد نگه داشته می‌شود.

دمای آون ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد

زمان splitless حدود ۰/۷۵ دقیقه و حجم تزریق ۲ میکرولیتر
برنامه آون به ترتیب تنظیم می‌گردد :دمای اولیه آون ۴۰ درجه سانتی‌گراد، مدت ۸ دقیقه در این دما نگه داشته و بعد دما با نرخ ۳ درجه در دقیقه تا ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. در این دما مدت یک دقیقه مانده و سپس دما با نرخ ۶ درجه در دقیقه از ۱۳۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده و بعد مدت ۵ دقیقه در این دما حفظ می‌شود.

روش دوم آزمون
نمونه‌ها، هیدرولیز قلیایی و متیلاسیون انجام و ارزیابی مهاجرت کل ترفتالات‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر UV مدل ۲۱۰۰ ساخت شرکت Unico آمریکا و روش طیف بینی مشتقی و بر حسب دی متیل ترفتالات انجام می‌گردد. برای بررسی نوار جذبی دی متیل ترفتالات محلولی با غلظت ppm ۱۰ از ماده استاندارد DMT در استونیتریل تهیه و طیف جذب نوری حلال خالص (استونیتریل) و محلول DMT در استو نیتریل در طول موج ۳۰۰ -۱۹۰ نانومتر تهیه می‌شود. طیف مشتق اول جذب نسبت به طول موج $(\frac{d(A)}{d(\lambda)})$ برای محلول DMT برآورد و با تریمر حلقوی PET مقایسه می‌گردد. برای بررسی پیروی جذب دی متیل ترفتالات از قانون کمی بیر–لامبرت محلول‌های استاندارد با غلظت ppm ۰/۱ تا ۱۵ از DMT در استونیتریل (بدون فاز روغنی) تهیه و مقدار جذب و مشتق اول جذب نسبت به طول موج به ترتیب در ۲۴۰ و ۲۵۴ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری می‌شود. D254 و ضرایب همبستگی برای بررسی ارتباط خطی بین غلظت متغیرهای جذب و مشتق اول جذب تهیه می‌گردد. برای بهینه سازی شرایط افزایش استاندارد و بهینه سازی شرایط استخراج، از محلول استاندارد DMT در هیدروکسید پتاسیم متانولیک (۲۰۰ mg/L) در حجم‌های مشخصی به مشابه غذایی (روغن زیتون) اضافه گردیده و پس از هیدرولیز، متیلاسیون و استخراج بر روی فاز استو نیتریل استخراجی، اعداد جذب در ۲۴۰ نانومتر و D244 و D254 اندازه‌گیری می‌شود. با بهینه سازی شرایط استخراج در چند مرحله با تدابیری مانند الف) افزایش در مقدار DMT اضافه شده به روغن ب) اشباع کردن حلال‌های استخراجی (هگزان و استونیتریل) با یکدیگر در قیف جداکننده قبل از استفاده در مرحله استخراج پ) خشک کردن تمام ظروف مورد استفاده در گرمخانه قبل از مجاورت با نمونه، ضریب همبستگی مورد

قبول بدست آمده و روش آماده‌سازی نمونه ماده شبیه سازی شده (روغن زیتون) جهت آنالیز فوق به ترتیب زیر اصلاح می‌گردد: ۱/۵ گرم روغن زیتون به اضافه۱/۵ میلی‌لیتر از محلول استاندارد DMT در هیدروکسید پتاسیم ۰/۲ مولار همراه با ۱۰ میلی‌لیتر از هیدروکسید پتاسیم متانولیک ۰/۲ مولار در ارلن ۲۵ میلی‌لیتر در ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت هیدرولیز شده و سپس ۳ میلی‌لیتر از محلول اتری بورون تری فلوراید جهت متیلاسیون به محلول اضافه گردیده و مجددا در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت نمونه حرارت داده و بعد محلول متیله شده در ۴۰ میلی‌لیتر دی اتیل اتر حل شده و در قیف جدا کننده با آب مقطر دوبار تقطیر شده ( ۲×۵۰ میلی لیتر ) استخراج روی آن صورت گرفته و فاز اتری با محلول نیمه اشباع سولفات سدیم ( ۵۰ میلی لیتر ) در قیف جدا کننده استخراج شده و فاز آلی با استفاده از سولفات سدیم خشک و اتر تحت خلاء تبخیر گردیده، باقیمانده روغن در ۵۰ میلی‌لیتر استونیتریل ( اشباع شده با هگزان ) حل و با ۷۵ میلی‌لیتر هگزان ( اشباع شده با استونیتریل ) استخراج می‌شود. سپس فاز استونیتریل بدون تغلیظ در دستگاه اسپکتروفتومتر UV مورد سنجش قرار گرفته و در فاصله مشتق گیری برابر ۵ نانومتر و پهنای شکاف ۲ نانومتر، اعداد مشتق اول جذب نسبت به طول موج در ۲۵۴ نانومتر ثبت کرده که با منحنی کالیبراسیون مربوطه مقایسه و مقدار دی متیل ترفتالات در نمونه محاسبه شد. برای ارزشیابی تکرار پذیری روش پنج نمونه یکسان،محتوی ۱/۵ گرم مشابه غذایی روغن زیتون به اضافه ۱/۵ میلی‌لیتر استاندارد DMT در هیدروکسید پتاسیم متانولیک (mg/L ۲۰۰) تهیه می‌شود و مطابق منتخب آماده آنالیز با اسپکتروفتومتر گردیده و اعداد مشتق اول جذب اندازه‌گیری شده و انحراف معیار نسبی (RSD) مطابق معادله زیر محاسبه می‌شود :

$$RSD = \frac{100S}{X}$$

S در فرمولاسیون بالا میزان انحراف معیار و X میانگین مقادیر داده‌ها را نشان داده و برای ارزشیابی حد تشخیص (DL) روش پنج نمونه یکسان، محتوی ۱/۵ گرم مشابه غذایی روغن زیتون به اضافه ۱/۵ میلی‌لیتر استاندارد DMT در هیدروکسید پتاسیم متانولیک (mg/L ۲۰۰) تهیه می‌شود و مطابق منتخب آماده آنالیز با اسپکتروفتومتر گردیده و نهایتا اعداد مشتق اول جذب نسبت به طول موج در ۲۵۴ نانومتر اندازه‌گیری و حد تشخیص از معادله

زیر محاسبه شده، در این معادله k ضریب اطمینان و در کارهای آزمایشگاهی معادل ۳ است، Sb انحراف معیار محلول شاهد و m شیب منحنی کالیبراسیون است :

$$DL = \frac{kSb}{m}$$

دی متیل ترفتالات همانند تریمر حلقوی PET در ناحیه نور ماورا بنفش در ۲۴۰ نانومتر ماکزیمم جذب دارد و در طیف $(\frac{d(A)}{d(\lambda)})$ دی متیل ترفتالات همانند تریمر حلقوی PET در ۲۵۴ دارای مینیمم جذب است. اندازه‌گیری مقدار جذب و مشتق اول جذب برای محلول‌های استاندارد DMT در استونیتریل بدون فاز روغنی و محاسبه ضرایب همبستگی مربوط به متغیرهای فوق و متغیر غلظت، ارتباط خطی بین غلظت را با جذب و مشتق اول جذب نشان می‌دهد.

## ۶-۷ بررسی و تعیین مهاجرت ویژه فلز ات سنگین و فلز آنتیموان

بیشینه میزان مهاجرت آنتیموان بر اساس EC Directive 2005/79/EC، ۰،۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده غذایی است. بررسی و تعیین مهاجرت ویژه (باقی‌مانده) فلزات سرب، آرسنیک، کبالت، کروم، آهن، جیوه، مس، کادمیوم بیشینه مجموع میزان مهاجرت فلزات سنگین بر اساس EC Directive 2005/79/EC، ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده غذایی است.

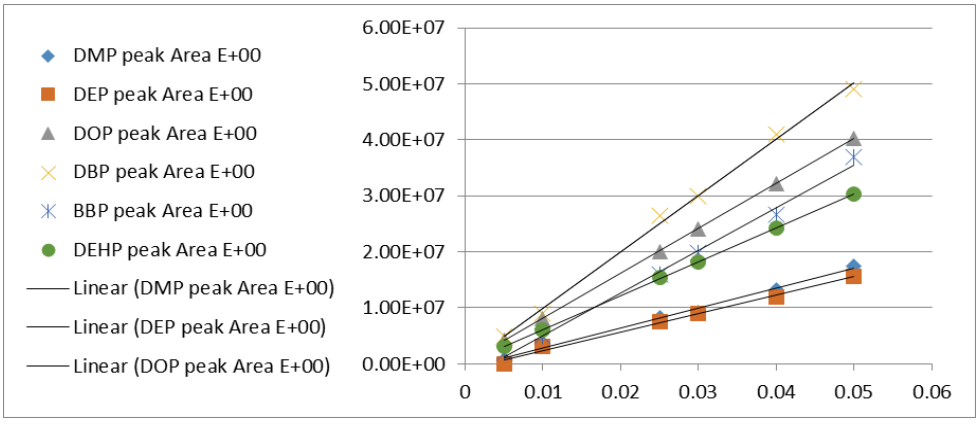
هدف از این بررسی تعیین و اندازه‌گیری مقادیر بسیار کم فلزات سنگین آنتیموان، فلزات سرب، آرسنیک، کبالت، کروم، آهن، جیوه، مس، کادمیوم در مشابه‌های غذایی در تماس با مواد و کالاهای پلاستیکی با دستگاه اتمیک آبزربشن می‌باشد.

### ۶-۷-۱ اصول روش

عبارت است تبخیر و سوزاندن نمونه مورد آزمون در یک کوره و تزریق به یک اسپکترومتر جذب اتمی می‌باشد. استانداردهای فلزات سنگین مورد نظر تحت شرایط معین کالیبره شده و منحنی کالیبراسیون آنها ترسیم و در پایان مقدار فلزات از روی میزان جذب در طول موج انتخاب شده دستگاه محاسبه می‌گردد.

جدول ۶-۱۶ منحنی کالیبراسیون انواع ترفتالات‌ها در مشابه غذایی آب مقطر

| DEHP peak Area | BBP peak Area | DBP peak Area | DOP peak Area | DEP peak Area | DMP peak Area | x (µg/mL) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| E+00 | E+00 | E+00 | E+00 | E+00 | E+00 | 0 |
| 3. 02E+06 | 2. 00E+06 | 5. 01E+06 | 4. 21E+06 | 0. 156E=07 | 7. 10E+05 | 0. 5 |
| 6. 08E+06 | 5. 00E+06 | 9. 02E+06 | 8. 10E+06 | 3. 07E+06 | 3. 58E+06 | 1 |
| 1. 55E+07 | 1. 60E+07 | 2. 65E+07 | 2. 01E+07 | 7. 50E+06 | 8. 25E+06 | 2 |
| 1. 82E+07 | 1. 99E+07 | 3. 00E+07 | 2. 41E+07 | 9. 04E+06 | 9. 20E+06 | 3 |
| 2. 42E+07 | 2. 66E+07 | 4. 11E+07 | 3. 22E+07 | 1. 20E+07 | 1. 32E+07 | 4 |
| 3. 03E+07 | 3. 69E+07 | 4. 91E+07 | 4. 03E+07 | 1. 57E+07 | 1. 75E+07 | 5 |




به‌طور کل برای اینکه غلظت ماده مورد نظر توسط طیف سنجی جذب اتمی معین شود، باید مراحل زیر را انجام داد:

۱- تهیه محلول بلانک (یا محلولی که دارای تمامی گونه‌ها غیر از گونه مورد نظراست. )

۲- تهیه نمونه‌های استاندارد از گونه موردنظر با غلظت‌های مشخص

- **قرائت جذب محلول‌های استاندارد**

رسم جذب برحسب غلظت‌های استاندارد و بدست آوردن نمودار کالیبراسیون
اندازه‌گیری جذب محلول مجهول و بدست آوردن غلظت مجهول از روی نمودار.
ابتدا بایستی محلول بلانک را در سلول قرار داد و شکاف منبع تابش را بست تا ۱۰۰٪ جذب یا صفر درصد عبور را تنظیم کرد. سپس شکاف منبع تابش، باز شده تا ۱۰۰٪ عبور یا صفر درصد جذب تنظیم شود. بعد از تنظیم صفر و ۱۰۰، جذب محلول‌های استاندارد و همچنین محلول مجهول اندازه‌گیری می‌شود.

دو روش در تجزیه کمی رایج است که عبارتند از: روش نمودار کار (یا روش نمودار درجه‌بندی) و روش افزایش استاندارد. در روش نمودار کار، ابتدا محلول‌های استانداردی با غلظت‌های مناسب و خطی از آنالیت، دقیقاً به همان روش که محلول نمونه تهیه شده است، تهیه می‌شود. سپس بعد از تنظیم جذب صفر توسط محلول بلانک، جذب محلول‌های استاندارد به ترتیب از رقیق به غلیظ توسط دستگاه خوانده وثبت می‌شود. در پایان، جذب محلول مجهول نیز در همان شرایط ثبت می‌شود. سپس نمودار جذب برحسب غلظت، برای محلول‌های استاندارد رسم می‌شود و جذب مربوط به محلول مجهول روی آن مشخص کرده و غلظت آن تعیین می‌شود. دراین حالت دقت نتایج بین دو الی پنج درصد و صحّت آن‌ها در محدوده ۰. ۱ الی۲. ۰ درصد است. روش دیگر که صحّت بیشتری دارد افزایش استاندارد متعدد است. در روش افزایش استاندارد متعدد، به حجم معینی از محلول مجهول (به غلظت x) حجم‌های مختلفی از یک محلول استاندارد افزوده، سپس جذب این محلول‌ها بر حسب غلظت رسم می‌شود و از طریق آن غلظت محلول مجهول بدست می‌آید. حساسیت در طیف سنجی جذبی عبارت است از مقدار ppm یک عنصر که بتواند مقدار جذبی برابر با ۰. ۰۰۴۴ تولید کند. حد تشخیص یک عنصر برابر مقداری از آن عنصر است، که بتواند پاسخی معادل دو برابر انحراف استاندارد زمینه در آشکار ساز ایجادکند، یا به عبارت دیگر با کمترین مقدار حساسیت برابر است. مقدار حساسیت برای عناصر مختلف در روش جذب اتمی در حدود ۰. ۰۰۰۳ الی ppm ۲۰ است.

### ۶-۷-۲ مواد لازم

کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده باید از نوع آزمایشگاهی باشد.

اسید استیک ۳٪

اسید نتیریک غلیظ

اسید نیتریک ۲٪

آب مقطر دیونیزه

- **تهیه محلول‌های استاندارد ذخیره**

با رقیق کردن مقدار مناسبی از استانداردهای فلزی تهیه می‌شود.

- **تهیه استانداردهای کاری**

این محلول‌ها را در روز آزمایش با رقیق کردن مقدار مناسبی از محلول‌های استاندارد بایستی تهیه نمود.

### ۶-۷-۳ وسایل لازم

علاوه بر وسایل معمول آزمایشگاهی، لوازم زیر مورد نیاز می‌باشد :

بطری‌های درب‌دار شیشه عاری از هر فلز با ظرفیت ۲۰ و ۵۰ میلی‌لیتر

آون الکتریکی

کوره الکتریکی

دستگاه اسپکترومتر جذب اتمی مجهز به نشان دهنده ارتفاع منحنی

لامپ‌های کاتدی هر فلز

### ۶-۷-۴ آماده سازی نمونه‌ها

نمونه‌های مورد آزمون در فلزات سنگین از نظر فیزیکی و شیمیایی خواص یکسانی ندارند به همین دلیل نحوه آماده‌سازی آن‌ها نیز متفاوت است اما قبل از شروع چه نمونه جامد و چه مایع باشد: ۱- باید ابتدا آن را با وسایل مناسب کاملا همگن نماییم.

مقدار معین از نمونه مورد آزمون را بر حسب میزان فلز موجود در آن توزین نمود که بتوان پس از گذران مراحل آزمون در شرایطی قرار گیرد که در حد تشخیص دستگاه و مطابق روش قرار گیرد. سپس با توجه به ماهیت نمونه به یکی از اشکال ذیل آن‌ها را آماده می‌نماییم:

**آماده سازی مستقیم:** این روش برای نمونه‌هایی که حلالیت زیادی در آب دارند مثل نمک و شکر یا نمونه‌هایی که ماهیتی شبیه به آن‌ها دارند قابل اجرا است. برای این منظو: ۱- مقدار مناسب و معینی از نمونه را که قبلا همگن شده است با توجه به دستگاه و روش وزن نمایید.
نمونه را در یک ارلن مایر ۵۰۰ میلی‌لیتر بریزید و به آن ۲۰۰- ۱۵۰ میلی‌لیتر آب بدون یون اضافه نمایید.
۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به محتویات ارلن اضافه نموده و نیم ساعت آن را بجوشانید.
محلول را سرد کرده و از صافی که قبلا با اسید شستشو داده شده است عبور دهید و محلول را برای آزمون فلز مورد نظر نگهداری نمایید.

**آماده سازی به وسیله خاکسترسازی:** کلیه ظروف مصرفی را قبل از شروع به مدت حداقل ۲۴ ساعت در محلول اسید نیتریک ۵٪ قرار داده و پس از این مدت آن‌ها را با آب بدون یون شستشو دهید و در اتوکلاو ۱۰۵ درجه خشک نمایید.
برای استاندارد سازی و شستشو حتما از آب بدون یون استفاده نمایید.
در صورت وجود مداخله‌گرها و شناخت آن‌ها با توجه به محیط از کمپلکس کننده‌ها مانند دیتیزون، آمونیم پریلیدین کربولسیلیک اسید و ترکیبات کاربازید و غیره استفاده نمایید.
حتما در مورد عناصر مورد اندازه‌گیری دقت نمایید که به درجه حرارت‌های لازم و تغییرات آن توجه گردد.
نمونه بطری خرده شده به وزن ۵ گرم باید به مدت ۱۶ ساعت در اسید استیک ۳ ٪ قرار گرفته، سپس در بالن حجمی ۲۰۰ میلی‌لیتری، با استفاده از همان اسید استیک ۳٪ به حجم

۲۰۰ میلی‌لیتر برسانید. محلول جهت تزریق مستقیم به دستگاه اتمیک و خواندن جذب آن به‌کار می‌رود.

- **نمونه مشابه غذایی آب**

در یک بالن ته صاف میزان ۲۰۰-۱۰۰ گرم آب ریخته و سپس ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ روی شعله اضافه کنید. محلول حاصل را روی شعله قرار دهید تا حجم آن به اندازه ۱۵-۱۰ میلی‌لیتر تبخیر شود. بعد از صافی عبور دهید و در بالن حجمی ۲۰۰ میلی‌لیتری، با آب مقطر جوشیده شده به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر برسانید. محلول جهت تزریق مستقیم به دستگاه اتمیک و خواندن جذب آن بکار می‌رود.

- **نمونه مشابه غذایی روغن**

ابتدا داخل بوته‌ای که با اسید شستشو داده شده است از قبل مقدار ۵ گرم نمونه را وزن کنید. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه نمائید. ابتدا محلول را روی شعله و سپس به مدت ۱۶ ساعت در کوره بسوزانید. پس از آن عمل استخراج را انجام دهید. مجدد ۵ میلی‌لیتر اسید انیتریک ۲ درصد بیافزائید. و روی شعله با حرارت ملایم محلول را حرارت دهید. محتویات بوته را خوب مخلوط کرده و از کاغذ صافی عبور دهید. این عمل را بار دیگر تکرار کنید. سپس در بالن حجمی ۲۰۰ میلی‌لیتری حجم نمونه را با آب مقطر جوشیده به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر برسانید.

برای مشابه غذایی اتانول به همان روش روغن، با حرارت بسیار پائین‌تر عمل نمائید.

### ۶-۷-۵ روش صحه گذاری آزمون

از روش ترسیم منحنی خطی کالیبراسیون ( نمودار های پیوست )

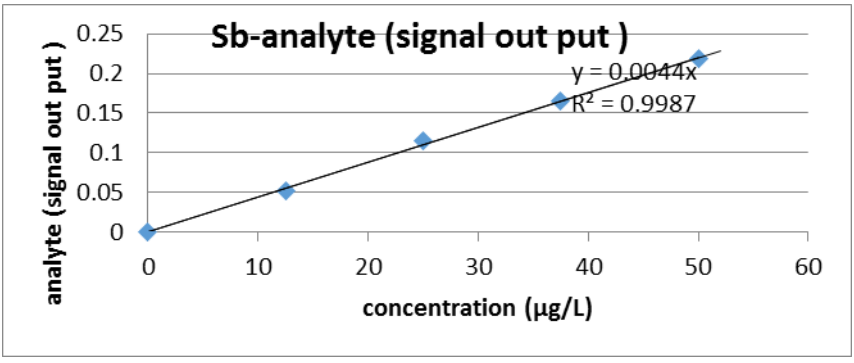
با روش افزایش استاندارد و گرفتن درصد Recovery - (نمونه ای از جداول بازیافت چند فلز در مشابه غذایی اسید استیک ۳ ٪ و اتانول ۱۰ ٪ بدست آمده، در پیوست مشاهده نمائید. )

حدود مجاز مهاجرت ویژه از سوی اتحادیه اروپا جهت آنتیموان mg/kg ۰/۰۴و سرب و کادمیوم و آرسنیک و مس کمتر از ۰/۳ و آهن کمتر از ۳/۱ و کبالت بین ۳۰-۲۰ و کروم کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد.

یک نمونه‌ای از منحنی کالیبراسیون فلزات سنگین بدست آمده در مشابه غذایی بطور مثال اسید استیک را در پیوست ذیل قابل مشاهده است :

جدول ۶-۱۷ منحنی کالیبراسیون فلز آنتیموان در مشابه غذایی اسید استیک ۳٪

| analyte (signal out put ) | Sb- x(µg/L) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 0. 052 | 12. 5 |
| 0. 115 | 25 |
| 0. 165 | 37. 5 |
| 0. 218 | 50 |



جدول ۶-۱۸ درصد بازیافت برخی از فلزات سنگین مثل آنتیموان در مشابه غذایی اسید استیک ۳ ٪

| Metal in 3%acetic acid | Added (µg/L) | found (µg/L) | Recovery (%) |
|---|---|---|---|
| | Sd | | 3 |
| Sb | 4. 25 | 4. 63 | 109 |
| | 4. 25 | 4. 37 | 103 |
| | 4. 25 | 4. 44 | 104 |
| | mean | | 105 |
| | Sd | | 3 |

جدول ۶-۱۹ درصد بازیافت برخی از فلزات سنگین مثل آنتیموان در مشابه غذایی اتانول ۱۰٪

| Metal in 10% ethanol | Added (µg/L) | found (µg/L) | Recovery (%) |
|---|---|---|---|
| Sb | 4. 25 | 4. 03 | 95 |
| | 4. 25 | 4. 2 | 99 |
| | 4. 25 | 4. 2 | 99 |
| | mean | | 98 |
| | Sd | | 2 |

## ۶-۸ منابع:


1. ACC, 2009. American Chemistry Council. Phthalates Information Center. Available: http://www.phthalates.americanchemistry.com (accessed 07.07.11).

2. Amiridou, D., Voutsa, D., 2011. Alkylphenols and phthalates in bottled waters. Journal of Hazardous Materials 185 (1), 281e286.

3. Bach, C., Dauchy, X., David, L., Etienne, S., 2011. Physico-chemical study of PET bottles and PET bottled water. Mate´ riaux & Techniques 99, 391e408 (in French).

4. Baugros, J.B., Cren-Olive´, C., Giroud, B., Gauvrit, J.Y., Lante´ ri, P., Grenier-Loustalot, M.F., 2009. Optimisation of pressurised liquid extractionby experimentaldesignforquantificationofpesticides and alkyl phenols in sludge, suspended materials andatmospheric fallout by liquid chromatography etandem mass spectrometry. Journal of Chromatography A1216 (25),4941e4949.

5. Berryman, D., Houde, F., DeBlois, C., O'Shea, M., 2004. Nonylphenolic compounds in drinking and surface waters downstream of treated textile and pulp and paper effluents: a survey and preliminary assessment of their potential effects on public health and aquatic life. Chemosphere 56 (3), 247e255.

6. Biros, S.M., Bridgewater, B.M., Villeges-Estrada, A., Tanski, J.M., Parkin, G., 2002. Antimony ethylene glycolate and catecholatecompounds: structural characterization of polyesterification catalysts. Inorganic Chemistry 41, 4051e4057.

7. Biscardi, D., Monarca, S., De Fusco, R., Senatore, F., Poli, P., Buschini, A., Rossi, C., Zani, C., 2003. Evaluation of the migration of mutagens/carcinogens from PET bottles into mineral water by Tradescantia/micronuclei test, Comet assay on leukocytes and GC/MS. Science of the Total Environment 302 (1e3), 101e108.

8. Bo¨ hmler, G., Kohnen, R., Borowski, U., Ru¨ he, A., 2006. Einsatzeines biologischen Testsystems (E-Screen) in der amtlichen Lebensmittelu¨ berwachung zum Nachweis estrogen wirksamer Substanzen. Journal fu¨ r Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 1 (4), 325e331.

9. Bopp, K., Bertram, K., Roth, M., 2010. Hormonelle aktivita¨t in natu¨ rlich mineralwa¨ssern? Deutsche Lebensmittel- Rundschau 106, 489e500.

10. Bo_snir, J., Puntari_c, D., Gali_c, A., _Skes, I., Dijani_c, T., Klari_c, M., Grgi_c, M., _Curkovi_c, M., _Smit, Z., 2007. Migration of phthalates from plastic containers into soft drinks and mineral water. Food Technology and Biotechnology 45 (1), 91e95.

11. Bru¨ schweiler, B., 2011. Des perturbateurs endocriniens dans les eaux mine´rales en bouteille? Federal Office of Public Health (FOPH). Bulletin 14/11, 311e317 Available: http://www.bag.admin.ch/.

12. Buiarelli, F., Cartoni, G., Cocciolo, F., 1993. HPLC and GCeMS detection of compounds released to mineral waters stored in plastic bottles of PET and PVC. Annali di Chimica 83 (3e4), 93e104 (in Italian).

13. Cao, X.L., 2008. Determination of phthalates and adipate in bottled water by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography/mass spectrometry. Journal of Chromatography A 1178 (1e2), 231e238.

14. Cao, X.L., 2010. Phthalate esters in foods: sources, occurrence, and analytical methods. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 9 (1), 21e43.

15. Casajuana, N., Lacorte, S., 2003. Presence and release of phthalic esters and other endocrine disrupting compounds in drinking water. Chromatographia 57 (9e10), 649e655.

16. Ceretti, E., Zani, C., Zerbini, I., Guzzella, L., Scaglia, M., Berna, V., Donato, F., Monarca, S., Feretti, D., 2010. Comparative assessment of

genotoxicity of mineral water packed in polyethylene terephthalate (PET) and glass bottles. Water Research 44 (5), 1462e1470.

17. Cheng, X., Shi, H., Adams, C.D., Ma, Y., 2010. Assessment of metal contaminations leaching out from recycling plastic bottles upon treatments. Environmental Science and Pollution Research 17 (7), 1323e1330.

18. Choe, S.Y., Kim, S.J., Kim, H.G., Lee, J.H., Choi, Y., Lee, H., Kim, H., 2003. Evaluation of estrogenicity of major heavy metals. The Science of the Total Environment 312 (1e3), 15e21.

19. Choodum, A., Thavarungkul, P., Kanatharana, P., 2007. Acetaldehyde residue in polyethylene terephthalate (PET) bottles. Journal of Environmental Science and Health e Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes 42 (5), 577e583.

20. Criado, M.V., Ferna´ndez Pinto, V.E., Badessari, A., Cabral, D., 2005. Conditions that regulate the growth of moulds inoculated into bottled mineral water. International Journal of Food Microbiology 99 (3), 343e349.

21. Dabrowska, A., Borcz, A., Nawrocki, J., 2003. Aldehyde contamination of mineral water stored in PET bottles. Food Additives and Contaminants 20 (12), 1170e1177.

22. Della Seta, D., Minder, I., Belloni, V., Aloisi, A.M., Dessi-Fulgheri, F., Farabollini, F., 2006. Pubertal exposure to estrogenic chemicals affects behavior in juvenile and adult male rats. Hormones and Behaviour 50 (2), 301e307.

23. Duh, B., 2002. Effect of antimony catalyst on solid-state polycondensation of poly(ethylene terephthalate). Polymer 43 (11), 3147e3154.

24. Dybing, E., 2002. Development and implementation of the IPCS conceptual framework for evaluating mode of action of chemical carcinogens. Toxicology 181e182, 121e125.

25. Dzie¸ cioł, M., Trzeszczy_nski, J., 2000. Volatile products of poly(ethylene terephthalate) thermal degradation in nitrogen atmosphere. Journal of Applied Polymer Science 77 (9), 1894e1901.

26. EFBW, 2011. European Federation of Bottled Water. http://www.efbw.eu/ (accessed 21.10.11).

27. EFSA, 2011. Scientific opinion on the criteria to be used for safety evaluation of a mechanical recycling process to produce recycled PET intended to be used for manufacture of materials and articles in contact with food. EFSA Journal 9 (7), 2184, 25 pp.

28. EFSA, 2008. Statement of EFSA on a study associating bisphenol A with medical disorders. The EFSA Journal Available: http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/838.htm.

29. Ergene, S., C¸ elik, A., C¸ avas, , T., Ko¨ leli, N., Aymak, C., 2008. The evaluation of toxicity and mutagenicity of various drinking waters in the human blood lymphocytes (HULYs) in vitro. Food and Chemical Toxicology 46 (7), 2472e2475.

30. EU, 2011. Commission regulation (EU) No 10/2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come in contact with food. Official Journal of the European Commission.

31. EU, 2008. European Union Risk Assessment Report Diantimony Trioxide. CAS No: 1309-64-4, EINECS No: 215-175-0. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

32. EU, 2004. Regulation No 1935/2004 of the European Parliament and of the council of 27 October 2004 on materials intended to come into contact with food and repealing directives 80/590/EEC and 89/109/EEC.

33. Evandri, M.G., Tucci, P., Bolle, P., 2000. Toxicological evaluation of commercial mineral water bottled in polyethylene terephthalate: a cytogenetic approach with Allium cepa. Food Additives and Contaminants 17 (12), 1037e1045.

34. Ewender, J., Franz, R., Mauer, A., Welle, F., 2003. Determination of the migration of acetaldehyde from pet bottles into noncarbonated and carbonated mineral water. Deutsche Lebensmittel-Rundschau 99 (6), 215e221.

35. Fakirov, S., 2002. Handbook of Thermoplastic Polyesters. Wiley-VCH, Weinheim (Germany).

36. Fankhauser-Noti, A., Grob, K., 2007. Blank problems in trace analysis of diethylhexyl and dibutyl phthalate: investigation of the sources, tips and tricks. Analytica Chimica Acta 582 (2), 353e360.

37. Fernandes, A.R., Rose, M., Charlton, C., 2008. 4-Nonylphenol (NP) in food-contact materials: analytical methodology and occurrence. Food Additives and Contaminants 25 (3), 364e372.

38. Franz, R., Welle, F., 2009. Can migration of endocrine disruptors from plastic bottles be the cause of estrogenic burden recently packaging and food sampled in 1985e1989: a survey. Food Additives and Contaminants 12 (1), 129e151.

39. Patisaul, H.B., Todd, K.L.A.M.J., Adewale, H.B., 2009. Impact of neonatal exposure to the ERa agonist PPT, bisphenol-A or phytoestrogens on hypothalamic kisspeptin fiber density in male and female rats. Neurotoxicology 30 (3), 350e357.

40. Pen˜ alver, A., Pocurull, E., Borrull, F., Marce´ , R.M., 2000. Determination of phthalate esters in water samples by solidphase microextraction and gas chromatography with mass spectrometric detection. Journal of Chromatography A 872 (1e2), 191e201.

41. Pinto, B., Reali, D., 2009. Screening of estrogen-like activity of mineral water stored in PET bottles. International Journal of Hygiene and Environmental Health 212 (2), 228e232.

42. Reimann, C., Birke, M., Filzmoser, P., 2010. Bottled drinking water: water contamination from bottle materials (glass, hard PET, soft

PET), the influence of colour and acidification. Applied Geochemistry 25 (7), 1030e1046.

43. Romaˇ o, W., Franco, M.F., Corilo, Y.E., Eberlin, M.N., Spinace´, M.A.S., De Paoli, M.A., 2009a. Poly (ethylene terephthalate) thermo-mechanical and thermo-oxidative degradation mechanisms. Polymer Degradation and Stability 94, 1849e1859.

44. Romaˇ o, W., Spinace´, M.A.S., De Paoli, M.A., 2009b. Poly (ethylene terephthalate), PET: a review on the synthesis processes, degradation mechanisms and its recycling. Polı´meros: Cieˆncia e Tecnologia 19 (2), 121e132 (in Portuguese).

45. Rule, M., Shi, Y., Huang, X., 2001. Method to Decrease the Acetaldehyde Content of Melt-processed Polyesters United States Patent 6274212. Available: www.patents.com/us-6274212.html (accessed 16.10.11).

46. Safa, H.L., 1999. Sorptionedesorption of aromas on multi-use PET bottles. A test procedure. Packaging Technology and Science 12 (1), 37e44.

47. Sax, L., 2010. Polyethylene terephthalate may yield endocrine disruptors. Environmental Health Perspectives 118 (4), 445e448.

48. Schmid, P., Kohler, M., Meierhofer, R., Luzi, S., Wegelin, M., 2008. Does the reuse of PET bottles during solar water disinfection pose a health risk due to the migration of plasticisers and other chemicals into the water? Water Research 42 (20), 5054e5060.

49. Seroˆ dio, P., Nogueira, J.M.F., 2006. Considerations on ultra-trace analysis of phthalates in drinking water. Water Research 40 (13), 2572e2582.

50. Shao, B., Han, H., Hu, J., Zhao, J., Wu, G., Xue, Y., Ma, Y., Zhang, S., 2005. Determination of alkylphenol and bisphenol A in beverages using liquid chromatography/electrospray ionization tandem mass spectrometry. Analytica Chimica Acta 530 (2), 245e252.

51. Sheftel, V.O., 2000. Indirect Food Additives and Polymers: Migration and Toxicology. American Chemical Society, Boca Raton, USA.

52. Shotyk, W., Krachler, M., 2007. Contamination of bottled waters with antimony leaching from polyethylene terephthalate (PET) increases upon storage. Environmental Science and Technology 41 (5), 1560e1563.

53. Shotyk, W., Krachler, M., Chen, B., 2006. Contamination of Canadian and European bottled waters with antimony from PET containers. Journal of Environmental Monitoring 8 (2), 288e292.

54. Skjevrak, I., Brede, C., Steffensen, I.L., Mikalsen, A., Alexander, J., Fjeldal, P., Herikstad, H., 2005. Non-targeted multi-component analytical surveillance of plastic food contact materials: identification of substances not included in EU positive lists and their risk assessment. Food Additives & Contaminants: Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment 22 (10), 1012e1022.

55. Strube, A., Buettner, A., Groetzinger, C., 2009. Characterization and identification of a plastic-like off-odor in mineral water. Water Science and Technology: Water Supply 9, 299e309.

56. Sugaya, N., Nakagawa, T., Sakurai, K., Morita, M., Onodera, S., 2001. Analysis of aldehydes in water by head space-GC/MS. Journal of Health Science 47 (1), 21e27.

57. Tadmor, Z., Gogos, C.G., 2006. Principles of Polymer Processing. Wiley Interscience, Hoboken, New Jersey, USA.

58. Tombesi, N.B., Freije, H., 2002. Application of solid-phase microextraction combined with gas chromatographyemass spectrometry to the determination of butylated hydroxytoluene in bottled drinking water. Journal of Chromatography A 963 (1e2), 179e183.

59. Tombesi, N.B., Freije, R.H., Augusto, F., 2004. Factorial experimental design optimization of solid phase microextraction (SPME)

conditions for analysis of butylated hydroxytoluene (BHT) in bottled water. Journal of the Brazilian Chemical Society 15 (5), 658e663.

60. Toyo'oka, T., Oshige, Y., 2000. Determination of alkylphenols in mineral water contained in PET bottles by liquid chromatography with coulometric detection. Analytical Sciences 16 (10), 1071e1076.

61. Wagner, M., Oehlmann, J., 2011. Endocrine disruptors in bottled mineral water: estrogenic activity in the E-Screen. Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology 127 (1e2), 128e135.

62. Wagner, M., Oehlmann, J., 2009. Endocrine disruptors in bottled mineral water: total estrogenic burden and migration from plastic bottles. Environmental Science and Pollution Research 16 (3), 278e286.

63. Wegelin, M., Canonica, S., Alder, C., Marazuela, D., Suter, M.J.F., Bucheli, T.D., Haefliger, O.P., Zenobi, R., McGuigan, K.G., Kelly, M.T., Ibrahim, P., Larroque, M., 2001. Does sunlight change the material and content of polyethylene terephthalate (pet) bottles? Journal of Water Supply: Research and Technology e AQUA 50 (3), 125e133.

64. Welle, F., 2011. Twenty years of PET bottle to bottle recycling e an overview. Resources, Conservation and Recycling 55 (11), 865e875.

65. Welle, F., Franz, R., 2011. Migration of antimony from PET bottles into beverages: determination of the activation energy of diffusion and migration modelling compared with literature data. Food Additives and Contaminants e Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment 28 (1), 115e126.

66. Westerhoff, P., Prapaipong, P., Shock, E., Hillaireau, A., 2008. Antimony leaching from polyethylene terephthalate (PET) plastic used for bottled drinking water. Water Research 42 (3), 551e556.

67. Yang, C.Z., Yaniger, S.I., Jordan, V.C., Klein, D.J., Bittner, G.D., 2011. Most plastic products release estrogenic chemicals: a potential health problem that can be solved. Environmental Health Perspectives 119 (7), 982e996.

68. Zhang, H., Ward, I.M., 1995. Kinetics of hydrolytic degradation of poly(ethylene naphtalene-2,6-dicarboxylate). Macromolecules 28 (23),7622e7629.

69. Zweifel, H., 2001. In: Handbook of Plastic Additives, 5th ed. Verlag, C.H., Munich (Allemagne).

## پیوست ها

جدول ۷-۱ مشخصات روغن زیتون- مرجع مشابه

| شرح مشخصه | نتیجه آزمون | حدود قابل قبول مطابق استاندارد ۱-۱۳۷۳۷ |
|---|---|---|
| عدد یدی | ۸۴ | ۸۰-۸۸ |
| ضریب شکست در ۲۰ درجه سانتی‌گراد | ۱/۴۶۷۴ | ۱/۴۶۶۵ – ۱/۴۶۷۹ |
| اسیدیته بر حسب درصد اسید اولئیک | ٪ ۰/۴ | ٪ ۰/۵> |
| عدد پراکساید بر حسب $meq/Kg\ O_2$ | ۱ .۱ | حداکثر ۱۰ |
| مواد غیر قابل صابونی شدن | ۰/۲۵ | ٪ ۱> |
| عدد صابونی | ۱۹۰ | ۱۸۸-۱۹۳ |

جدول ۷-۲ مشخصات روغن آفتابگردان- مرجع مشابه

| شرح مشخصه | نتیجه آزمون | حدود قابل قبول مطابق استاندارد ۱-۱۳۷۳۷ |
|---|---|---|
| عدد یدی | ۱۳۸ | ۱۲۰-۱۴۵ |
| ضریب شکست در ۲۰ درجه سانتی‌گراد | ۱/۴۷۴۲ | ۱/۴۷۴ – ۱/۴۷۶ |
| اسیدیته بر حسب درصد اسید اولئیک | ٪۰/۳۵ | ٪ ۰/۵> |
| دانسیته در ۲۰ درجه سانتی‌گراد | ۰/۹۲۲ | ۰/۹۱۸ – ۰/۹۲۵ |
| مواد غیر قابل صابونی شدن | ۰/۱۵ | ٪ ۰/۵> |
| عدد صابونی | ۱۹۰ | ۱۸۸-۱۹۳ |

جدول ۷-۳ محلول‌های مدل غذایی پیشنهاد شده توسط اتحادیه اروپا

| غذاهای در تماس | محلول مدل غذایی (simulant) | مشخصه |
|---|---|---|
| فقط غذاهای آبگونه با pH بیشتر از ۴. ۵ | آب مقطر یا آب دیونیزه | مشابه A |
| فقط غذاهای اسیدی با pH کمتر از ۴. ۵ | اسید استیک ۳٪ ( وزنی – حجمی) | مشابه B |
| فقط غذاهای چرب | مخلوط استاندارد شده ای از تری گلیسیرید های مصنوعی، چربی ها و روغن های طبیعی | مشابه D |
| کلیه غذاهای آبگونه و اسیدی | | مشابه B |
| کلیه غذاهای ابگونه الکی | اتانول ۱۰ ٪ (حجمی – حجمی ) | مشابه C |
| کلیه غذاهای آبگونه و چرب | | مشابه A,D |
| کلیه غذاهای چرب و اسیدی | | مشابه B,D |



# بررسی عوامل موثر بر مهاجر مونومر بیسفنول A از روی بطری پلی اتیلن فرفتالات به داخل مشابه‌های غذایی

ارائه دهنده مقاله: اشرف حاج حسینی[1]
نویسندگان مقاله: کوروش رحمانی[2]، اشرف حاج حسینی، محمود رضا طاهری[3]
E-mail: kouroshrahmani@yahoo.com

چکیده:
یکی از واکنش هایی که بین ماده غذایی و ماده بسته بندی در تماس با آن صورت می گیرد مهاجرت اجزاء بسته بندی به داخل ماده غذایی است. اهمیت مطالعه این واکنش ها از این نظر است که برخی از ترکیبات مهاجرت کننده ممکن است از لحاظ سم شناسی سرطان زا بوده و ایمنی مصرف کننده را به خطر بیاندازد. در این مطالعه میزان مهاجرت بیسفنول A به داخل محلول غذایی مختلف با استفاده از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که روند مهاجرت با گذشت زمان و افزایش دما افزایش می یابد. میزان مهاجرت مونومر بیسفنول A به داخل مشابه های غذایی کمتر از حد تعیین شده استاندارد های اروپایی می باشد. که نشان دهنده ایمن بودن بسته بندی های PET از لحاظ مهاجرت ویژه، مورد استفاده برای انواع محصولات غذایی می باشد.

واژه‌های کلیدی: مهاجرت، بیسفنول A، پلی اتیلن ترفتالات، محلول مشابه غذایی

مقالات شفاهی

## Study on effective factor on Migration of bisphenol A from PET bottles into food simulant

Paper Presenter: Ashraf Haj Hosseini[1]
Paper Authors: kourosh rahmani[2], Ashraf Haj Hosseini, Mahmod Reaza taheri[3]

**Abstract:**
The migration of packaging material constituents into food is a product of the interaction between the food and packaging material. This phenomenon is of importance because some migrating substances may be toxicologically carcinogenic and endanger consumer safety.HPLC/UV chromatography was used to determine the migration of bisphenol A into food simulant. It was observed that the migration of bisphenol A increased over time and temperature. The amount of Bisphenol A migration into the food simulant was below the standard limit set by the European Commission for secure PET packaging used for all of kind food.

**Keywords**: Migration, Bisphenol A, Poly(ethylene terephthalate), food simulant

1,2,3 - Department of standard , Qazvin
۱،۲،۳- اداره کل استاندارد استان قزوین



# ارزیابی سطح مهاجرت کلی ترکیبات شیمیایی از انواع ظروف یکبار مصرف متداول به داخل مواد غذایی

ارائه دهنده مقاله: ایمان قجربیگی[1]
E-mail: payeshmarja@yahoo.com
نویسندگان مقاله: پیمان قجربیگی، اشرف حاج حسینی[2]، کوروش رحمانی[3]

**چکیده:**
هدف از این مطالعه تعیین و بررسی مهاجرت مواد شیمیایی به داخل ظروف پلیمری مختلف بود . تجزیه و تحلیل شامل ۶۰ نمونه از محصولا
بسته بندی شده در ظروف ساخته شده ازانواع پلیمر ها. نمونه ها به ۵ گروه تقسیم شدند: گروه ۱( N=۱۵ ) ظروف یکبار مصرف تولیدی از جن
پلی پروپیلن ، گروه ۲ ظروف یکبار مصرف تولیدی از جنس پلی استایرن ( N=۱۵) ، گروه ۳ (N=۱۵ ) ظروف یکبار مصرف تولیدی از جنس پ
اتیلن ترفتالات ، و گروه ۴ ( N=۵ ) ظروف یکبار مصرف گیاهی قابل تخریب و گروه ۵ ( N=۱۰) ظروف یکبار مصرف تولیدی از جنس پلی اتیا
. نمونه ها در سه محیط مشابه غذایی با سه PH مختلف ( شامل اسید استیک ۳ درصد ، اتانول ۱۰% و آب مقطر ) آزمایش شدند . میانگین سط
مهاجرت کلی در سه محیط PH در گروه یک ۳+۰/۵۱ mg/dm۲ و در گروه دو ۵+۰/۳۳ mg/dm۲ و در گروه سوم ۲+۰/۸۵ mg/dm۲
در گروه چهارم ۹+۰/۲۸ mg/dm۲ و در گروه پنجم ۴+۰/۶۴ mg/dm۲ بودند . بالاترین سطح مهاجرت در ظروف یکبار مصرف گیاهی و
ظروف از جنس و نوع ترکیب مواد اولیه غیر استاندارد بود .

**واژه‌های کلیدی:** مهاجرت ، ظروف ، مشابه غذایی ، ایمنی

مقالات شفاهی

# Evaluate the overall migration of chemical compounds used in food disposable containers

per Presenter: payman qajarbeigi[1]
per Authors: payman qajarbeigi, Ashraf Haj Hosseini[2], kourosh rahmani[3]

**ostract:**
ne purpose of this study was to investigate the migration of chemicals into plastic containers. Analysis of 60 samples of products ackaged in containers made of the types of polymers. The samples were divided into 5 groups: Group 1 (N = 15) crockery oduction of polypropylene, polystyrene manufacturing crockery Group 2 (N = 15), group 3 (N = 15) crockery Manufactured om polyethylene terephthalate, and Group 4 (N = 5) crockery can damage vegetation and Group 5 (N = 10) crockery production polyethylene. Food samples were similar in the three different PH (including %3 acetic acid, %10 ethanol and distilled water) ere tested. PH overall immigration levels in the environment in a mg / dm0.51 + 3 2, and the two mg / dm0.33 + 5 2 and the ird group 0.85 + 2 mg / dm2 and the fourth mg / dm0.28 + 9 2 and fifth in mg / dm0.64 + 4 2, respectively. The highest level immigration in disposable containers or containers made of herbal and non-standard composition of raw materials.

**eywords**: Migration, containers, food simulant, safety

۱و ۳- اداره کل استاندارد استان قزوین
۲- معاونت غذا و دارو دانشگاه علوم پزشکی استان قزوین
2,3 - Department of standard , Qazvin