Archive of SID

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال هشتم
شماره ۶، صفحه ۳۳۹-۳۴۴، ۱۳۸۳
ISSN : 1016-3255

مطالعه تغییرات خواص فیزیکی و مکانیکی بطری‌های PET طی مدت ماندگاری نوشابه‌های گازدار و اثر آن روی نفوذ گاز کربن دیوکسید

Study on the Variations in the Physico-mechanical Properties of PET Bottles During Shelf-life of Carbonated Beverages and its Effect on Permeation of CO_2

عبد الرسول ارومیه‌ای[۱*]، سید محمد علی ابراهیم‌زاده موسوی[۲]، احمد ربیعی[۱]، مهرداد بیگلری[۳]

۱ ـ تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

۲ ـ تهران، دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی، گروه صنایع غذایی، صندوق پستی ۳۱۵۸۵/۴۳۱۴

۳ ـ تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب، دانشکده تحصیلات تکمیلی

دریافت: ۸۲/۲/۲۱، پذیرش: ۸۳/۹/۱۷

چکیده

در این پژوهش تغییرات خواص فیزیکی، مکانیکی ونفوذپذیری گاز کربن دیوکسید از بطری‌های بسته‌بندی نوشابه پلی اتیلن ترفتالات (PET) مطالعه شده است. به این منظور تعدادی از بطری‌های پر از نوشابه بلافاصله بعدازتولید به مدت ۴/۵ ماه (مدت زمان ماندگاری) دردو دمای ۱۰ و ۲۰°C نگهداری شدند. به فاصله هردوهفته یکبار، در هردودما، دوبطری ازمحیط نگهداری خارج شده، خواص نوشابه نظیر چگالی، pH و همچنین فشارگاز کربن دیوکسید درون بطری‌ها اندازه گیری شد. پس از خالی کردن وشستشوی بطری‌ها، خواص مکانیکی نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری گردید. نتایج تغییر محسوسی در چگالی و pH نوشابه نشان نمی‌دهد، ولی میزان کاهش فشار گاز کربن دیوکسید در دمای ۲۰°C افزایش و پس از ۴ ماه به نصف مقدار اولیه کاهش یافته است. ارزیابی خواص مکانیکی نشان می‌دهد که مقاومت در برابر نیروهای مکانیکی خارجی، خاصیت انعطاف پذیری واستحکام پلی اتیلن ترفتالات در اثر واکنش‌های موجود بین نوشابه و بطری کاهش یافته است. از آنجا که مدول یانگ معیاری برای سنجش میزان استحکام است، کاهش این عامل پس از مدت زمان ماندگاری ۱۰ هفته‌ای، نشان‌دهنده کاهش میزان استحکام پلیمر است.

واژه‌های کلیدی

بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات، خواص فیزیکی ـ مکانیکی، نفوذپذیری، نوشابه‌های گازدار، مدت ماندگاری

Key Words

PET bottles, physico-mechanical properties, permeability, carbonated beverages shelf-life

مقدمه

سابقه استفاده ازپلیمرها به عنوان ماده بسته‌بندی مواد غذایی، به حدود یک قرن قبل باز می گردد. گرچه این مواد از نظر شیمیایی خنثی هستند، اما هنگامی که در تماس مداوم و طولانی با مواد غذایی قرار می گیرند، همواره واکنش‌هایی بین ماده بسته‌بندی و موادغذایی بسته‌بندی شده بوجود می‌آید. پلی اتیلن ترفتالات جزء پلیمرهای بسته‌بندی است که اخیراً بطور گسترده به عنوان ظروف نگهداری مواد غذایی در تولید بطری نوشابه‌های گازدار، آب معدنی، روغن مایع، عرقیجات گیاهی و سایر نوشیدنی‌ها مصرف می‌شود. گرچه این پلیمر بطور کلی خنثی و

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: A.Oromiehie@ippi.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

بی‌اثر است، ولی تماس مداوم در زمان‌های طولانی، باعث ایجاد کنش و واکنش هایی بین ماده غذایی و ماده بسته‌بندی می‌شود. این واکنش ها شامل نقل و انتقال ترکیبات و اجزای مختلف بین ماده غذایی، ماده بسته‌بندی و محیط اطراف است. بطوری که این واکنش ها علاوه بر تغییر طعم، کیفیت و سلامت ماده غذایی، خواص فیزیکی و مکانیکی ماده بسته‌بندی را نیز دستخوش تغییرات می کند [۱،۲]. این واکنش ها بطورکلی، به سه گروه دسته بندی می شوند:

مهاجرت، که شامل انتقال ترکیبات مختلف از ماده بسته‌بندی به درون ماده غذایی یا محیط اطراف است. مهاجرت در واقع فرایندی نفوذی است که به شدت تحت تأثیر واکنش های بین ماده بسته بندی و ماده غذایی قرار می گیرد، این واکنش ها خواص ماده بسته بندی نظیر استحکام مکانیکی را کاهش و تغییر می دهد. از طرفی مهاجرت ذرات وترکیبات مواد غذایی نظیر چربی ها به درون پلاستیک باعث افزایش تحرک اجزای پلاستیک و در نتیجه مهاجرت این اجزا به داخل ماده غذایی می شود.

در پژوهش هایی که تاکنون درباره مهاجرت از ظروف پلی‌اتیلن ترفتالات انجام گرفته است، مهاجرت کلی ترکیبات مختلف مورد نظر بوده است. در این پژوهش ها، ابتدا نمونه مورد آزمایش با ترکیبات بطور مصنوعی آلوده گردیده وسپس میزان ترکیبات مهاجرت یافته در محلول‌های شبیه سازی شده ردیابی می گردد [۳]. فرانز وهمکارانش درسال ۱۹۹۶ [۴] و پیرینگر وهمکارانش درسال ۱۹۸۸ [۵]، مهاجرت درفیلم‌های پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی تک لایه وسه لایه را مطالعه کرده‌اند، همچنین کار مشابهی توسط کومولپراسرت وهمکارانش در سال ۱۹۹۷ [۶] روی بطری‌های دو لیتری پلی اتیلن ترفتالات انجام گرفت. نتایج نشان داده است که شستشوی ظروف قبل از استفاده مجدد اثر بسزایی در کاهش میزان آلودگی ودر واقع میزان مهاجرت آنها دارد.

دسته دوم پدیده جذب است، که به انتقال اجزای ماده غذایی به درون ماده بسته‌بندی اطلاق می گردد. این اجزا اصولاً ترکیبات معطره فرار هستند. گرچه مهمترین اثر جذب، کاهش کیفیت عطر و طعم ماده غذایی است، ولی این پدیده روی خواص مکانیکی پلیمر نیز اثر می گذارد. در زمینه جذب دی‌لیمونین به وسیله پلی‌اتیلن ترفتالات و اثر ان روی خواص مکانیکی پلیمر، پژوهش هایی توسط تافیک و همکارانش درسال ۱۹۹۸ انجام شده است [۷].

اما دسته سوم نفوذ است، که شامل عبور مولکول ها و ترکیبات کوچکی از ماده غذایی از درون غشای پلیمری و انتقال آنها به فضای آزاد است. بطور کلی، تابعیت دمایی نفوذ گازها از قانون گاز آرنیوس پیروی می کند، بنابراین میزان نفوذپذیری با افزایش دمای محیط افزایش می یابد. نفوذپذیری اکسیژن در پلیمرهای الیاژی توسط کوبایاشی و همکارانش درسال ۱۹۹۵ [۸] وفیلم های متیل سلولوز توسط جانسون وهمکارانش درسال ۱۹۹۷ [۹] نمونه هایی از کارهای انجام شده در زمینه نفوذپذیری اند.

بررسی نفوذپذیری گازهای نیتروژن، آرگون، هلیم، اکسیژن و کربن دیوکسید روی فیلم های پلی استر توسط مک گانیگل و همکارانش درسال ۲۰۰۱ [۱۰] انجام شده و نتایج آن نشان داده است که نشر گازها نه فقط تحت تأثیر تغییرات فضای خالی و میزان آن در ابعاد مولکولی است، بلکه تحت تأثیر ساختار بلوری ماتریس نیز قرار دارد. بنابراین، نفوذپذیری یکی از مهمترین واکنش های بین نوشابه و بطری بسته‌بندی پلی‌اتیلن ترفتالات است. مقاومت این پلیمر در برابر نفوذ وخروج گاز کربن دیوکسید به علت نقش حیاتی این گاز در طعم‌دهی مطلوب به نوشابه و همچنین جلوگیری از تخمیر و فساد نوشابه اهمیت بسزایی دارد. بنابراین، ماندگاری نوشابه تحت تاثیر مستقیم میزان گاز موجود در نوشابه است.

در این پژوهش، تغییرات خواص فیزیکی، مکانیکی و نفوذپذیری گاز کربن دیوکسید در بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات مورد استفاده در بسته‌بندی نوشابه‌های گازدار بررسی شده است.

تجربی

مواد

دراین پژوهش به منظور هرچه واقعی‌تر کردن محیط آزمایش، بجای استفاده از محلول‌های شبیه‌سازی، مستقیماً از بطری‌های بسته بندی پلی اتیلن ترفتالات حاوی نوشابه‌های کولا و پرتقالی استفاده شده است. بدین منظور بطری‌های نوشابه در دو دمای ۱۰ و ۲۰°C بمدت ۴/۵ ماه نگهداری شدند و هر دو هفته یکبار درهر دما دو عدد بطری انتخاب و آزمایش ها روی آنها انجام شد.

دستگاه‌ها

دستگاه های استفاده شده در این پژوهش به قرار زیر است:

pH متر الکتریکی کورنینگ مدل ۲۴۰ برای اندازه‌گیری قدرت اسیدی محلول‌های نوشابه طی مدت ماندگاری، هیدرومتر برای اندازه‌گیری چگالی نوشابه طی مدت ماندگاری، فشارسنج برای اندازه‌گیری فشار درون ظروف بسته‌بندی و دستگاه کشش اینسترون مدل ۶۰۲۵ برای اندازه‌گیری پارامترهای مکانیکی مانند تنش، کرنش و مدول یانگ. سرعت حرکت فک‌ها در این ازمون ۵۰ mm/min تنظیم شد. همچنین، نیروی کشش و درصد ازدیاد طول اندازه گیری شدند.

روش‌ها

اندازه‌گیری چگالی و قدرت اسیدی محلول نوشابه و نفوذ پذیری گاز کربن دیوکسید از بطری های PET

چگالی نوشابه طی مدت ماندگاری به کمک هیدرومتر و تغییرات

www.SID.ir

Archive of SID

اسیدیته آن به وسیله pH متر اندازه‌گیری شد، همچنین فشار گاز کربن دیوکسید درون بطری‌ها نیز با وارد کردن فشارسنجی به درون بطری نوشابه از طریق درب آن اندازه‌گیری شد. کلیه این آزمایش‌ها در آزمایشگاه کنترل کیفی شرکت زمزم تهران انجام گرفت.

خواص مکانیکی

پارامترهای تنش، کرنش و مدول یانگ توسط دستگاه کشش و در شرایط آزمایشگاه طبق استاندارد بین المللی ASTM D 638M انجام گرفت. نمونه‌ها به ابعاد mm ۵ × ۳۵ از بطری پلی‌اتیلن ترفتالات بریده شدند و برای افزایش صحت و دقت آزمایش و گرفتن مقادیر متوسط از هر بطری، پنج نمونه آزمایش گردید. کلیه این آزمایش‌ها، در آزمایشگاه خواص مکانیکی پژوهشگاه پلیمرو پتروشیمی ایران انجام شد.

نتایج و بحث

خواص فیزیکی

با بررسی خواص مکانیکی نمونه‌ها هیچ‌گونه تغییرات محسوسی درقدرت اسیدی (pH) و چگالی نوشابه‌ها و تغییر رنگ بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات طی مدت نگهداری مشاهده نشده است. در جدول ۱ تغییرات pH نوشابه‌های کولا و پرتقالی در دماهای ۱۰ و ۲۰°C نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که در محیط تماس، واکنش شیمیایی

جدول ۱ ـ تغییرات pH نوشابه‌های کولا و پرتقالی در زمان ماندگاری در دماهای ۱۰ و ۲۰°C.

نمونه / زمان ماندگاری	کولا		پرتقالی	
	۱۰°C	۲۰°C	۱۰°C	۲۰°C
بعد از تولید	۲/۴	۲/۴	۲/۹	۲/۹
دو هفته	۲/۴	۲/۴	۲/۹	۲/۹
یک ماه	۲/۴	۲/۴	۲/۹	۲/۹
یک ماه و نیم	۲/۴	۲/۴	۲/۹	۲/۹
دو ماه	۲/۴۴	۲/۴۴	۲/۹۸	۲/۹۸
دو ماه و نیم	۲/۳۵	۲/۳۱	۲/۷۵	۲/۷۵
سه ماه	۲/۳۴	۲/۳۴	۲/۷۵	۲/۷۵
سه ماه و نیم	۲/۳۲	۲/۳۵	۲/۷۸	۲/۷۳
چهار ماه	۲/۳۵	۲/۳۶	۲/۷۵	۲/۷۵
چهار ماه و نیم	۲/۴	۲/۳۹	۲/۹۸	۲/۹۸

جدول ۲ ـ تغییرات خواص مکانیکی نمونه‌ها در دمای نگهداری ۱۰°C.

مدت نگهداری (هفته)	مدول یانگ (GPa)	کرنش تسلیم (٪)	تنش تسلیم (MPa)
دو	۳/۸۱	۵۵	۱۷۲/۱۴
چهار	۲/۸۲	۶۸/۰۵	۱۶۸/۳
شش	۲/۷۴	۶۶/۷۲	۱۷۳/۶۷۵
هشت	۳/۰۱	۶۳/۳۶	۱۷۳/۱۲۵
ده	۲/۸۹	۶۳/۰۸	۱۶۴/۰۴

ناخواسته‌ای انجام نشده است.

خواص مکانیکی

همانطور که نتایج جدول‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد، نیروی تنش بطری‌های پلی‌اتیلن ترفتالات طی مدت نگهداری ۱۰ هفته‌ای کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. این نتایج کاهش میزان مقاومت بطری‌ها در برابر نیروهای مکانیکی را پس از طی مدت ۱۰ هفته نشان می‌دهد. این کاهش نیز احتمالاً از تغییر ساختار پلی‌اتیلن ترفتالات در مدت زمان نگهداری ناشی می‌شود که طی مجموعه‌ای از واکنش‌های درون مولکولی مقداری استالدئید آزاد می‌گردد و باعث تغییر ساختار آن می‌شود.

اما، نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان تغییر کرنش نمونه‌ها در دو دمای ۱۰ و ۲۰°C (جدول‌های ۲ و ۳) ازدیاد طول نمونه‌ها را نشان می‌دهد. این ازدیاد طول بیانگر کاهش خواص مکانیکی ظروف پلی‌اتیلن ترفتالات طی مدت نگهداری است. درنتیجه بتدریج ازخاصیت انعطاف‌پذیری و کشسانی بطری‌ها دربرابر نیروهای وارد بر آن کاسته شده است.

میزان کاهش مدول یانگ در نمونه‌ها در جدول های ۲ و ۳ و شکل ۱

جدول ۳ ـ تغییرات خواص مکانیکی در دمای نگهداری ۲۰°C.

مدت نگهداری (هفته)	مدول یانگ (GPa)	کرنش تسلیم (٪)	تنش تسلیم (MPa)
دو	۳/۲۷	۵۷/۱	۱۷۹/۴
چهار	۳/۱۱	۶۴/۵۵	۱۶۶/۴۴
شش	۳/۲۴	۶۶/۱	۱۷۳/۶۴
هشت	۳/۳۸	۶۳/۳۱	۱۵۸/۸۴
ده	۲/۷۰	۶۵/۷	۱۷۶/۳۶

www.SID.ir

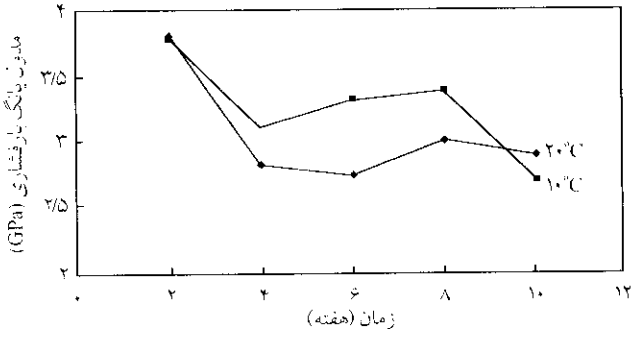
Archive of SID

جدول ۴ - تغییرات وزن بطری PET نوشابه‌های کولا و پرتقالی ۱/۵ لیتری در دمای ۲۰°C.

تغییرات وزن نمونه	نوشابه کولا			نوشابه پرتقالی		
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
*G (۰)	۱۶۰۱	۱۶۰۷	۱۶۰۶	۱۶۱۱	۱۶۱۷	۱۶۳۱
**N (۰)	۱۵۵۳/۳	۱۵۶۰/۴	۱۵۵۹/۱	۱۵۶۱/۳	۱۵۷۰/۲	۱۵۸۱/۵
G (۱)	۱۶۰۰	۱۶۰۶	۱۶۰۵	۱۶۱۰	۱۶۱۶	۱۶۳۰
G (۵)	۱۵۹۹	۱۶۰۶	۱۶۰۵	۱۶۱۰	۱۶۱۶	۱۶۳۰
G (۱۱)	۱۵۹۹	۱۶۰۶	۱۶۰۴	۱۶۱۰	۱۶۱۵	۱۶۲۹
G (۱۴)	۱۵۹۹	۱۶۰۶	۱۶۰۴	۱۶۰۸	۱۶۱۴	۱۶۲۸
G (۱۸)	۱۵۹۷	۱۶۰۵	۱۶۰۳	۱۶۰۸	۱۶۱۳	۱۶۲۷
G (۳۵)	۱۵۹۶	۱۶۰۳	۱۶۰۲	۱۶۰۷	۱۶۱۲	۱۶۲۷
درصد کاهش وزن در ۱ روز	۰/۰۶	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۳
درصد کاهش وزن در ۵ روز	۰/۱۲۸	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۶۳
درصد کاهش وزن در ۱۱ روز	۰/۱۲۸	۰/۰۶۴	۰/۱۲۸	۰/۰۶۴	۰/۱۲۷	۰/۱۲۶
درصد کاهش وزن در ۱۴ روز	۰/۱۲۸	۰/۰۶۴	۰/۱۲۸	۰/۱۹۰	۰/۱۹۰	۰/۱۸۹
درصد کاهش وزن در ۱۸ روز	۰/۲۵۷	۰/۱۲۸	۰/۱۹۲	۰/۱۹۰	۰/۲۵۵	۰/۲۵۳
درصد کاهش وزن در ۳۵ روز	۰/۳۲	۰/۲۵۶	۰/۲۵۶	۰/۲۵۶	۰/۳۱۸	۰/۲۵۳

*G: وزن ناخالص بطری، درب و محتویات آن قبل از گرمادهی درون اون (g) و **N: وزن ناخالص نمونه مورد آزمایش داخل بطری قبل از قرار دادن درون اون (g). اعداد داخل پرانتز نمایانگر واحد زمان بر حسب روز است.

بخوبی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود این کمیت دردو دمای ۱۰ و ۲۰°C سیر نزولی دارد. با توجه به اینکه مدول یانگ معیاری برای سنجش میزان استحکام مواد جامد است، بنابراین، کاهش یاد شده بوضوح بیانگر کاهش استحکام بطری‌ها طی مدت نگهداری است. در ضمن، افزایش دما باعث تغییر بیشتر عوامل مکانیکی شده است و این خود ناشی از افزایش میزان مهاجرت با افزایش دماست. بطور کلی این تغییرات، از تغییر ساختار مولکولی بطری‌های پلی اتیلن

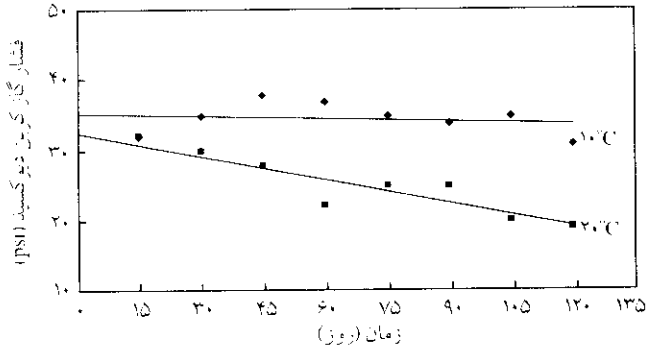


شکل ۱ - تغییرات مدول یانگ برحسب زمان در دماهای ۱۰ و ۲۰°C.

ترفتالات در اثر واکنش‌های بین نوشابه و پلیمر طی مدت زمان نگهداری آنها ناشی می‌شود.

میزان نفوذپذیری گاز کربن دیوکسید در بطری‌های PET

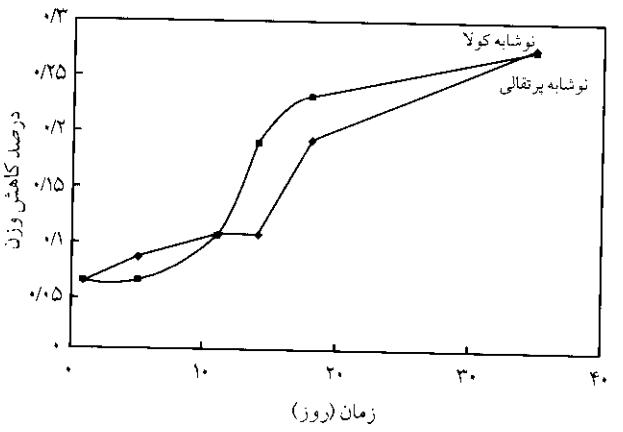
نتایج بدست آمده از اندازه گیری کاهش فشار گاز در بطری‌ها در



شکل ۲ - کاهش فشار گاز کربن دیوکسید در بطری‌های ۱/۵ لیتری پلی‌اتیلن ترفتالات در دماهای ۱۰ و ۲۰°C.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ ـ درصد کاهش وزن بطری PET نوشابه های کولا و پرتقالی در دمای ۲۰°C.

دماهای ۱۰ و ۲۰°C در شکل ۲، نشان می‌دهد که کاهش فشار گاز در دمای ۱۰°C چندان جدی نیست، ولی در دمای ۲۰°C کاهش فشار به شدت مشاهده می‌شود، بطوری که فشار گاز پس از مدت چهارماه به نصف کاهش می‌یابد. این کاهش فشار باعث خروج بیشتر گاز کربن دیوکسید از بطری ها می‌شود.

با توجه به عدم کاهش محسوس فشار در دمای ۱۰°C، درصد کاهش وزن نوشابه های کولا و پرتقالی در بطری ها در دمای ۲۰°C بررسی و نتایج آن در جدول ۴ و شکل ۳ گزارش شده است. این نتایج نشان می‌دهد که درصد کاهش وزن در ۱۰ روز اول افزایش ملایمی دارد وپس از آن درصد کاهش وزن باسرعت بیشتری افزایش می‌یابد. چنانچه انتظار می‌رود با افزایش زمان، گاز بیشتری از بطری ها خارج شده، در نتیجه افزایش کاهش وزن بیشتری ملاحظه می‌شود. شایان ذکر است، از آنجا که بسته بودن کامل درب بطری ها به وسیله عایق مطمئن مانند ورقه نازک آلومینیمی (فویل) و پارا فیلم درآزمایشگاه انجام گرفته است، بنابراین کاهش وزن یا خروج گاز کربن دیوکسید از دیواره بطری ها محرز است.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان می دهد،گرچه قدرت اسیدی نوشابه وخواص آن از جمله چگالی در طول مدت ماندگاری تغییری نکرده است، ولی در اثر واکنش های موجود بین نوشابه و بطری های پلی اتیلن ترفتالات (تغییر ساختار مولکولی و درونی پلیمر) تمامی عوامل مکانیکی تغییر کرده، این تغییرات همگی در مسیر کاهش خواص مکانیکی پلیمر نظیر مقاومت در برابر نیروهای مکانیکی خارجی، خاصیت انعطاف پذیری واستحکام پلی اتیلن ترفتالات است. از آنجا که مدول یانگ معیاری برای سنجش میزان استحکام است، کاهش این پارامتر پس از مدت زمان ماندگاری ۱۰ هفته ای، نشان دهنده کاهش میزان استحکام پلیمر است.

در ضمن، نتایج نشان می دهد که با افزایش دما میزان کاهش عوامل مکانیکی نیز افزایش است. افزون بر این، مشاهده می گردد که همزمان با کاهش خواص یاد شده، میزان کاهش فشار گاز کربن دیوکسید افزایش یافته، در واقع میزان نفوذپذیری گاز کربن دیوکسید با کاهش خواص مکانیکی افزایش یافته است.

ازسوی دیگر با افزایش دما، خروج گاز کربن دیوکسید افزایش یافته بطوری که پس از چهارماه به نصف مقدار اولیه کاهش یافته است. ولی، نوع نوشابه اعم از کولا یا پرتقالی اثری در مقدار خروج گاز کربن دیوکسید ندارد. کاهش وزن نمونه ها طی مدت نگهداری نیز تأییدی بر کاهش استحکام و تغییر ساختار بطری های پلی اتیلن ترفتالات است.

مراجع

1. Risch S.J. and Hotechkiss J.H., Food and Packaging Interactions, ACS, Washington, DC, Chap.2, 1991.
2. Gnasekharan V. and Floros J. D., Migration and Sorption Phenomena in Packaged Foods, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **37**, 519-559, 1997.
3. Pennarum P.Y., Dole P. and Feigenbaum A., Over Estimated Diffusion Coefficients for the Prediction of Worst Case Migration from PET: Application to Recycled PET and to Functional Barriers Assessment, *Package. Technol. Sci.*, **17**, 307-320, 2004.
4. Franz R., Huber M. Piringer O.G., Damant A. P., Jickells and Castle L., Study of Functional Barrier Properties of Multilayer Recycled Poly (ethylene terephthalate) Bottles for Soft Drinks, *J. Agricultural and Food Chem.*, **44**, 892-897, 1996.
5. Piringer O., Franz R., Huber M., Begley T.H. and Mcneal T.P., Migration from Food Packaging Containing a Functional Barrier: Mathematical and Experimental Evaluation, *J. Agricultural and Food Chem.*, **46**, 1532-1538, 1998.
6. Komolprasert V. and Lawson A.R., Considerations for Reuse of Poly(ethylene terephthalate) Bottles in Food Packaging: Migration Study, *J. Agricultural and Food Chem.*, **45**, 444-448, 1997.

www.SID.ir

Archive of SID

7. Tawfic M.S., Devlieghere F. and Huyghebaret A., Influence of D-limonene Absorption, *J. Agricultural and Food Chem.*, **61**, 157-162, 1998.

8. Kobayashi M., Kanno T., Hanadak. and Sanai S., Permeability and Diffusivity of D-limonene Vapor in Polymeric Sealant Films, *J. Food Sci.*, **60**, 205 -209, 1995.

9. Johansson F. and Leufven A. Concentration and Interactive Effects on the Sorption of Aroma Liquids and Vapors into Polypropylene, *J. Food Sci.*, **62**, 355-358, 1997.

10. McGonigle, E-A., Liggat, J.J., Pethrick, R.A., Jenkins, S.D., Daly, J.H., and Hayward, D., Permeability of N_2, Ar, He, O_2 and CO_2 through Biaxially Oriented Polyester Films, *Polymer*, **42**, 2413-2426, 2001.