

مدلسازی ضریب انتشار مولکولهای معطر در فیلم های پلاستیکی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

بهداد بلوری^{*۱} سید محمد ابراهیم زاده موسوی^۲ عبدالرسول ارومیه ای^۳ حسن لامع^۴

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۴

چکیده

جذب ترکیبات معطر در بسته بندیهای پلاستیکی و انتشار این ترکیبات سبب کاهش غلظت این ترکیبات در ماده غذایی می شود و بدنبال آن ماندگاری و بازارپسندی مواد غذایی را کاهش می دهد که این امر موجب زیانهای اقتصادی فراوانی می شود بنابراین بررسی عوامل موثر بر پدیده انتشار این ترکیبات در پلیمرها جهت به حداقل رساندن اثرات منفی این پدیده اهمیت فراوانی دارد. در پژوهش حاضر از مدلسازی به روش شبکه عصبی جهت پدیده انتشار پلیمرها در ترکیبات معطر استفاده شده است. مدل مذکور تاثیر عوامل موثر بر این پدیده شامل عوامل محیطی، ساختار ترکیبات معطر و ساختار پلیمرها را در نظر می گیرد و قادر به ارائه ضریب انتشار است. این مدل قابلیت پیش بینی ضریب انتشار ترکیبات معطر در بسته بندی های پلی اتیلن با دانسیته بالا را دارد. عصاره های نوشابه ها، عرقیات، کنسرتو های میوه جات و بسیاری فرآورده های غلیظ دیگر در بسته های پلی اتیلن با دانسیته بالا عرضه می شوند. مدل ارائه شده قادر به محاسبه ماندگاری و شرایط بهینه نگهداری این محصولات می باشد ضمن اینکه از پرداخت هزینه های گزاف جهت اندازه گیری تجربی ضریب انتشار جلوگیری می شود. دامنه کاربری این مدل در محدوده دسته ترکیبات معطر مورد استفاده عالی است که از ویژگی های مدلسازی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی می باشد.

واژه‌های کلیدی: بسته بندی پلاستیکی، ترکیبات معطر، شبکه های عصبی مصنوعی، ضریب انتشار، مدلسازی، نفوذ پذیری

مقدمه

مطالعه واکنش های متقابل این ترکیبات و پلیمر های بسته بندی از اهمیت فراوانی برخوردار است. امکان وقوع واکنش های متعددی در طی نگهداری یک ماده غذایی وجود دارد بعنوان مثال پدیده نفوذ پذیری که عبارتست از جذب و انتشار ترکیبات معطر در پلیمرهای بسته بندی (Pieper, 1995). پدیده اخیر در بسته بندی عصاره های حاوی ترکیبات معطر مانند عرقیات گیاهی، عصاره نوشابه ها، عصاره میوه ها و ... حائز اهمیت فراوانی است. درجه بلورینگی در پلیمرهای نیمه بلورینه نقش بسیار مهمی در نفوذ پذیری ایفا می کند. افزایش درجه بلورینگی سبب کاهش حلالیت و انتشار گاز می شود و به دنبال آن نفوذ پذیری کاهش می یابد. افزایش بلورینگی در پلی اتیلن و نایلون ۶ به دو برابر سبب کاهش نفوذ پذیری به اکسیژن به میزان ۵ برابر می شود (Letinski, 1992). افزایش در اندازه مولکول نفوذ کننده که به صورت متوسط قطر و حجم مولی یک مولکول نفوذ کننده در یک سری از مولکول های نفوذ کننده که ساختار شیمیایی مشابهی داشته باشند تعریف می شود منجر به افزایش ضریب حلالیت و کاهش ضریب انتشار می شود. ضریب انتشار و نفوذ پذیری

امروزه ارتباط کیفیت مواد غذایی با بسته بندی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. بسته بندی بر کیفیت ماده غذایی و به دنبال آن پذیرش محصول غذایی تاثیر مهمی دارد. کیفیت ماده غذایی از نظر مصرف کننده صفاتی مانند عطر و طعم، رنگ و بافت می باشد درحالیکه معیار اصلی کیفیت یک ماده غذایی عطر و طعم می باشد. ترکیبات معطر تمایلی قوی نسبت به اغلب پلیمرها دارند از اینرو

۱ دانش آموخته دوره دکتری تخصصی صنایع غذایی دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران
(*) نویسنده مسئول: (Email: bbolouri@gmail.com)

۲ دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشکده مهندسی بیوسیستم کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج

۳ دانشیار گروه پلاستیک، پژوهشکده فرآیند، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران

۴ استاد دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

مواد و روش‌ها

جهت مدلسازی ضریب انتشار ترکیبات معطر در پلاستیک‌ها از مدلسازی با استفاده از شبکه‌های عصبی استفاده شده است که قادر به پیش‌بینی ضریب انتشار در پلیمرها تحت شرایط کاربردی می‌باشد. ویژگی خاص مدل حاضر توانایی مدلسازی فرایند انتشار در تمامی پلی‌الفین‌ها و پلیمرهای نیمه بلوری است. در پژوهش حاضر ارائه یک مدل عمومی مدنظر می‌باشد که قادر باشد تمامی فاکتورهای اصلی موثر در پدیده نفوذپذیری را به یکدیگر مربوط سازد و ضمناً متغیر مفیدی که دارای کاربرد صنعتی است یعنی ضریب انتشار مولکول معطر از آن استخراج شود. به همین دلیل متغیرهای مربوط به پلیمر، مولکول عبور کننده و متغیرهای محیطی که نقشی اساسی در این زمینه دارند گزینش و اندازه‌گیری شده‌اند. درصد بلورینگی پلیمر به عنوان متغیر اصلی مربوط به پلیمر انتخاب شد. شکل و اندازه مولکول دو متغیر اصلی مربوط به مولکول عبور کننده می‌باشند که بعنوان دو ورودی دیگر به شبکه انتخاب شدند و متغیرهای محیطی منتخب که بر ضریب انتشار اثر می‌گذارند رطوبت نسبی و دما می‌باشند. متغیر خروجی استنتاجی مد نظر ضریب انتشار می‌باشد. همبستگی قوی بین این متغیرها و ضریب انتشار براساس پژوهش‌های علمی که به آنها در قسمت‌های ابتدایی اشاره شد وجود دارد. شبکه عصبی توسعه یافته با دریافت این متغیرهای اندازه‌گیری شده برای سامانه پلیمر و مولکولهای معطر عبور کننده آموزش می‌بیند و زمانی که براساس شاخص‌های کارایی شبکه به حد بالایی از دقت رسید قادر خواهد بود تا جهت هر سامانه پلیمری و مولکول معطر عبور کننده دیگر متغیرهای ورودی مربوطه شامل درصد بلورینگی، شکل مولکول عبور کننده، اندازه مولکول عبور کننده، رطوبت نسبی و دما را دریافت کرده و ضریب انتشار مولکول عبور کننده جهت این سامانه را ارائه کند. شبکه عصبی در نظر گرفته شده دارای لایه ورودی با ۵ نرون جهت ۵ متغیر معرفی شده و لایه خروجی با ۱ نرون جهت ضریب انتشار می‌باشد (شکل ۱).

شبکه‌های عصبی مصنوعی چند لایه پیش‌خور روش مناسبی برای مدلسازی محسوب می‌شوند. در این پژوهش نیز از شبکه‌های عصبی چند لایه با روش یادگیری پس انتشار خطا استفاده شد. این شبکه‌ها عموماً به الگوریتم پس انتشار خطا مشهورند. در این روش خطای خروجی مدل به عقب و به داخل برگردانده می‌شود تا وزن‌های لایه‌های پنهان تنظیم گردد و با تصحیح پیوسته خطا وزن‌های مناسب بدست می‌آید. برای تعیین بهترین شبکه از معیار متوسط مربع خطای داده‌ها استفاده شد. انواع شبکه با تعداد نرون‌های متفاوت در نرم افزار آموزش داده شد.

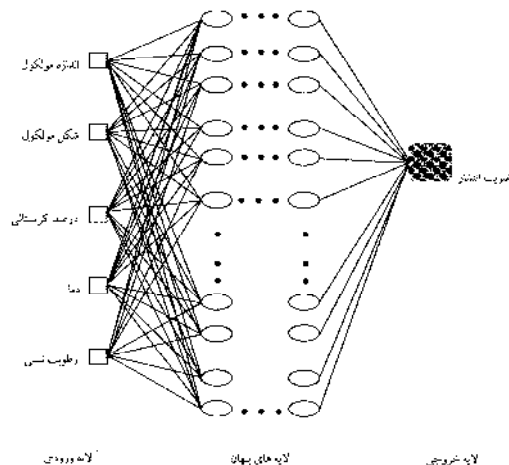
مولکولهای خطی نسبت به مولکولهای کروی بیشتر است و تغییرات کوچکی در شکل می‌تواند تفاوت‌های بزرگی را در نفوذپذیری ایجاد کند به عنوان نمونه نفوذپذیری پلی اتیلن به ارتو زایلن بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از پارا زایلن است. تاثیر شکل ملکول بر ضریب انتشار در پلیمرهای بی شکل کمتر از پلیمرهای بلورینه است (Mason 1992). تقریباً در تمامی موارد پدیده نفوذپذیری به وسیله مراحل حلالیت و انتشار کنترل می‌شود. ضریب انتشار شاخصی از سرعت حرکت مولکول‌ها در پلیمر می‌باشد در حالی که ضریب حلالیت شاخصی از تعداد مولکول‌های عبور کننده است که انتشار می‌یابد (Pasternak, 1970). زمانیکه پلیمرهای آبدوست مانند اتیلن وینیل الکل در محیطی واجد رطوبت نسبی پایین قرار بگیرند پیوند‌های هیدروژنی بین زنجیره‌ها باعث کاهش تحرک اجزاء زنجیره‌ها می‌شود و ضریب انتشار کاهش می‌یابد و در هنگامیکه رطوبت بالا است آب جذب شده باعث نرم شدن لایه‌های آبدوست می‌شود و نهایتاً نیروهای پیوستگی بین زنجیره‌ها کاهش می‌یابد که به نوبه خود سبب افزایش تحرک زنجیره‌ها می‌گردد و در نتیجه موجب افزایش قابل ملاحظه‌ای در انتشار می‌شود در حالیکه در پلی‌الفین‌ها که نسبتاً غیر قطبی هستند رطوبت نسبی بالا اثر چندانی نخواهد داشت. با وجود این در بعضی پژوهش‌ها نتایج عکس و یا نتایج بی‌اثر بر نفوذپذیری بدست آمده است. دلاسون و همکاران (DeLassus, 1988) پس از ارزیابی اثر رطوبت نسبی بر نفوذپذیری ترانس-۴ هگزانال در کوپلیمر وینیل دی‌ان کلراید هیچ تغییری را مشاهده نکردند. لاندوآ و همکاران (Landois-Garza, 1988) کاهش نفوذپذیری اتیل پروپیونات را همراه با افزایش رطوبت نسبی در پلی وینیل الکل گزارش کردند. یوهانسن و لوین (Johansson, 1994) اثر رطوبت بر نفوذپذیری الکل‌ها و آلدئیدها در پلی‌الفین‌ها را بررسی کردند. بر این اساس افزایش رطوبت موجب کاهش انتشار الکلها و افزایش انتشار آلدئیدها می‌شود. شیمودا و همکاران (Shimoda, 1987) اثر تعداد اتم کربن مولکول‌های معطر بر نفوذپذیری فیلم‌های پلی اتیلنی را نسبت به الکانها، اتیل استرها و آلیفاتیک، آلدئیدها و الکلها مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس این پژوهش افزایش تعداد اتم کربن در مولکول‌های معطر باعث افزایش ضریب نفوذپذیری می‌شود. در پژوهش‌های اخیر نوع پلیمر، دما، اثر اندازه و شکل مولکول عبور کننده بطور محدود مورد بررسی قرار گرفته‌اند ولی هیچ مدل عمومی که تمامی فاکتورهای موثر بر ضریب انتشار را توصیف کند ارائه نشده است و صرفاً یک یا دو پارامتر مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این پژوهش ارائه مدل شبکه عصبی مصنوعی است که قادر به پیش‌بینی ضرایب انتشار مولکولهای معطر در فیلم‌های پلیمری باشد.

یک گاز بی اثر تامین میشود. غلظت گاز منتشره را می توان بوسیله آنالیز شیمیایی، کروماتوگرافی گازی، هدایت گرمایی و الکترودهای ویژه در سوی دیگر اندازه گیری کرد (Gavara, 1992). این دستگاه قادر به اندازه گیری مداوم شدت جریان عبوری از زمان صفر تا مرحله ایستا می باشد و از آشکارساز یونیزاسیون شعله ای جهت ارزیابی کمی ترکیبات عبوری استفاده می شود. دما و شدت جریان در آشکارساز قابل تنظیم می باشد. برای تولید بخار مولکول عبور کننده با غلظت ثابت و دلخواه جهت انتقال به محفظه غلظت بالای سل دستگاه از فرایند تولید حباب بوسیله ورود گاز نیتروژن به محلول مولکول نفوذ کننده استفاده شد. به این منظور محلول مولکول نفوذ کننده در داخل یک دستگاه حباب ساز مدل کونتزفریتد میدجت^۱ قرار گرفت سپس بخار تولیدی با جریان دیگری از نیتروژن خالص مخلوط شد. جهت تنظیم جریان و اختلاط مناسب از شیرهای سوزنی و روتامتر استفاده شد. پس از تنظیم شدت جریان گاز، دما و سیگنال دستگاه حجم هایی در حد $۵۰ \pm ۰.۰۰۱ \mu\text{L}$ از بخار تولیدی از محل نمونه گیری که بین دستگاه تولید بخار و سل می باشد گرفته شد و مستقیماً به آشکارساز منتقل شد، سپس پاسخ آشکارساز به پیکو امپر در مقابل مقدار مولکول عبور کننده به میکروگرم رسم شد تا منحنی کالیبراسیون بدست آید. از دستگاه کروماتوگرافی گازی با ستون کروماتوگرافی موئین سیلیکا ($۳۲\text{mm} \times ۰.۶\text{m}$) با فاز ثابت قطبی (سوپلکو واکس ۱۰) و گاز هلیوم به عنوان گاز حامل با شدت جریان $۱/۵ \text{ml/min}$ ، هیدروژن با ۴۰ml/min ، هوا با ۴۰۰ml/min و نیتروژن با ۳۰ml/min استفاده شد. دمای ستون ابتدا به ۶۰°C بمدت یک دقیقه رسانده شد و سپس با آهنگ گرمایشی ۵°C/min به ۲۰۰°C رسانده شد. دمای آشکار ساز در ۲۵۰°C تنظیم شد. هر آزمایش تا رسیدن به وضعیت ایستا ادامه یافت و سپس ضرایب انتشار از منحنی های بدست آمده استخراج شد (شکل ۲).

نتایج و بحث

با استفاده از روش هم فشار و دستگاه آروماترن ضریب انتشار پلیمر پلی اتیلن سنگین در دماهای ۳۵.۲۵ و ۵۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۲۰ ، ۵۰ و ۸۰ درصد نسبت به مولکول های معطر معین اندازه گیری شد (جدول ۱).

بدست آوردن تعداد چرخه های آموزش مناسب یک شبکه آزمایشی دو لایه با تعداد نرون های لایه پنهان متغیر از (۲ تا ۶۰ نرون) با تعداد چرخه های ۵۰ ، ۱۵۰ ، ۲۵۰ ، ۵۰۰ ، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ آموزش داده شد. نتایج نشان میدهد که تعداد چرخه های آموزش ۱۰۰۰



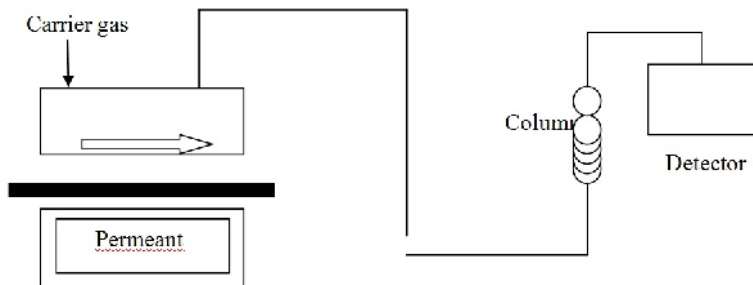
شکل ۴ شماتیک مدل شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده

استفاده از داده های اعتبار سنجی روش قدرتمندی برای توقف آموزش در نقطه تعمیم بهینه بوده و باعث کاهش خطاهای آزمایشی شده و از آموزش بیش از حد و حفظ کردن داده های آموزشی جلوگیری به عمل می آورد. آموزش زمانی که عملکرد در داده های اعتبار سنجی شروع به کاهش می کند می بایست متوقف گردد. مقدار MSE (میانگین مربعات خطا) داده های آموزشی سپس برای ارزیابی عملکرد شبکه به کار برده شد. برای توسعه مدلها ابتدا داده ها بطور تصادفی در آمده و سپس به سه دسته تقسیم شدند: ۷۰ درصد برای آموزش شبکه، ۱۰ درصد برای اعتبار سنجی و دسته سوم برابر ۲۰ درصد برای آزمون شبکه در نظر گرفته شد. در طی مرحله آموزش مونتوم شبکه در مقدار $۰/۸$ در نظر گرفته شد. سرعت یادگیری شبکه جهت لایه پنهان یک و جهت لایه خروجی $۰/۸$ بدست آمد. قانون یادگیری بکاررفته از نوع قانون دلتا اصلاح شده می باشد. تابع انتقال در لایه های پنهان از نوع مماس هذلولی و در لایه خروجی خطی می باشد. برای مدلسازی از نرم افزار نتورال ورکس پروفشنال (شرکت نتورال ور) بر روی یک کامپیوتر پنتیوم دو استفاده شد. در بخش آزمایشگاهی شانزده مولکول معطر بر اساس گروه شیمیایی مربوطه، اندازه مولکول، شکل مولکول و میزان حضور در روغن های اسانسی از شرکت فلوکا و آلدیخ تهیه شدند. فیلم پلی اتیلن با دانسیته بالا با ضخامت $۱۰ \times ۰/۵۵ \text{ cm}^2$ و درجه بلورینگی ۸۰% انتخاب گردید. برای اندازه گیری ضرایب انتشار از سامانه آزمون نفوذ پذیری آروماترن مدل 1A ساخت شرکت موکون از کشور امریکا استفاده گردید. در این روش یک اختلاف فشار نسبی جزئی از گاز مورد نظر بدون اختلاف در فشار کل در دو سوی فیلم ایجاد می شود. اختلاف فشار جزئی نسبی ایجاد شده از طریق جارو کردن همزمان یک سوی فیلم بطور مداوم با نمونه گاز مورد نظر و جارو کردن طرف دیگر با

1 Kunz fritted midjet

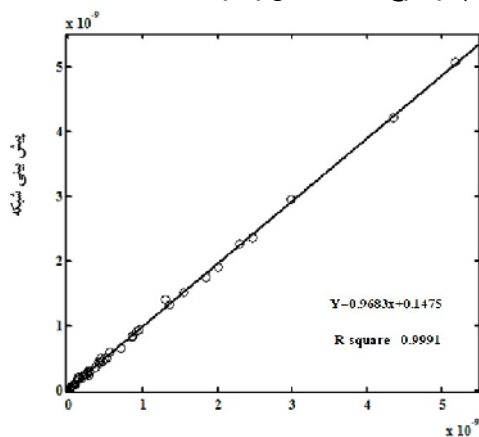
ورودی، ۳۰ نرون در لایه پنهان اول، ۱۵ نرون در لایه پنهان دوم و یک خروجی بهترین نتیجه را برای پیش بینی ارائه می‌کند.

بهترین دقت را دارد و همچنین از آموزش بیش از حد شبکه نیز جلوگیری به عمل می‌آید. نتایج عملکرد شبکه نشان می‌دهد از بین شبکه‌های دو لایه توپولوژی ۵-۳۰-۱۵ یعنی شبکه‌ای با ۵



شکل ۴ روش هم فشار

پدیده نفوذ پذیری پلیمرها نسبت به ترکیبات معطر نتایج خوبی را ارائه می‌کند. این مدل قابلیت پیش بینی ضریب انتشار را در بسته بندی‌های پلی اتیلن با دانسیته بالا دارد. عصاره‌های نوشابه‌ها، عرقیات، کنسانتره‌های میوه جات و بسیاری فرآورده‌های غلیظ دیگر در بسته‌های پلی اتیلن با دانسیته بالا عرضه می‌شوند و کیفیت در این محصولات یعنی عطر و طعم. تا کنون مدلی عمومی جهت برآورد ماندگاری این فرآورده‌ها موجود نبود، مدل ارائه شده قادر به پیش بینی ضریب انتشار این ترکیبات و در نتیجه محاسبه ماندگاری و شرایط بهینه نگهداری این محصولات می‌باشد ضمن اینکه از پرداخت هزینه‌های گزاف جهت اندازه‌گیری تجربی پارامتر مورد نظر جلوگیری می‌شود. دامنه کاربری این مدل در محدوده دسته ترکیبات معطر مورد استفاده عالی است که از ویژگی‌های مدلسازی با استفاده از شبکه‌های عصبی می‌باشد. مدل مذکور با اصلاحات اندکی قابلیت بکارگیری در جهت عکس یعنی نفوذ بخارات و ترکیبات آلی مانند جوهر چاپ از خارج بسته به داخل را دارد.



داده‌های آزمایشی

شکل ۴ میزان دقت پیش بینی توسط شبکه آموزش داده شده

برای درک بهتر از عملکرد شبکه نمودار خروجی شبکه در برابر داده‌های آزمایشگاهی در شکل ۳ نشان داده شده است. تاکنون مدل شبکه عصبی جهت مدل سازی ضریب انتشار مولکول‌های معطر در منابع علمی به جز مدل حاضر ارائه نشده است بنابراین نمی‌توان مقایسه‌ای جهت کارایی شبکه عصبی این پژوهش با کار سایر محققین انجام داد ولی به عنوان نمونه کارایی این شبکه با چند شبکه توسعه داده شده توسط سایر پژوهشگران جهت سایر کاربردهای علمی مقایسه می‌شود. مک آووی و همکاران (1992) (McAvoy) از شبکه‌های عصبی به عنوان حسگرهای نرم افزاری در فرایندهای زیستی مانند حسگر توده زیستی استفاده کردند. در این پژوهش پیش بینی کسر مولی مخلوط بیومولکول‌های تیروزین و تریپتوفان از طیف فرکانسی آنها تحت شرایط عملیاتی بیوراکتور مدنظر بود. خطای این شبکه در هنگام مقایسه مقادیر پیش بینی شده و اندازه‌گیری شده حدود ۳٪ به دست آمد. در پژوهش دیگری یک مدل شبکه عصبی جهت پیش بینی داده‌های مربوط به شدت واکنش یک واکنش ایزومریزاسیون توسط بافمن توسعه داده شد. این مدل قادر به دریافت فشار نسبی هیدروژن، # پتن و ایزوپنتان به عنوان ورودی و شدت واکنش به عنوان خروجی می‌باشد. خطای این شبکه حدود ۶٪ برآورد شده است (Baughman, 1995). در مقایسه تنها مدلی که در منابع علمی موجود است مدل ای.ال.بندر میباشد که با استفاده از مجموعه روش‌های مشارکت گروه‌ها که شامل روش‌های ترمودینامیکی و نیمه تجربی جهت تخمین خواص فیزیکی شیمیایی میباشد در کاری پژوهشی ضریب انتشار مولکول‌های معطر از گروه‌های مختلف شیمیایی را برای تعدادی پلیمر شامل پلی اتیلن، پلی اتیلن ترفتالات، نایلن ۶ و پی‌وی سی تخمین زد (Risch, 2000). مدل ارائه شده در این پژوهش توانایی ارائه ضریب انتشار را در حد خوبی دارد و با در نظر گرفتن تمامی عوامل شناخته شده موثر در

جدول ۴ ضریب انتشار اندازه گیری شده برای ترکیبات معطر در شرایط تعریف شده

ضریب انتشار (cm ² /s)	اندازه (حجم مولی) (ml/mol)	شکل (نسبت حجم به سطح) (nm)	بلورینگی پلی اتیلن با دانسیته بالا (%)	دما (°C)	رطوبت نسبی (%)	ترکیب معطر
۴/۶×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۹	۰/۶۲۳	۷۰	۲۰	۲۰	دی فنیل اکسید
۷/۱×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۹	۰/۶۲۳	۷۵	۳۵	۵۰	دی فنیل اکسید
۱۵/۵×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۹	۰/۶۲۳	۸۰	۵۰	۸۰	دی فنیل اکسید
۸/۶×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۰	۰/۴۹۷	۷۰	۲۰	۲۰	ایزوامیل استات
۱۴/۴×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۰	۰/۴۹۷	۷۵	۳۵	۵۰	ایزوامیل استات
۲۹/۸×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۰	۰/۴۹۷	۸۰	۵۰	۸۰	ایزوامیل استات
۱/۴×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۴	۰/۷۵۳	۷۰	۲۰	۲۰	یوژنول
۲/۶×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۴	۰/۷۵۳	۷۵	۳۵	۵۰	یوژنول
۵/۱×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۴	۰/۷۵۳	۸۰	۵۰	۸۰	یوژنول
۰/۵۹×۱۰ ^{-۳۱}	۱۷۴	۰/۵۹۵	۷۰	۲۰	۲۰	منتول
۱/۹×۱۰ ^{-۳۱}	۱۷۴	۰/۵۹۵	۷۵	۳۵	۵۰	منتول
۴/۱×۱۰ ^{-۳۱}	۱۷۴	۰/۵۹۵	۸۰	۵۰	۸۰	منتول
۲/۵×۱۰ ^{-۳۱}	۱۲۰	۰/۶۱۲	۷۰	۲۰	۲۰	فنیل اتیل الکل
۴/۹×۱۰ ^{-۳۱}	۱۲۰	۰/۶۱۲	۷۵	۳۵	۵۰	فنیل اتیل الکل
۹/۲×۱۰ ^{-۳۱}	۱۲۰	۰/۶۱۲	۸۰	۵۰	۸۰	فنیل اتیل الکل
۰/۴۵×۱۰ ^{-۳۱}	۱۹۴	۰/۴۱۲	۷۰	۲۰	۲۰	آن دلاکتون
۱/۳×۱۰ ^{-۳۱}	۱۹۴	۰/۴۱۲	۷۵	۳۵	۵۰	آن دلاکتون
۲/۷×۱۰ ^{-۳۱}	۱۹۴	۰/۴۱۲	۸۰	۵۰	۸۰	آن دلاکتون
۱۳×۱۰ ^{-۳۱}	۱۱۸	۰/۵۲۵	۷۰	۲۰	۲۰	سیس-۳ هگزینول
۲۰×۱۰ ^{-۳۱}	۱۱۸	۰/۵۲۵	۷۵	۳۵	۵۰	سیس-۳ هگزینول
۴۳/۶×۱۰ ^{-۳۱}	۱۱۸	۰/۵۲۵	۸۰	۵۰	۸۰	سیس-۳ هگزینول
۰/۴۶×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۵	۰/۵۲۱	۷۰	۲۰	۲۰	دی متیل بنزیل
۱/۴×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۵	۰/۵۲۱	۷۵	۳۵	۵۰	دی متیل بنزیل
۲/۹×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۵	۰/۵۲۱	۸۰	۵۰	۸۰	دی متیل بنزیل
۰/۳۵×۱۰ ^{-۳۱}	۱۸۲	۰/۵۷۶	۷۰	۲۰	۲۰	سیترونلول
۰/۹۶×۱۰ ^{-۳۱}	۱۸۲	۰/۵۷۶	۷۵	۳۵	۵۰	سیترونلول
۱/۸۹×۱۰ ^{-۳۱}	۱۸۲	۰/۵۷۶	۸۰	۵۰	۸۰	سیترونلول
۰/۵۱×۱۰ ^{-۳۱}	۱۶۰	۰/۶۶۸	۷۰	۲۰	۲۰	منتون
۱/۵۱×۱۰ ^{-۳۱}	۱۶۰	۰/۶۶۸	۷۵	۳۵	۵۰	منتون
۲/۸۵×۱۰ ^{-۳۱}	۱۶۰	۰/۶۶۸	۸۰	۵۰	۸۰	منتون
۸/۵×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۰	۰/۴۳۱	۷۰	۲۰	۲۰	میرسن
۲۴/۶۵×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۰	۰/۴۳۱	۷۵	۳۵	۵۰	میرسن
۵۱/۸۵ ×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۰	۰/۴۳۱	۸۰	۵۰	۸۰	میرسن
۰/۸۲×۱۰ ^{-۳۱}	۱۹۰	۰/۳۶۲	۷۰	۲۰	۲۰	سیترال
۲/۴۷×۱۰ ^{-۳۱}	۱۹۰	۰/۳۶۲	۷۵	۳۵	۵۰	سیترال
۴/۳۳×۱۰ ^{-۳۱}	۱۹۰	۰/۳۶۲	۸۰	۵۰	۸۰	سیترال
۵/۵×۱۰ ^{-۳۱}	۱۶۳	۰/۵۷۱	۷۰	۲۰	۲۰	د لیمون
۱۳/۵×۱۰ ^{-۳۱}	۱۶۳	۰/۵۷۱	۷۵	۳۵	۵۰	د لیمون
۲۲/۹×۱۰ ^{-۳۱}	۱۶۳	۰/۵۷۱	۸۰	۵۰	۸۰	د لیمون
۳/۷×۱۰ ^{-۳۱}	۱۶۸	۰/۶۲۶	۷۰	۲۰	۲۰	دی فنیل متان
۹/۵×۱۰ ^{-۳۱}	۱۶۸	۰/۶۲۶	۷۵	۳۵	۵۰	دی فنیل متان
۱/۸/۵×۱۰ ^{-۳۱}	۱۶۸	۰/۶۲۶	۸۰	۵۰	۸۰	دی فنیل متان
۰/۷۲×۱۰ ^{-۳۱}	۲۱۹	۰/۴۹۵	۷۰	۲۰	۲۰	لینالیل استات
۱/۵×۱۰ ^{-۳۱}	۲۱۹	۰/۴۹۵	۷۵	۳۵	۵۰	لینالیل استات
۴/۲×۱۰ ^{-۳۱}	۲۱۹	۰/۴۹۵	۸۰	۵۰	۸۰	لینالیل استات
۰/۳×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۳	۰/۷۳۷	۷۰	۲۰	۲۰	کامفر
۱/۱×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۳	۰/۷۳۷	۷۵	۳۵	۵۰	کامفر
۲/۱×۱۰ ^{-۳۱}	۱۵۳	۰/۷۳۷	۸۰	۵۰	۸۰	کامفر

کلیه مقادیر ضریب انتشار میانگین سه تکرار می باشند.

منابع

- Baughman, D. R. and Liu, Y. A., 1995, *Neural Networks in Bioprocessing and Chemical Engineering*, Academic Press, Inc, San Diego, CA, 16-18.
- DeLassus, P., Tou, J. C., Babinec, M. A., Rulf, D. C., Karp B. K. and Howell. B. A., 1988, Transport of apple aromas in polymer films. In: ACS Symposium Series, 365, 11-27
- Gavara, R. and Hernandez, R. J., 1993, Consistency test for continuous flow permeability experimental data. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, (9), 126-138.
- Johansson, F. and Leufven, A., 1994, Food packaging polymer films as aroma vapor barriers at different relative humidities. *Journal of Food Science*, 59(6), 1328–1331.
- Landois-Garza, J. and Hotchkiss, J. H., 1988, Permeation of high barrier films by ethyl esters: Effect of permeant molecular weight, relative humidity, and concentration. In: ACS Symposium Series, 365, 42-58.
- Letinski, J. and Halek, G. W., 1992, Interactions of citrus flavor compounds with polypropylene films of varying crystallinities. *Journal of Food Science*, (2), 481-484.
- Mason, R., DeLassus, P.T., Strandburg, G. and Howel, B.A., 1992, Diffusion of flavors in polymers: effect of permeant size and shape. *Tappi journal*, 75,163-168. Pasternak, R. A., J. F. Schimscheimer., and J. Heller. 1970. A dynamic approach to diffusion and permeation measurements. *Journal of Polymer Science. Part A-2: Polymer Physics*, 8:467-479.
- Pieper, G. and Petersen. K., 1995, Free fatty acids from orange juice absorption into laminated cartons and their effects on adhesion. *Journal of Food Science*, 60, 1088–1091.
- Risch, S. J., 2000, *Food Packaging: Testing Methods and Applications*, In:ACS Symposium Series, 37-55.
- Shimoda, M., Matsui, T. and Osajima, Y., 1987. Effects of the number of carbon atoms of flavor compounds on diffusion, permeation and sorption with polyethylene films. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 36(6),402–406.