INSO
6229
1st Edition
2021

Identical with
ISO/TS 21975:
2020

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۶۲۲۹
چاپ اول
۱۴۰۰

فناوری نانو- فیلم‌های پلیمری نانوچندسازه‌ای برای بسته‌بندی مواد غذایی با خواص مانع‌شوندگی - تعیین مشخصه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری

Nanotechnologies — Polymeric nanocomposite films for food packaging with barrier properties — Determination of characteristics and measurement methods

ICS: 07.120

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۶۲۲۹ (چاپ اول): سال ۱۴۰۰

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: http://www.isiri.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی ایران را به‌عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«فناوری نانو-فیلم‌های پلیمری نانوچندسازه‌ای برای بسته‌بندی مواد غذایی با خواص مانع‌شوندگی- تعیین مشخصه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
سهرابی جهرمی، ابوذر (دکتری نانوفناوری)	رئیس هیئت مدیره- شرکت راصد توسعه فناوری‌های پیشرفته
دبیر:	
لسان خوش منفرد، رسول (دکتری مهندسی و علم مواد)	مدیرعامل- شرکت بسپار پیشرفته شریف
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اسلامی پور، الهه (کارشناسی ارشد زیست‌شناسی)	کارشناس- گروه استاندارد و ایمنی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
اکبری، بابک (دکتری مهندسی و علم مواد)	عضو هیئت علمی- دانشکده علوم و فنون نوین- دانشگاه تهران
تکیه معروف، باهره (دکتری مهندسی و علم مواد)	عضو هیئت علمی- دانشکده فنی دانشگاه ارومیه
سیفی، مهوش (کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)	نایب رئیس- کمیته فنی متناظر فناوری نانو ISIRI/TC 229
شیرالی، لیلا (کارشناسی ارشد شیمی معدنی)	کارشناس- اداره کل استاندارد استان خوزستان
گرگین کرجی، زهرا (دکتری مهندسی پزشکی)	عضو هیئت علمی- دانشکده مهندسی دانشگاه صنعتی کرمانشاه
محرابی، احسان (کارشناسی ارشد صنایع چوب و کاغذ)	کارشناس- سازمان ملی استاندارد ایران
ویراستار:	
سیفی، مهوش (کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)	نایب رئیس- کمیته فنی متناظر فناوری نانو ISIRI/TC 229

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ز
مقدمه ح
۱ اهداف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات، تعاریف و کوته‌نوشت‌ها ۱
۳-۱ اصطلاحات و تعاریف ۱
۳-۲ کوته‌نوشت‌ها ۴
۴ مشخصه‌های ضروری و اختیاری برای اندازه‌گیری و روش‌های اندازه‌گیری آن‌ها ۵
۴-۱ کلیات ۵
۴-۲ نانوشیء (مشخصه‌های ضروری) ۶
۴-۲-۱ اندازه و توزیع ذرات ۶
۴-۲-۲ ترکیب‌بندی شیمیایی ۸
۴-۳ نانوچندسازه (مشخصه‌های ضروری) ۹
۴-۳-۱ عبور نور ۹
۴-۳-۲ میزان خاکستر ۹
۴-۳-۳ خواص مانع‌شوندگی ۱۰
۴-۴ نانوشیء (مشخصه‌های اختیاری) ۱۳
۴-۴-۱ رنگ ماده اولیه نانوشیء ۱۳
۴-۴-۲ ریخت‌شناسی ۱۳
۴-۵ نانوچندسازه (مشخصه‌های اختیاری) ۱۳
۴-۵-۱ شکل ظاهری نانوچندسازه ۱۳
۴-۵-۲ خواص مکانیکی ۱۴
۴-۵-۳ مشخصه‌های فیزیکی ۱۴
۵ آماده‌سازی نمونه ۱۵
۶ گزارش‌دهی ۱۵
۶-۱ کلیات ۱۵
۶-۲ اطلاعات عمومی ۱۵
۶-۳ نتایج اندازه‌گیری ۱۶
۶-۳-۱ مشخصه‌های ضروری ۱۶

عنوان **صفحه**

۶-۳-۲ اطلاعات عمومی ۱۶
۶-۴ نمونه قالب جدول ۱۶
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) افزایش ماندگاری موادغذایی ۱۹
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) بهبود خواص مانع‌شوندگی از طریق وارد کردن نانوشیء به داخل فیلم پلیمری ۲۱
پیوست پ (آگاهی‌دهنده) تاثیر پارامترهای فرایند بر خواص مانع‌شوندگی ۲۳
پیوست ت (آگاهی‌دهنده) خواص پلیمر موثر بر خواص مانع‌شوندگی ۲۴
کتابنامه ۲۶

پیش‌گفتار

استاندارد «فناوری نانو- فیلم‌های پلیمری نانوچندسازه‌ای برای بسته‌بندی مواد غذایی با خواص مانع‌شوندگی- تعیین مشخصه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره‌شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تهیه و تدوین شده، در صدمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۱۴۰۰/۰۶/۱۵ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت وتوسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، به‌عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران براساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم وخدمات، استانداردهای ملی ایران درصورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، موردتوجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

ISO 21975: 2020, Nanotechnologies- Polymeric nanocomposite films for food packaging properties-Specification of characteristics and measurement method

مقدمه

رشد سریع بازار بسته‌بندی‌های نوظهور حاوی نانواشیاء، تاثیر بسزایی بر بهبود ماندگاری و کاهش ضایعات آنها می‌گذارد. به‌علاوه، افزایش صادرات و واردات محصولات غذایی باعث رشد تقاضای استفاده از بسته‌بندی‌های نانو بهبودیافته در آینده می‌شود.

پلاستیک‌های معمول که در بسته‌بندی استفاده می‌شود شامل پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌آمید و پلی‌استر است. حضور نانواشیاء در بسته‌بندی می‌تواند در بهبود مشخصه‌های مختلف فیلم‌های پلیمری مانند خواص مانع‌شوندگی گاز/ بخار آب، نور فرابنفش، خواص گرمایی و استحکام مکانیکی موثر باشد. یکی از اهداف کلیدی این بسته‌بندی‌ها افزایش ماندگاری از طریق بهبود خواص مانع‌شوندگی بسته‌بندی‌های مواد غذایی، کاهش عبورپذیری گاز، عبورپذیری بخار آب و قرار گرفتن در معرض نور فرابنفش است [1]. تاثیر گاز، عبورپذیری بخار آب، قرار گرفتن در معرض نور فرابنفش در افزایش ماندگاری بسته‌بندی‌های مواد غذایی در پیوست **الف** توضیح داده شده‌است. انواع مختلف نانواشیاء مانند، نانوصفحات رسی، نانوذرات/ نانومیله اکسید روی، نانوذرات اکسید تیتانیم در زمینه پلیمری، برای بهبود خواص مانع‌شوندگی افزوده می‌شود.

برخلاف مواد بسته‌بندی‌های شیشه‌ای یا فلزی، مواد پلیمری قابل‌نفوذ به مولکول‌های کوچک گازها، بخار آب و نور فرابنفش هستند. امکان بهبود خواص مانع‌شوندگی بسته‌بندی‌های پلیمری با استفاده از نانوچندسازه‌ها زمینه بسیار جذابی است. عوامل اصلی تاثیرگذار بر نفوذپذیری پلیمر پایه و نانوچندسازه، مراحل بلورینه‌شدن پلیمر، حالت پراکندگی و جهت‌گیری نانواشیاء در نانوچندسازه و غیره هستند (به پیوست **ب** و **پ** مراجعه شود).

به‌طورکلی، برای استفاده موفقیت‌آمیز از بسته‌بندی‌های مواد غذایی بررسی موارد زیر لازم است:

- تعیین رابطه بین ترکیب‌بندی شیمیایی، ساختار و خواص؛
- شناسایی مشخصه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری آنها.

این استاندارد مشخصه‌هایی مانند خواص مانع‌شوندگی برای اندازه‌گیری فیلم‌های پلیمری نانوچندسازه‌ای را مشخص می‌کند. این استاندارد همچنین روش‌های مرتبط با اندازه‌گیری را پیشنهاد می‌دهد.

از این استاندارد انتظار می‌رود که ارتباطات و درک متقابل از نانوچندسازه‌های پلمیری برای کاربرد بسته‌بندی مواد غذایی بین خریدار و فروشنده را ارتقا دهد.

فناوری نانو- فیلم‌های پلیمری نانوچندسازه‌ای برای بسته‌بندی مواد غذایی با خواص مانع‌شوندگی- تعیین مشخصه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین و اندازه‌گیری مشخصه‌هایی شامل خواص مانع‌شوندگی فیلم‌های نانوچندسازه‌ای پلیمری برای بهبود بسته‌بندی مواد غذایی است. این خواص شامل مانع‌شوندگی گاز، بخار آب و مانع‌شوندگی نور فرابنفش است. همچنین این استاندارد روش‌های اندازه‌گیری مرتبط را شرح می‌دهد.

این استاندارد به موارد ایمنی و بهداشتی مربوط به بسته‌بندی مواد غذایی و به جنبه‌های زیست‌محیطی نمی‌پردازد.

۲ مراجع الزامی

این استاندارد مراجع الزامی ندارد.

۳ اصطلاحات، تعاریف و کوته‌نوشت‌ها

۳-۱ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به‌کار می‌رود[۱].

۳-۱-۱

دمای تبدیل شیشه‌ای

glass transition temperature

مقدار مشخصه محدوده دمایی که در آن تبدیل شیشه‌ای پلیمر رخ می‌دهد.

یادآوری ۱- تبدیل شیشه‌ای، یک تغییر برگشت‌پذیر در پلیمر بی‌شکل یا در منطقه بی‌شکل پلیمر نیمه‌بلوری است. این تغییر بین یک پلیمر با حالت لاستیکی و یک حالت سخت و نسبتاً شکننده رخ می‌دهد.

[منبع: زیربند 3.1، استاندارد ISO 11357-2: 2020 تغییریافته– یادآوری ۱ جایگزین شده‌است.]

---

۱ - اصطلاحات و تعاریف به‌کار رفته در این استاندارد در وبگاه‌های https://www.iso.org/obp و http://www.electropedia.org قابل دسترس است.

۲-۱-۳

دمای ذوب

melting temperature

محدوده دمایی که بیش از آن پلیمرهای بلوری یا *نیمه بلوری* (۳-۱-۷) در حین گرما دیدن مشخصه‌های بلورین یا شکل ذره‌ای خود را از دست می‌دهند تا به یک مایع تبدیل شوند.

[منبع: زیربند 2.584، استاندارد ISO 472: 2013 تغییریافته– تعریف بازنویسی شده‌است.]

۳-۱-۳

نانوچندسازه

nanocomposite

جامدی شامل یک مخلوط از دو یا چند ماده که از نظر فازی جدا شده‌اند و دارای یک یا چند فاز نانو است.

یادآوری ۱- نانوچندسازه پایه پلیمری به نانوچندسازه‌ای با حداقل یک فاز اصلی پلیمری اطلاق می‌شود.

[منبع: زیربند ۴-۲، استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۸۳۹۲: ۱۳۹۴ تغییریافته- یادآوری ۱ جایگزین یادآوری ۱ و ۲ اصلی شده‌است.]

۴-۱-۳

نانوبهبودیافته

nano-enhanced

ظهور کارایی و یا عملکرد مواد که با فناوری نانو، تشدید یا بهبود یافته‌است.

[منبع: زیربند ۲-۱۶، استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵ تغییریافته- کلمه «مواد» اضافه شده‌است.]

۵-۱-۳

نرخ عبورپذیری اکسیژن

oxygen transmission rate

حجم یا مقدار گاز اکسیژن است که در واحد سطح و واحد زمان، تحت اختلاف فشار جزئی واحد بین دو طرف ماده، از یک ماده پلاستیکی عبور می‌کند.

یادآوری ۱- نرخ انتقال اکسیژن از نظر حجم به‌طور کلی با سانتی‌متر مربع بیان می‌شود، در مترمربع و در هر اتمسفر (cm^3/m^2 . 24 h . atm)، حجم گازی که به شرایط استاندارد تبدیل می‌شود تحت اختلاف فشار یک اتمسفر قرار می‌گیرد.

یادآوری ۲- نرخ انتقال اکسیژن از نظر مقدار به مول در مترمربع، در هر ثانیه و هر پاسکال $mol/(m^2 \cdot s \cdot Pa)$ نشان داده می‌شود.

[منبع: زیربند ۳-۱، استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۱۷۶: سال ۱۳۸۷، تغییریافته- کلمه «اکسیژن» جایگزین « گاز» و «یا مقدار گاز اکسیژن» قبل از «از گاز» در تعریف جایگزین شده‌است. یادآوری ۱ و ۲ جایگزین یادآوری‌های اصلی شده‌اند.]

۶-۱-۳

بسته‌بندی

packaging

محصولی که برای نگهداری، محافظت، جابه‌جایی، تحویل، انبارش، حمل‌ونقل و ارائه کالاها از مواد اولیه تا کالاهای فرآوری‌شده، از تولیدکننده تا کاربر یا مصرف‌کننده شامل فرآوری‌کننده، برهم‌گذارنده[1] یا سایر واسطه‌ها استفاده می‌شود.

[منبع: زیربند ۲-۱-۱، استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۱۹۲۷: سال ۱۳۹۶]

۷-۱-۳

پلیمر نیمه‌بلوری

semi-crystalline polymer

پلیمری شامل هر دو فاز بلوری و بی‌شکل است که می‌تواند دارای نسبت‌های مختلفی باشد.

منبع: زیربند ۳-۱، استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۹۶۶: سال ۱۳۸۹]

۸-۱-۳

مسیر پر پیچ‌وخم

tortuous path

مسیر عبور گاز از زمینه پلیمری به‌واسطه سپر فیزیکی غیرفعال است.

۹-۱-۳

عبورپذیری فرابنفش- مرئی

UV-Vis transmittance

نسبت شار تابشی یک باریکه فرابنفش- مرئی از طریق یک نمونه فیلم به باریکه فرابنفش- مرئی بدون نمونه فیلم است.

1- Assembler

۳-۱-۱۰

نرخ عبورپذیری بخار آب

wate vapour transmission rate

جرم بخار آب منتقل‌شده از طریق مساحت مشخص در زمان مشخص تحت شرایط مشخص دما و رطوبت است.

یادآوری ۱- نرخ انتقال بخار آب به گرم در مترمربع و ۲۴ ساعت (g/m^2 . 24h) بیان می‌شود.

یادآوری ۲- برگرفته از زیر بند ۳-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۱۷۶: سال ۱۳۸۶.

۳-۲ کوته نوشت‌ها

کوته نوشت	اصطلاح	معادل فارسی
AFM	atomic force microscopy	میکروسکوپی نیروی اتمی
DLS	dynamic light scattering	پراکندگی نور پویا
DSC	differential scanning calorimetry	گرماسنجی روبشی تفاضلی
GC	gas chromatography	کروماتوگرافی گازی
ICP/AES	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy	طیف‌سنجی نشر اتمی- پلاسمای جفت‌شده القایی
ICP/MS	inductively coupled plasma mass spectrometry	طیف‌سنجی جرمی- پلاسمای جفت‌شده القایی
OTR	oxygen transmission rate	نرخ عبورپذیری اکسیژن
PTA	particle tracking analysis	تحلیل ردگیری نانوذرات
SAXS	small angle X-ray spectroscopy	طیف‌سنجی پرتو ایکس با زاویه کوچک
SEM	scanning electron microscopy	میکروسکوپی الکترونی روبشی
TEM	transmission electron microscopy	میکروسکوپی الکترونی عبوری
TGA	thermogravimetric analysis	آنالیز گرماوزن‌سنجی
UV-Vis	ultraviolet-visible	فرابنفش- مرئی
WVTR	water vapour transmission rate	نرخ عبورپذیری بخار آب
XRD	X-ray diffraction	پراش پرتو ایکس
XRF	X-ray fluorescence	فلورسانس پرتو ایکس

۴ مشخصه‌های ضروری و اختیاری برای اندازه‌گیری و روش‌های اندازه‌گیری آنها

۴-۱ کلیات

مشخصه‌هایی که اندازه‌گیری می‌شوند مربوط به فیلم نانوچندسازه‌ای پلیمری به دو گروه طبقه‌بندی می‌شوند: مشخصه‌های ضروری و موارد اختیاری. مشخصه‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌است. مشخصه‌های اختیاری در جدول ۲ جهت اطلاع فهرست شده‌است. اندازه‌گیری این مشخصه‌ها ممکن است بسته به کاربردهای خاص مفید باشند.

جدول ۱ – مشخصه‌های ضروری برای اندازه‌گیری و روش اندازه‌گیری آنها

عنوان	مشخصه‌ها		روش اندازه‌گیری
نانوشیء	اندازه و توزیع اندازه		به زیربند ۴-۲-۱ مراجعه شود
	محتوای ترکیب‌بندی شیمیایی		به زیربند ۴-۲-۲ مراجعه شود
نانوچندسازه	عبور نور کل		به زیربند ۴-۳-۱ مراجعه شود
	محتوای خاکستر		به زیربند ۴-۳-۲ مراجعه شود
	خواص مانع‌شوندگی	OTR	به زیربند ۴-۳-۳-۲ مراجعه شود
		WVTR	به زیربند ۴-۳-۳-۳ مراجعه شود
		عبورپذیری فرابنفش- مرئی	به زیربند ۴-۳-۳-۴ مراجعه شود

جدول ۲ – مشخصه‌های اختیاری برای اندازه‌گیری و روش‌های اندازه‌گیری آنها

عنوان	مشخصه‌ها	روش اندازه‌گیری
نانوشیء	رنگ	به زیربند ۴-۴-۱ مراجعه شود
	ریخت‌شناسی	به زیربند ۴-۴-۲ مراجعه شود
نانوچندسازه	ظاهر	به زیربند ۴-۵-۱ مراجعه شود
	خواص مکانیکی	به زیربند ۴-۵-۲ مراجعه شود
	دمای ذوب	به زیربند ۴-۵-۳-۱ مراجعه شود
	دمای تبدیل شیشه‌ای	به زیربند ۴-۵-۳-۲ مراجعه شود
	نوع فاز بلورین و بلورینگی	به زیربند ت-۱ مراجعه شود
	ریخت‌شناسی	به زیربند ت-۲ مراجعه شود

۴-۲ نانوشئ (مشخصه‌های ضروری)

۴-۲-۱ اندازه و توزیع اندازه

۴-۲-۱-۱ کلیات

خواص مانع‌شوندگی مربوط به فیلم نانوچندسازه پلیمری به اندازه نانوشیء موجود در زمینه پلیمری حساس است.

نانواشیاء به‌صورت سه‌بعدی و با شکل‌های مختلف هستند. نشان‌دادن اندازه نانوشیء با استفاده از یک عدد واحد غیرممکن است. درنتیجه، در بیشتر روش‌ها فرض براین است که نانوشیء شکل کروی دارد، زیرا کُره، شکلی است که قطر آن را می‌توان با یک عدد واحد نشان داد (به استاندارد ISO 19430: 2016 مراجعه شود).

برای اندازه‌گیری‌های اندازه و توزیع ذرات، یک آزمونه از نانوشیء خام گرفته شده و یک تعلیقه آماده می‌شود.

اندازه میانگین یک نانوشیء باید با استفاده از روش اندازه‌گیری مناسب اندازه‌گیری و درصورت امکان اولیه یا ثانویه (کلوخه) بودن نانوشیء تعیین شود. نتایج اندازه‌گیری باید در واحد nm بیان شود.

برای اندازه‌گیری میانگین قطر نانواشیاء، یک روش مناسب از میان SAXS، میکروسکوپ الکترونی (TEM و SEM)، DLS، AFM و PTA توصیه می‌شود.

یادآوری ۱ - در بیشتر موارد، مقدار اندازه‌گیری‌شده می‌تواند نانوشیء ثانویه به‌دلیل کلوخه‌شدن باشد. برای جلوگیری از کلوخه‌شدن، آماده‌سازی مناسب آزمونه ضروری است.

یادآوری ۲- فراصوت تعلیقه حاوی نانوشیء، یک روش مناسب قبل از اندازه‌گیری با روش‌های فوق‌الذکر است.

۴-۲-۱-۲ طیف‌سنجی پرتو ایکس با زاویه کوچک

اندازه نانواشیاء در محیط مایع را می‌توان از طریق SAXS اندازه‌گیری کرد. روش SAXS برای اندازه‌گیری اندازه متوسط و توزیع اندازه نانوشیء اولیه و ثانویه استفاده می‌شود.

یادآوری - استاندارد ISO 17867: 2015 روشی را برای استفاده از SAXS به‌منظور تخمین اندازه متوسط نانواشیاء در پراکندگی‌های رقیق که برهم‌کنش بین نانوشیء ناچیز است، مشخص می‌کند. توزیع اندازه براساس تعداد و حجم، هر دو از طریق روش SAXS اندازه‌گیری می‌شود.

۴-۲-۱-۳ میکروسکوپی الکترونی

اندازه نانواشیاء را می‌توان با میکروسکوپ الکترونی نیز اندازه‌گیری کرد. از TEM و SEM برای اندازه‌گیری نانواشیاء استفاده می‌شود (به استانداردهای ISO 21363 و ISO 19749 مراجعه شود). روش‌های TEM و SEM تصاویر دوبعدی از نانوشیء را ارائه می‌دهند که توزیع اندازه مبتنی بر تعداد است.

۴-۲-۱-۴ تجزیه‌وتحلیل ردگیری ذرات

اندازه نانواشیاء در یک مایع را نیز می‌توان با PTA که در آن حرکت بروانی نانواشیاء به‌صورت نوری ردیابی می‌شود، اندازه‌گیری کرد. استاندارد ISO 19430: 2016 ارزیابی نانوشیء مبتنی بر عدد در پراکنش‌های مایع (ذرات جامد، مایع یا گازی معلق در مایعات) با استفاده از روش PTA برای اندازه‌گیری سرعت انتشار را توصیف می‌کند.

۴-۲-۱-۵ پراکندگی نور پویا

اندازه نانواشیاء در یک مایع را می‌توان با DLS اندازه‌گیری کرد. تجزیه‌وتحلیل اندازه ذرات با استفاده از روش DLS انجام می‌شود که تحرک هیدرودینامیکی ذرات را کاوش می‌کند. استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۲۴۷: سال ۱۳۹۶ تخمین متوسط اندازه و توزیع اندازه ذرات را ارائه می‌دهد.

۴-۲-۱-۶ میکروسکوپی نیروی اتمی

اندازه نانواشیاء به حالت خشک بر یک بستر مسطح نیز می‌تواند با استفاده از AFM و به‌کارگیری اندازه‌گیری ارتفاع (جابجایی Z) اندازه‌گیری می‌شود. AFM یک پروفایل سطح سه بعدی را ایجاد می‌کند. درحالی‌که ابعاد جانبی تحت‌تاثیر شکل پروب قرار می‌گیرند، اندازه‌گیری‌های جابجایی می‌تواند ارتفاع نانوذرات با درستی و دقت بالایی ایجاد کند (به استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۶۰۳: سال ۱۳۹۷ مراجعه شود).

۴-۲-۱-۷ پراش لیزر

اندازه و توزیع اندازه نانواشیاء در بسیاری از سامانه‌های دو فاز (به‌عنوان مثال پودرها، افشانه‌ها، هواسل‌ها، تعلیقه‌ها، امولسیون‌ها و حباب‌های گاز در مایعات) با استفاده از خواص پراش نور آنها اندازه‌گیری می‌شود. در اندازه‌گیری پراش لیزر، یک باریکه لیزر از میان ذراتی که به‌خوبی پراکنده شده‌اند عبور داده‌می‌شود و اندازه ذرات با تعیین شدت پراکندگی نور تولیدشده اندازه‌گیری می‌شود (به استاندارد ISO 13320 مراجعه شود).

۴-۲-۲ ترکیب‌بندی شیمیایی

۴-۲-۲-۱ کلیات

یک آزمونه برای اندازه‌گیری ترکیب‌بندی شیمیایی از نمونه ماده اولیه نانوشیء گرفته شده و یک پودر خشک‌شده تهیه می‌شود. ترکیب‌بندی شیمیایی نانوشیء به‌عنوان مثال ترکیب‌بندی‌های عنصری و ترکیبی، از یک آزمونه مواد اولیه نانوشیء، یکی از مشخصه‌های ضروری است، زیرا می‌تواند بر خواص محصول نهایی تاثیر بگذارد. ترکیب‌بندی شیمیایی شامل ترکیب اصلی و ترکیب جزئی (ناخالصی‌ها) است. ترکیب‌بندی شیمیایی متشکل از نسبت جرم یک عنصر یا ترکیب موجود در یک آزمونه پودر خشک از نانوشیء خام به آزمونه پودر خشک‌شده است.

ترکیب‌بندی شیمیایی باید با استفاده از یک روش مناسب اندازه‌گیری شود. آزمون‌های XRF، XRD، تجزیه‌وتحلیل پرتو ایکس تفکیک انرژی، طیف‌سنجی نشر نور (ICP/OES) و طیف‌سنجی جرمی (ICP/MS) پلاسمای جفت‌شده القایی برای اندازه‌گیری ترکیب‌بندی شیمیایی توصیه می‌شود.

نتایج اندازه‌گیری ترکیب‌بندی شیمیایی باید به‌صورت نوع عنصر، مقدار عنصر(kg/kg)، نوع ترکیب‌بندی شیمیایی و مقدار ترکیب‌بندی شیمیایی (kg/kg) بیان شود.

۴-۲-۲-۲ پراش پرتو ایکس

روش XRD می‌تواند نوع ترکیب‌بندی شیمیایی را برای یک آزمونه ماده اولیه نانوشیء شناسایی کند.

روش XRD، از طریق مطالعه ساختار بلوری، می‌تواند برای شناسایی فازهای بلورین موجود در یک ماده و ترکیب‌بندی شیمیایی استفاده شود. شناسایی فازها به‌وسیله مقایسه داده‌های به‌دست آمده و پایگاه‌های اطلاعاتی مرجع انجام می‌شود. ترکیب‌بندی شیمیایی از طریق نسبت شدت پیک ترکیب شیمیایی موردنظر به شدت پیک ماده پایه ترکیب شیمیایی اندازه‌گیری می‌شود.

۴-۲-۲-۳ تجزیه‌وتحلیل فلورسانس پرتو ایکس

تجزیه‌وتحلیل XRF می‌تواند نوع و محتوای عناصر موجود در یک آزمونه ماده خام نانوشیء را شناسایی کند.

تجزیه‌وتحلیل XRF می‌تواند برای تعیین کمی غلظت عناصر اصلی و مقادیر کم در پودر همگن با استفاده از کالیبراسیون با آزمونه استاندارد پایه یکسان استفاده شود (به استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۱۵۲: سال ۱۳۹۳ مراجعه شود).

۴-۲-۲-۴ تجزیه‌وتحلیل پرتو ایکس براساس تفکیک انرژی

تجزیه‌وتحلیل پرتو ایکس براساس تفکیک انرژی می‌تواند اندازه‌گیری کمّی و تشخیص نوع عناصر در آزمونه مواد خام نانوشیء را از نظر کسر جرمی انجام دهد که به یک میکروسکوپ الکترونی روبشی یا پروب میکروآنالیز الکترونی روبشی نصب شده‌است (به استاندارد ISO 22309: 2011 مراجعه شود).

۴-۲-۲-۵ پلاسمای جفت‌شده القایی

با روش‌های ICP/AES و ICP/MS (به استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۹۴۵: سال ۱۳۹۰ مراجعه شود) می‌توان نوع و محتوای عناصر را در یک آزمونه ماده اولیه نانوشیء اندازه‌گیری کرد.

یادآوری- یک آزمونه محلول با استفاده از حلال مناسب برای روش ICP تهیه می‌شود.

۴-۳ نانوچندسازه (مشخصه‌های ضروری)

۴-۳-۱ عبور نور

عبورپذیری نور مواد پلیمری برای بسته‌بندی مواد غذایی معمولا مطلوب است، زیرا باعث افزایش ارزش زیبایی‌شناسی بسته‌بندی به‌منظور شناسایی و نمایش محصولات بسته‌بندی‌شده می‌شود. شفافیت، که معمولا به عنوان «دیدنی[1]» شناخته می‌شود، به شفافیت در محدوده طول موج مرئی اشاره دارد.

عبور نور فیلم آزمونه به‌عنوان نسبت شار تابشی نور مرئی استاندارد که از میان فیلم آزمونه به نمونه مرئی استاندارد هنگام برداشتن فیلم آزمونه عبور می‌کند، تعریف می‌شود.

عبور نور باید برای یک فیلم نانوچندسازه و فیلم پایه پلیمر اندازه‌گیری شود. ضخامت آزمونه پایه پلیمر باید همان آزمونه فیلم نانوچندسازه باشد. نتایج اندازه‌گیری عبور نور معمولا به‌صورت درصد (٪) بیان می‌شود. تجهیزات لازم برای اندازه‌گیری‌ها شامل یک منبع نور، ردیاب نور، فیلتر نوری و کُره یکپارچه‌سازی است. برای اندازه‌گیری عبور نور به استانداردهای ISO 13468-1: 2019 و ISO 13468-2: 1999 مراجعه شود.

نتایج اندازه‌گیری عبور نور باید برای آزمونه‌های فیلم نانوچندسازه و آزمونه‌های فیلم پایه پلیمری گزارش شود. همچنین، تغییر در عبور نور از فیلم پایه پلیمر به فیلم نانوچندسازه باید به‌گونه‌ای گزارش شود که اثر وارد شدن نانوشیء به داخل پایه پلیمر به‌راحتی دیده شود. همچنین ضخامت آزمونه باید گزارش شود.

۴-۳-۲ میزان خاکستر

محتوای نانوشیء در نانوچندسازه عامل مهمی است که بر خواص مانع‌شوندگی تاثیر می‌گذارد. آزمونه نانوچندسازه عمدتا از پلیمر پایه و نانواشیاء ترکیب‌شده، تشکیل می‌شود. تبدیل به خاکستر کردن آزمونه نانوچندسازه در دمای مناسب می‌تواند جزء پلیمری از آزمونه را از بین ببرد. اگر میزان خاکستر پایه پلیمر اصلی ناچیز باشد، خاکستر باقی‌مانده در یک آزمونه نانوچندسازه پس از سوزاندن ممکن است نانوشیء اضافه شده باشد، این می‌تواند نشانه‌ای از میزان نانوشیء در آزمونه باشد.

میزان خاکستر یک آزمونه نانوچندسازه نسبت جرم باقی‌مانده از آزمونه پس از حذف مواد تشکیل‌دهنده پلیمری به وسیله سوزاندن آزمونه خشک‌شده قبل از سوزاندن آن است. میزان خاکستر یک آزمونه نانوچندسازه پلیمری باید به‌وسیله یک روش اندازه‌گیری مناسب، اندازه‌گیری شود. نتایج اندازه‌گیری میزان خاکستر باید در واحد kg/kg یا به‌عنوان درصد کسر جرمی بیان شود.

دو گزینه برای اندازه‌گیری وجود دارد: روش توزین خاکستر و TGA. روش توزین خاکستر بسیار ساده است و از ابزار دقیق ارزان‌تری استفاده می‌کند. این روش شامل توزین یک نمونه و قراردادن آن را در یک بوته و سپس درون یک کوره است که در آنجا حرارت داده می‌شود تا تمام پلیمر تجزیه شود. خاکستر باقیمانده سپس توزین شده و میزان پرکننده محاسبه می‌شود. استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۲۳۷: سال ۱۳۹۸ برای کاربردهای عمومی ممکن است برای اندازه‌گیری میزان خاکستر یک آزمونه نانوچندسازه پلیمری مفید باشد.

1- See-through

یادآوری- از تجزیه‌وتحلیل XRD خاکستر باقی‌مانده می‌توان برای شناسایی ساختار بلورین نانوشئ درون پایه پلیمری استفاده کرد.

در مورد اندازه آزمونه کوچک، می‌توان از TGA استفاده کرد (به استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۶۷۶: سال ۱۳۹۳ مراجعه شود). گرماوزن‌سنجی شامل یک ترازوی بسیار حساس، یک کوره که می‌تواند به‌شیوه‌ای برنامه‌ریزی‌شده گرم شود و نرم‌افزاری که به‌طور مداوم جرم آزمونه را پایش کرده و بر حسب تابعی از دما ترسیم می‌کند.

با روش توزین خاکستر، جرم نمونه قبل و بعد از سوزاندن به‌دست می آید، اما با روش TGA تغییر مداوم جرم نمونه در حین سوختن به‌دست می‌آید. از معایب TGA این است که فقط با نمونه‌های کوچک (۱۰ میلی‌گرم تا ۵۰ میلی‌گرم) کار می‌کند، درحالی‌که روش توزین خاکستر، از آزمونه‌های ۲ گرمی تا ۳ گرمی استفاده می‌کند، بنابراین مقدار بیشتری نمونه‌های نماینده فراهم می‌کند.

۴-۳-۳ خواص مانع‌شوندگی

۴-۳-۳-۱ کلیات

به‌منظور حفظ کیفیت غذا، مواد بسته‌بندی باید در مانع‌شوندگی عبور اکسیژن، بخار آب و نور (فرا بنفش- مرئی)، جلوگیری از تخریب مواد غذایی، اکسایش و حفظ طعم، کارآمد باشد. جذب و عبور نور از میان پلیمرها از اهمیت ویژه‌ای در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی جایی که کالاهای بسته‌بندی‌شده حساس به نور فرابنفش هستند، برخوردار است.

خواص عبورپذیری اکسیژن، بخار آب و نور فرابنفش- مرئی به ترتیب در زیربندهای ۴-۳-۳-۲، ۴-۳-۳-۳ و ۴-۳-۳-۴ بررسی شده‌است.

۴-۳-۳-۲ نرخ عبورپذیری اکسیژن

تغییر OTR، تفاوت OTR بین یک نمونه فیلم نانوچندسازه‌ای و آزمونه اصلی فیلم پایه پلیمری تحت همان شرایط است.

با استفاده از یک روش اندازه‌گیری مناسب، OTR یک نمونه فیلم نانوچندسازه‌ای و یک نمونه فیلم اصلی پایه پلیمری باید اندازه‌گیری شود. ضخامت آزمونه فیلم اصلی پایه پلیمر باید مانند آزمونه فیلم نانوچندسازه باشد. اندازه‌گیری نتایج باید در واحد $cm^3/(m^2 \cdot 24\ h)$ یا $mol/(m^2 \cdot s \cdot Pa)$ بیان شود. تغییر OTR را از داده‌های اندازه‌گیری‌شده OTR آزمونه فیلم نانوچندسازه و آزمونه اصلی فیلم پایه پلیمر محاسبه کنید.

دو روش اندازه‌گیری متفاوت وجود دارد: روش فشار تفاضلی (به استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۱۷۶: سال ۱۳۹۶ مراجعه شود) و روش فشار برابر (به استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۱۱۷۶: سال ۱۳۸۶ مراجعه شود). مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۱۱۷۶روش‌هایی را برای

تعیین میزان عبور گاز هر نوع ماده پلاستیکی به‌صورت فیلم، ورق، لمینیت، مواد اکسترودشده یا مواد پوشش داده‌شده پلاستیکی انعطاف‌پذیر، مشخص می‌کند.

در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۱۷۶: سال ۱۳۸۶، دو روش برای تعیین نرخ عبورپذیری گاز فیلم تک‌لایه یا ورق پلاستیک و ساختارهای چندلایه تحت فشار تفاضلی ارائه شده‌است. در یک روش از حسگر فشار و دیگری از کروماتوگراف گازی برای اندازه‌گیری میزان نفوذ گاز از طریق یک آزمونه استفاده می‌شود. در استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۱۱۷۶: سال ۱۳۸۶ حجم اکسیژن عبوری از یک ماده پلاستیکی، در واحد سطح و واحد زمان، تحت واحد اختلاف فشار جزئی بین دو طرف ماده اندازه‌گیری می‌شود.

۴-۳-۳-۳ نرخ عبورپذیری بخار آب

تغییر WVTR، تفاوت بین WVTR یک فیلم نانوچندسازه‌ای نمونه فیلم اصلی پایه پلیمری تحت همان شرایط اندازه گیری‌شده برای نمونه فیلم نانوچندسازه‌ای است. میزان WVTR یک آزمونه فیلم نانوچندسازه‌ای و فیلم اصلی پایه پلیمری، با داشتن ضخامت یکسان، باید با یک روش اندازه‌گیری مناسب اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری نتایج باید به‌صورت $[g/(m^2 \cdot d)]$ بیان شود. تغییر WVTR را از داده‌های اندازه‌گیری آزمونه فیلم نانوچندسازه‌ای و نمونه اصلی فیلم پایه پلیمری محاسبه کنید.

پنج روش مختلف اندازه‌گیری وجود دارد: روش حسگر تشخیص رطوبت (به استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۸مراجعه شود)، روش حسگر تشخیص فروسرخ (به استاندارد ملی ایران شماره ۲- ۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۸مراجعه شود)، روش حسگر تشخیص الکترولیتی (به استاندارد ملی ایران شماره ۳- ۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۸ مراجعه شود)، روش حسگر تشخیص کروماتوگرافی گازی (به استاندارد ملی ایران شماره ۴- ۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۷ مراجعه شود) و روش وزنی (ظرف) (به استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۸۲۷: سال ۱۳۹۷ مراجعه شود).

در استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۸، یک محفظه خشک در رطوبت نسبی مشخص، با یک ورق آزمونه از محفظه مرطوب جدا می‌شود که در آن اتمسفر با بخار آب اشباع‌شده در دمای معین کنترل می‌شود. تغییر رطوبت ناشی از بخار آب عبوری از میان ورق آزمونه توسط حسگر رطوبت که قادر به ارائه سیگنال خروجی الکتریکی است، شناسایی می‌شود و میزان رطوبت نسبی در محفظه خشک را اندازه‌گیری می‌کند. زمان لازم برای افزایش رطوبت به مقدار معین اندازه‌گیری شده و به WVTR تبدیل می‌شود.

در استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۸ یک محفظه خشک، در رطوبت نسبی مشخص، از یک محفظه مرطوب به‌وسیله یک صفحه، از آزمونه جدا شده‌است که در آن اتمسفر با بخار آب در دمای مشخص اشباع شده‌است. تغییر رطوبت ناشی از بخار آب عبور داده‌شده از میان آزمونه به‌وسیله یک حسگر فروسرخ که قادر به ارائه سیگنال خروجی الکتریکی است، شناسایی می‌شود و یک رطوبت نسبی در محفظه خشک را اندازه‌گیری می‌کند. زمان لازم برای رسیدن به یک حالت پایدار اندازه‌گیری‌شده و به WVTR تبدیل می‌شود.

در استاندارد ملی ایران شماره ۳- ۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۸، سلول انتقال گاز به‌گونه‌ای طراحی شده‌است که با ورود آزمونه، سلول به یک محفظه خشک با رطوبت کنترل‌شده تقسیم می‌شود. سمت خشک آزمونه به‌وسیله جریان حامل خشک گاز جاروب شده و بخار آب که از طریق نمونه نفوذ می‌کند از محفظه رطوبت کنترل‌شده توسط گاز حامل به یک سلول الکترولیتی منتقل می‌شود. این سلول شامل دو الکترود مارپیچ است که با لایه نازکی از پنتااکسید فسفری پوشانده شده و بر دیواره داخلی شیشه باریک تثبیت شده‌است. گاز حامل از طریق مویرگی که در آن رطوبت قرار دارد عبور می‌کند. این ماده کمّی توسط پنتااکسید فسفری جذب شده و به‌صورت الکترولیتی تجزیه می‌شود و با اعمال ولتاژ DC به الکترودها به هیدروژن و اکسیژن تبدیل می‌شود. جرم بخار آب که از طریق آزمونه نفوذ می‌کند و در واحد زمان تجزیه می‌شود از جریان الکترولیتی موردنیاز محاسبه می‌شود.

در استاندارد ملی ایران شماره ۴- ۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۷، یک محفظه خشک که با استفاده از پمپ خلاء تخلیه شده، به‌وسیله یک آزمونه از محفظه مرطوب جدا می‌شود. در آن محفظه، رطوبت نسبی جریان گاز در یک سطح مشخص کنترل می‌شود. بخار آب منتقل‌شده از میان آزمونه در یک حلقه نمونه‌گیری برای مدت زمان مشخصی جمع‌آوری می‌شود. جرم مطلق آب جمع‌شده، با استفاده از کروماتوگراف گازی اندازه‌گیری می‌شود. سپس، میزان WVTR از جرم بخار آب منتقل‌شده، مدت زمان و مساحت عبوری آزمونه، محاسبه می‌شود.

در استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۸۲۷: سال ۱۳۹۷، ظروف حاوی مواد خشک‌کننده و بسته‌شده به‌وسیله مواد مورد آزمون، در یک فضای کنترل‌شده قرار می‌گیرد. این ظروف در فواصل زمانی مناسب توزین می‌شوند و WVTR هنگامی که این افزایش متناسب با فاصله زمانی از افزایش جرم باشد، تعیین می‌شود.

یادآوری- WVTR یک عملکرد خطی از دما و همچنین به‌طورکلی، از اختلاف نسبی رطوبت نیست. بنابراین WVTR به‌دست آمده تحت شرایط خاص، لزوما قابل‌مقایسه با موردی تحت شرایط دیگر نیست.

روش وزنی (ظرف) معمولا برای سرعت انتقال کمتر از ۱ گرم در متر مربع در روز یا برای آزمونه ضخیم‌تر از ۳ میلی‌متر توصیه نمی‌شود.

۴-۳-۳-۴ عبورپذیری نور فرابنفش- مرئی

عبورپذیری نور فرابنفش- مرئی از یک آزمونه فیلم نانوچندسازه‌ای و یک آزمونه اصلی فیلم پایه پلیمر باید با روش اندازه‌گیری مناسب در محدوده طیفی از ۳۲۰ نانومتر تا ۷۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شود. ضخامت آزمونه باید برای فیلم نانوچندسازه و فیلم اصلی پایه پلیمر یکسان باشد. نتایج اندازه‌گیری عبورپذیری نور فرابنفش- مرئی معمولا با درصد (٪) بیان می‌شود.

برای اندازه‌گیری باید طیف‌سنجی فرابنفش- مرئی استفاده شود. استاندارد ASTM D1746-03 برای روش‌های اندازه‌گیری مفید است.

نتایج اندازه‌گیری عبورپذیری نور فرابنفش- مرئی برای آزمونه فیلم نانوچندسازه و آزمونه اصلی فیلم پایه پلیمر باید در یک نمودار طیفی از ۳۲۰ نانومتر تا ۷۵۰ نانومتر یکجا نمایش داده شود، به‌طوری که تغییر عبورپذیری بین دو داده به‌وضوح دیده شود. ضخامت آزمونه‌ها باید گزارش شود.

۴-۴ نانوشیء (مشخصه اختیاری)

۴-۴-۱ رنگ ماده اولیه نانوشیء

رنگ ماده اولیه نانوشئ می‌تواند بر رنگ محصول نانوچندسازه تاثیر بگذارد. مشاهده بصری برای ارزیابی رنگ و همچنین ارزیابی کیفی انجام می‌شود.

یادآوری- رنگ محصول نهایی می‌تواند با رنگ یک گرانول مستربچ/ گرانول ترکیبی در حین فرایند تولید ایجاد شود.

۴-۴-۲ ریخت‌شناسی

نانوشئ می‌تواند به‌صورت نانولیف، نانوصفحه و نانوذره باشد. ریخت‌شناسی نانوشئ ممکن است خواص مانع‌شوندگی نانوچندسازه را تحت‌تاثیر قرار دهد. ریخت‌شناسی نانوشئ در ماده اولیه با استفاده از روش‌های TEM، SEM و AFM مشاهده می‌شود. تصاویر میکروسکوپی باید دارای نوار مقیاس باشند. تعداد تصاویر گرفته‌شده می‌تواند توسط طرفین ذی‌نفع تصمیم‌گیری شود.

۴-۵ نانوچندسازه (مشخصه اختیاری)

۴-۵-۱ شکل ظاهری نانوچندسازه

۴-۵-۱-۱ کلیات

مشاهده بصری برای ارزیابی رنگ و همچنین ارزیابی کیفی شفافیت یک فیلم نانوچندسازه انجام می‌شود.

۴-۵-۱-۲ رنگ

رنگ یک فیلم نانوچندسازه را می‌توان با رنگ یک گرانول مستربچ که در طی فرایند تولید گنجانده شده‌است، ایجاد کرد.

۴-۵-۱-۳ کدری[1] یک فیلم نانوچندسازه

کدری درصدی از نور عبور داده‌شده از میان فیلم است که از نور رو به جلو بیش از 0,044 rad (2,5°) منحرف می‌شود. کدری را می‌توان مطابق با استانداردهای بین‌المللی اندازه‌گیری کرد (به استاندارد ISO 14782 مراجعه شود). کدری به عوامل مختلفی از جمله نوع پلیمرها، شرایط فرآوری، بافت سطح و همچنین هر ماده افزودنی داخل پایه

1- Haze

پلیمری و همچنین قرارگرفتن در معرض محیط، به‌عنوان مثال آفتاب و رطوبت بستگی دارد.

۴-۵-۲ خواص مکانیکی

وارد کردن نانوشئ در پایه پلیمری می‌تواند خواص مکانیکی نانوچندسازه را تغییر دهد. تغییر در خواص مکانیکی می‌تواند به دلیل وجود نانوشئ و همچنین تغییرات ساختاری ناشی از وارد کردن نانواشیاء باشد. تنش تسلیم، مدول کشسانی/صلبیت (به استانداردهای ISO 527-1، ISO 527-2 و ISO 527-3 مراجعه شود)، استحکام پارگی (به استانداردهای ASTM D1922-15 وASTM D1004-13 مراجعه شود) و استحکام ضربه (به استاندارد ISO 180 مراجعه شود) مهمترین خواص مکانیکی برای بسته‌بندی مواد غذایی نانوچندسازه پلمیری هستند. تحلیل مکانیکی پویا همچنین می‌تواند برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی استفاده شود (به استاندارد ISO 6721-11 مراجعه شود).

۴-۵-۳ خواص فیزیکی

۴-۵-۳-۱ دمای ذوب

پلیمرهای نیمه‌بلوری دمای ذوبی را نشان می‌دهند که در آن، انتقال جامد به مایع در پلیمر اتفاق می‌افتد. این خاصیت برای بسته‌بندی‌هایی که غذا یا نوشیدنی در حین بسته‌بندی به‌صورت داغ پر می‌شوند، مهم است. دمای ذوب به وسیله DSC مطابق با استاندارد ISO 11357-1، اندازه‌گیری می‌شود. دمای ذوب پلیمرها ممکن است تحت‌تاثیر حضور نانواشیاء در داخل پایه پلیمری قرار گیرد. بنابراین، دمای ذوب نانوچندسازه‌ها باید درنظر گرفته شود.

۴-۵-۳-۲ دمای تبدیل شیشه‌ای

دمای تبدیل شیشه‌ای یکی از مهم‌ترین خصوصیات هر پلیمر و منطقه دمایی است که در آن، قسمت بی‌شکل پلیمر از یک ماده سخت شیشه‌ای به ماده‌ای نرم و لاستیکی شکل تبدیل می شود. مشابه دمای ذوب، دمای تبدیل شیشه‌ای برای پر کردن غذای داغ در بسته‌بندی‌های پلیمری مهم است. دمای داغ پر شدن نباید از دمای تبدیل شیشه‌ای پلیمر فراتر رود. دمای تبدیل شیشه‌ای پلیمر تحت‌تاثیر ترکیب نانوشئ قرار دارد. در بیشتر موارد، اضافه کردن نانواشیاء درون پایه پلیمر باعث افزایش دمای تبدیل شیشه‌ای می‌شود. دمای تبدیل شیشه‌ای مطابق با استاندارد ISO 11357-2 به وسیله DSC قابل اندازه‌گیری است. روش DSC مدوله روش دیگری برای تعیین دمای تبدیل شیشه‌ای است (به استاندارد ISO 19935-1 مراجعه شود).

همچنین از تجزیه‌وتحلیل مکانیکی پویا برای اندازه‌گیری دمای تبدیل شیشه‌ای استفاده می‌شود (به استاندارد ISO 6721-11 مراجعه شود). برای تجزیه‌وتحلیل مکانیکی پویا، آزمونه با هندسه شناخته‌شده در سامانه بارگذاری مکانیکی مناسب در محفظه نگهداری می‌شود که دمای محصور دارد یا کوره‌ای که با نرخ

کنترل‌شده می‌تواند گرم شود. آزمونه به‌صورت مکانیکی در یک بسامد ثابت نوسان دارد و تغییر در پاسخ ویسکوالاستیک ماده به‌عنوان تابعی از دمای آزمون، کنترل و ثبت می‌شود. خواص پویایی (مدول ذخیره‌سازی، مدول اتلاف و tan delta) از طریق بار و داده‌های جابجایی ثبت‌شده در طول آزمون تعیین می‌شوند (به استاندارد ISO 6721-1 مراجعه شود). دمای تبدیل شیشه‌ای به‌عنوان نقطه عطف در مدول ذخیره‌سازی در برابر نمودار دما تعیین می‌شود (به استاندارد ISO 6721-11 مراجعه شود).

۵ آماده‌سازی آزمونه‌ها

آزمونه‌های فیلم نانوچندسازه و آزمونه‌های فیلم پایه پلیمری باید مطابق با استاندارد ISO 2818 و استاندارد ISO 3167 تهیه شوند.

۶ گزارش‌دهی

۶-۱ کلیات

تولیدکننده یا تامین‌کننده باید اطلاعات عمومی را گزارش کند (به زیربند ۶-۲ مراجعه شود). نتایج اندازه‌گیری مشخصه‌های ضروری یک فیلم نانوچندسازه پلیمری در جدول ۱ ذکر شده‌است (به زیربند ۶-۳ مراجعه شود). مشخصه‌های اختیاری نیز می‌تواند به روشی مشابه گزارش شود.

۶-۲ اطلاعات عمومی

- نام سازنده؛
- نام محصول؛
- شماره بچ و شماره بهر[1]؛
- نوع مانع برای: اکسیژن، بخار آب و یا نور فرا بنفش- مرئی؛
- نام پلیمر پایه: به‌عنوان مثال پلی‌اتیلن؛
- نام و نوع نانواشیاء: به‌عنوان مثال نانوذره، نانولیف یا نانوصفحه و رس، سیلیس یا نانولوله کربنی؛
- روش ساخت نانوچندسازه.

۶-۳ نتایج اندازه‌گیری

۶-۳-۱ مشخصه‌های ضروری

- اندزه و توزیع اندازه نانواشیاء؛

1- Lot number

- ترکیب‌بندی شیمیایی نانواشیاء؛
- عبورپذیری کل نور فیلم نانوچندسازه، فیلم پایه پلیمری و تغییر آن و همچنین تغییر ضخامت آزمونه‌های آن؛
- میزان خاکستر فیلم نانوچندسازه؛
- نرخ عبورپذیری اکسیژن فیلم نانوچندسازه، فیلم پایه پلیمری و تغییر آن. همچنین تغییر ضخامت آزمونه‌های آن؛
- میزان WVTR فیلم نانوچندسازه، فیلم پایه پلیمری و تغییر آن و همچنین تغییر ضخامت آزمونه های آن؛
- عبورپذیری نور فرابنفش- مرئی فیلم نانوچندسازه و فیلم پایه پلیمری بر روی یک نمودار طیفی و تغییر آن و همچنین ضخامت آزمونه‌های آن.

۶-۳-۲ اطلاعات تکمیلی

- سازمان اندازه‌گیری‌کننده: نام و آدرس آزمایشگاه؛
- تاریخ اندازه‌گیری.

۶-۴ نمونه قالب جدول

جدول ۳ یک نمونه قالب برای گزارش است. مشخصه‌های اختیاری ممکن است به گزارش و جدول ۳ اضافه شود.

جدول ۳ – نمونه قالب جدول گزارش‌دهی

کلیات		
نام تولیدکننده:		
نام محصول:		
نام بچ:		
نام بهر:		
روش ساخت نانوچندسازه		
نوع مانع برای:	( ) اکسیژن	
	( ) بخار آب	
	( ) نور فرابنفش-مرئی	

جدول ۳- (ادامه)

<table>
<tr><td colspan="6">پایه پلیمری</td></tr>
<tr><td colspan="2">نوع پلیمر/ ترکیب‌بندی شیمیایی:</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">نانوشیء</td><td colspan="3"></td><td>تاریخ اندازه‌گیری</td></tr>
<tr><td colspan="2">نام و نوع:</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">اندازه و توزیع اندازه ذره</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">ترکیب‌بندی شیمیایی و میزان آن:</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">نانوچندسازه</td><td colspan="3"></td><td>تاریخ اندازه‌گیری</td></tr>
<tr><td colspan="2">میزان خاکستر</td><td colspan="3">کسر جرمی ٪</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">عبور نور کل</td><td>نانوچندسازه</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>پایه پلیمر</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>تغییر</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>ضخامت آزمونه</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="12">خواص مانع‌شوندگی</td><td rowspan="4">**OTR**</td><td>نانوچندسازه</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>زمینه پلیمر</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>تغییر</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>ضخامت آزمونه</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">**WVTR**</td><td>نانوچندسازه</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>زمینه پلیمر</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>تغییر</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>ضخامت آزمونه</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">عبورپذیری فرابنفش- مرئی</td><td>نانوچندسازه</td><td>بر روی نمودار طیف نمایش دهید</td><td></td></tr>
<tr><td>پایه پلیمر</td><td>بر روی نمودار طیف نمایش دهید</td><td></td></tr>
<tr><td>ضخامت آزمونه</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">فهرست نام آزمایشگاه ها و آدرس آن‌ها</td></tr>
</table>

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

افزایش ماندگاری مواد غذایی

الف-۱ کلیات

ماندگاری مواد غذایی به پارامترهای مختلفی از جمله نفوذ گاز و بخار آب و قرارگرفتن در معرض نور فرا بنفش– مرئی بستگی دارد. در میان گازها، اکسیژن بیشترین تاثیر را در ماندگاری مواد غذایی دارد. در واقع، غذا علاوه‌بر کنترل رطوبت، باید از قرار گرفتن در معرض نور فرا بنفش- مرئی و اکسیژن در داخل بسته‌بندی محافظت شود. هر نوع فساد یا کاهش کیفیت محصولات بسته‌بندی‌شده با تنظیم مناسب اکسیژن، بخار آب و نور فرابنفش- مرئی در حین نگهداری می‌تواند کاهش‌یافته و یا متوقف شود.

الف-۲ محافظت در برابر اکسیژن

اکسیژن باعث اکسایش و تسریع قهوه‌ای شدن فنولیک آنزیمی و غیرآنزیمی میوه تازه و رشد میکروارگانیسم‌ها می‌شود. بسته‌بندی بدون اکسیژن یا با اکسیژن کمتر (به‌عنوان مثال خلاء یا بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده) ماندگاری را افزایش می‌دهد و از زوال[1] جلوگیری می‌کند.

الف-۳ محافظت در برابر اتیلن

محصولات تازه به‌طور کلی هنگام تنفس، گاز اتیلن نشر می‌دهند و فضای بسته‌بندی داخلی را با این گاز پر می‌کنند. گاز اتیلن منجر به تسریع تنفس محصولات کشاورزی و در نتیجه فساد آن‌ها می‌شود. گاز اتیلن باید به‌وسیله جذب (بسته‌بندی فعال) یا انتقال مولکول‌های گاز از دیواره بسته‌بندی از فضای بسته‌بندی خارج شود.

الف-۴ کنترل سطح CO_2

گاز CO_2 یک محصول جانبی در حین تنفس محصولات تازه است. این گاز شرایطی را برای رشد میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی در داخل بسته‌بندی آماده می‌کند. گاز CO_2 باید از میان دیواره بسته‌بندی از بسته‌بندی خارج شود. هرچند، در برخی موارد سطح بالای گاز CO_2 در داخل بسته‌بندی می‌تواند ماندگاری مواد غذایی بسته‌بندی‌شده را افزایش دهد. بسته به نوع کاربرد، وجود سطح کنترل‌شده‌ای از گاز CO_2 داخل بسته‌بندی می‌تواند مطلوب باشد.

الف-۵ سطح رطوبت

1- Deterioration

بسته به محصول غذایی، رطوبت زیاد یا حتی پایین می‌تواند کیفیت محصول و افـزایش مانـدگاری را تثبیـت کند. انتخاب مناسب مواد بسته‌بندی و خواص مانع‌شوندگی، سطح رطوبت را تنظیم وکیفیت محصول نهـایی را پشتیبانی می‌کند. به‌عنوان مثال WVTR مواد بسته‌بندی (مواد پلیمری)، یکی از مهمترین عوامل اسـت و باید متناسب با نیاز رطوبت غذا باشد. میزان رطوبت بحرانـی یـک پـارامتر مفیـد بـرای اطمینـان از کیفیـت محصول است. هرچند، هنگامی که مقدار بحرانی خاصی از رطوبت وجود داشته باشد، تغییراتی در طعم یا بو ایجـاد مـی‌کنـد کـه مـی‌توانـد محصـول را غیرقابـل فـروش کنـد (امـا غیربهداشـتی نباشـد). به‌عنوان مثال، برخی از بیسکویت‌ها می‌توانند ٪ ۲ رطوبت بیشتر از میزان رطوبت موجود در هنگام پخت تازه جذب کنند و مصرف‌کننده قادر به تشخیص تفاوت آن نیست. هرچند، بالاتر از این سطح رطوبت، کاهش بارز کیفیت و از دست دادن تُردی موردنظر را خواهد داشت.

الف-۶ محافظت از نور

نور خورشید شامل پرتوهای فرابنفش و نور مرئی است که باعـث فسـاد زود هنگـام مـواد غـذایی (مخصوصـا روغن‌ها و غذاهای چرب) یا اجزای خاص مواد غذایی مانند برخی از ویتامین‌ها می‌شـود. طعـم‌هـا و رنـگ‌هـا همچنین می‌توانند به وسیله نور شدید فرابنفش- مرئی از بین بروند. پرتو فرابنفش- مرئی همچنین می‌توانـد باعـث ضـعیف شـدن[1] و تُـرد شـدن[2] و از دسـت دادن خـواص مـواد بسـته‌بنـدی شـود (بـه‌عنـوان مثـال پلی‌اتیلن). به‌طور کلی، تمام مواد غذایی باید دور از نور مستقیم خورشـید قرارگیرنـد. اگـر محصـول غـذایی ارگانیک به نور حساس باشد، باید مواد بسته‌بندی مناسب انتخاب شود.

1- Fade
2- Brittle

پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

بهبود خواص مانع‌شوندگی از طریق وارد کردن نانوشیء به داخل فیلم پلیمری

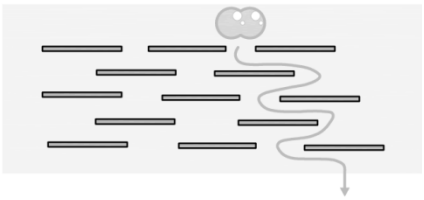
بدیهی است که مانع‌شوندگی عبور گاز با افزایش درصد جرمی نانواشیاء در داخل زمینه پلیمری افزایش می‌یابد. این موضوع به‌خوبی شناخته شده‌است که نفوذ گاز تا حد زیادی به انتشار گاز از میان پلیمر وابسته است و با حضور نانوشی، مسیر انتشار گاز هنگام عبور از میان پلیمر دشوارتر می‌شود. ضرایب انتشار می‌تواند به‌شدت تحت‌تاثیر ریخت‌شناسی نمونه فیلم پلیمری قرار گیرد. علاوه‌بر آن چیدمان و انباشتن مناسب نانوصفحات در پایه پلیمر (شکل ب ۱ مشاهده شود)، با طولانی کردن مسیر انتشار نفوذپذیرها از طریق یک مسیر پر پیچ‌وخم، منجر به بهبود محسوس خواص مانع‌شوندگی گاز می‌شود.

علاوه‌بر این، افزایش در مانع‌شوندگی گاز نیز به ساختار مواد پلیمری تحت‌تاثیر وجود نانوشئ مربوط می‌شود. در واقع، ترکیب نانوشیء می‌تواند ساختار ذاتی پایه پلیمری را تغییر دهد، مانند درجه بلورینگی، بلوری/ بی‌شکل، نسبت فاز، جهت‌گیری مولکولی پایه پلیمری، نوع فاز بلوری و اندازه بلورک[1]، به این معنا که ضخامت لاملا و اندازه اسفرولیت با پایه پلیمری اصلی مقایسه شده‌است. باید توجه شود که شرایط فرایند به عنوان مثال دما و فشار ذوب، در طی تولید مواد پلیمری نانوچندسازه نیز بر ساختارهایی که به آن‌ها اشاره شده‌است، تاثیر می‌گذارد. ساختار این پلیمرها همچنین می‌توانند مستقیما مانع‌شوندگی و همچنین خواص مکانیکی و گرمایی را تحت‌تاثیر قرار دهد.

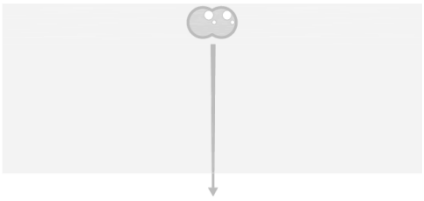
با استفاده از نانواشیاء محافظ UV-Vis مانند نانواکسید روی (ZnO) و نانواکسید تیتانیم (TiO_2)، می‌توان ویژگی‌های مانع‌شوندگی نور را بهبود بخشید.

اختلاط یک نانوشیء می‌تواند در شرایط ذوب از طریق اکسترودر یا میکسر داخلی انجام شود. علاوه‌بر این، پلیمریزاسیون درجا و ساخت نانوچندسازه در حالت محلولی از روش‌های دیگر برای وارد کردن نانوشئ در پایه پلیمر است.

1- Crystallite



ب



الف

راهنما:

الف بدون نانورس؛

ب با نانورس>

شکل ب -۱- بهبود خواص مانع‌شوندگی با استفاده از نانوصفحات به‌واسطه مسیر پر پیچ وخم

پیوست پ

(آگاهی‌دهنده)

تاثیر پارامترهای فرایند بر خواص مانع‌شوندگی

خواص مانع‌شوندگی مواد پلیمری تحت‌تاثیر فاز بلوری پایه پلیمر قرار دارد. در واقع، تراکم بلورک‌ها عبور گاز، بخار آب و نور فرا بنفش- مرئی را مانع می‌شود.

مقاومت در برابر جریان/نفوذپذیری تابع دو عامل است: درجه بلورینگی و توزیع اندازه بلور مواد پایه پلیمری. با تنظیم این دو عامل، این امکان وجود دارد که دو آزمونه پلیمری که از نظر شیمیایی کاملا یکسان هستند، دارای نفوذپذیری بسیار متفاوت باشند. تغییرات در خواص مربوط به نفوذپذیری را می‌توان به تفاوت در مسیر جریان یا مسیر پر پیچ وخم نسبت داد.

یادآوری- قابل‌توجه است که در مورد یک نانوشئ با شکل نانولیف/ نانومیله و نانوصفحه (به استاندارد ملی ایران-ایزو شماره ۲-۸۰۰۰۴ مراجعه شود)، شرایط فراوری می‌تواند جهت‌گیری ترجیحی در پایه پلیمری ایجاد کند. بدیهی است که جهت‌گیری نانوشیء تاثیر مستقیمی بر نفوذپذیری بخار آب/گاز دارد.

پیوست ت

(آگاهی‌دهنده)

مشخصه‌های پلیمری موثر بر خواص مانع‌شوندگی

ت-۱ نوع فاز بلوری و بلورینگی

در مورد پلیمرهای نیمه‌بلوری، یعنی پلیمری که در آن هر دو فاز/ لایه بلور و بی‌شکل وجود دارد، نوع فاز بلوری و درجه بلورینگی پلیمر تاثیر مستقیم بر خواص مانع‌شوندگی پلیمر و همچنین بر خواص فیزیکی و مکانیکی دارد. به‌طور مثال، برخی از انواع فازهای بلوری دارای ساختار متراکم‌تری نسبت به بقیه هستند. این ساختار متراکم‌تر مانع‌شوندگی فیلم پلیمری را در برابر عبور گاز، بخار آب و UV-Vis از طریق دیواره بسته‌بندی بهبود می‌بخشد. علاوه‌بر این، درجه بالاتری از تبلور پلیمر، مقاومت مانع‌شوندگی بالاتری از فیلم پلیمری ایجاد می‌کند.

روش XRD را می‌توان برای تعیین نوع فاز بلوری و درجه بلورینگی استفاده کرد. درجه بلورینگی به‌عنوان نسبت سطح کل زیر پیک‌های پراش به‌علاوه سطح زیر منحنی کوهان[1] مربوط به فاز بی‌شکل محاسبه می‌شود.

درجه بلورینگی را می‌توان به‌وسیله DSC نیز ارزیابی کرد (به استاندارد ISO 11557-1 مراجعه شود).

ت-۲ ریخت‌شناسی

ریخت‌شناسی پایه پلیمری نانوچندسازه می‌تواند بر خواص مانع‌شوندگی در برابر عبور گاز، بخار آب و UV-Vis تاثیر بگذارد. ریخت‌شناسی شامل اندازه اسفرولیت، ساختار پوسته- هسته، ساختار در سطح مقطع محصول نهایی (دارای تبلور، اندازه اسفرولیت یا فاز بلوری) و اندازه و شکل فاز ثانویه در مخلوط‌ها و کوپلیمرها است. ریخت‌شناسی مزوسکوپی پلیمر نانوچندسازه به‌وسیله SEM ، TEM و همچنین از طریق میکروسکوپ نوری عبوری (TOM)[2] و میکروسکوپ نوری بازتابنده (ROM)[3] مشاهده می‌شود.

اطلاعات زیر را می‌توان با مطالعه ریخت‌شناسی پلیمر نانوچندسازه به‌دست آورد:

الف- اندازه اسفرولیت از پلیمرهای نیمه‌بلوری؛

ب - ریخت‌شناسی پوسته-هسته در سطح مقطع محصول نهایی، منطقه پوسته و هسته در محصول پلیمری ممکن است دارای درجه متفاوتی از بلورینگی، جهت‌گیری لاملا و نوع بلور باشد؛

1- Humpy curve
2- Transmission Optical Microscopy
3- Reflected Optical Microscopy

پ- ریخت‌شناسی مخلوط‌های پلیمر در موارد مخلوط‌های پلیمری و کوپلیمرها.

برای مشاهده ریخت‌شناسی پایه پلیمر، پایه پلیمر باید حکاکی شود یا با یک محلول خاص رنگ‌آمیزی شود. محلول حکاکی برای برخی از مخلوط‌های پلیمری یا پلیمری منحصربه‌فرد است. تتراکسید روتنیم و تتراکسید اسمیم[1] پرکاربردترین محلول‌های رنگ‌آمیزی برای TEM یک ماده پلیمری نانوچندسازه هستند.

1 - Osmium tetroxide

کتاب‌نامه

[1] ISO 180, Plastics — Determination of Izod impact strength

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۶۹۸۱: سال ۱۳۸۲، پلاستیک‌ها - تعیین مقاومت ضربه به روش IZOD- روش آزمون، با استفاده از استاندارد ISO 180: 2000 تدوین شده‌است.

[۲] استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۲۴۴: سال ۱۳۹۴، پلاستیک‌ها - واژه‌نامه

[3] ISO 527-1, Plastics — Determination of tensile properties — Part 1: General principles

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۶۶۲۱: سال ۱۳۹۹، پلاستیک‌ها– تعیین خواص کششی- قسمت ۱: اصول کلی، با استفاده از استاندارد ISO 527-1: 2019 تدوین شده‌است.

[4] ISO 527-2, Plastics — Determination of tensile properties — Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۶۶۲۱: سال ۱۳۹۳، پلاستیک‌ها– تعیین خواص کششی- قسمت ۲: شرایط آزمون برای پلاستیک‌های قالب‌گیری و روزن‌رانی، با استفاده از استاندارد ISO 527-2: 2012 تدوین شده‌است.

[5] ISO 527-3, Plastics — Determination of tensile properties — Part 3: Test conditions for films and sheets

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۳-۶۶۲۱: سال ۱۳۹۸، تعیین خواص کششی – قسمت ۳: شرایط آزمون برای فیلم‌ها و ورق‌ها، با استفاده از استاندارد ISO 527-3: 2018 تدوین شده است.

[۶] استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۸۲۷: سال ۱۳۹۷، کاغذ و مقوا- تعیین مقدار انتقال بخار آب - روش وزن‌سنجی (بشقابی)

[7] ISO 2818, Plastics — Preparation of test specimens by machining

[8] ISO 3146: 2000, Plastics — Determination of melting behaviour (melting temperature or melting range) of semi-crystalline polymers by capillary tube and polarizing-microscope methods

[9] ISO 3167, Plastics — Multipurpose test specimens (intended for processing by injection or direct compression moulding)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۰۵۸: سال ۱۳۹۴، پلاستیک‌ها- آزمونه‌های چندمنظوره، با استفاده از استاندارد ISO 3167: 2014 تدوین شده‌است.

[10] ISO 3451-1, Plastics — Determination of ash — Part 1: General methods

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۲۳۷: سال ۱۳۹۸، پلاستیک‌ها- اندازه گیری خاکستر- قسمت۱ : روش‌های عمومی با استفاده از استاندارد ISO 3451-1: 2019 تدوین شده‌است.

[11] ISO 6721-1, Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 1: General principles

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۴۱۶: سال ۱۳۹۸، پلاستیک ها – تعیین خواص مکانیکی دینامیکی – قسمت اول : اصول کلی، با استفاده از استاندارد ISO 6721-1: 2019 تدوین شده‌است.

[12] ISO 6721-11, Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 11: Glass transition temperature

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۹۴۱۶: سال ۱۳۹۸، پلاستیک‌ها– تعیین خواص مکانیکی دینامیکی– قسمت ۱۱: دمای گذار شیشه‌ای، با استفاده از استاندارد ISO 6721-11: 2019 تدوین شده‌است.

[13] ISO 11357-1:2016, Plastics — Differential scanning calorimetry (DSC) — Part 1: General principles

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۱۸۶: سال ۱۳۹۴، پلاستیک ها-گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC) -قسمت ۱: اصول کلی، با استفاده از استاندارد ISO 11357-1:2009 تدوین شده‌است.

[14] ISO 11357-2: 2020, Plastics — Differential scanning calorimetry (DSC) — Part 2: Determination of glass transition temperature and glass transition step height

[۱۵] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۶۷۶: سال ۱۳۹۳، پلاستیک‌ها- وزن‌سنجی گرمایی (TG) پلیمرها - قسمت ۱: اصول کلی

[16] ISO 13320, Particle size analysis — Laser diffraction methods

[17] ISO 13468-1: 2019, Plastics — Determination of the total luminous transmittance of transparent materials — Part 1: Single-beam instrument

[18] ISO 13468-2:1999, Plastics — Determination of the total luminous transmittance of transparent materials — Part 2: Double-beam instrument

[19] ISO 14782, Plastics — Determination of haze for transparent materials

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۳۱۴: سال ۱۳۸۹، پلاستیک‌ها- تعیین میزان کدورت مواد شفاف- روش آزمون، با استفاده از استاندارد ISO 14782: 1999/Cor 2005 تدوین شده‌است.

[۲۰] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۱۷۶: سال ۱۳۸۶، پلاستیک‌ها- فیلم و ورقه تعیین سرعت نفوذ گاز- قسمت ۱: روش تفاضلی- فشاری

[21] ISO 15105-2: 2003, Plastics — Film and sheeting — Determination of gas-transmission rate — Part 2: Equal-pressure method

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۱۱۷۶: سال ۱۳۸۶، پلاستیک‌ها- فیلم و ورقه تعیین سرعت نفوذ گاز- قسمت دوم: روش فشار مساوی، با استفاده از استاندارد ISO 15105-2: 2007 تدوین شده‌است.

[۲۲] استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۸، پلاستیک‌ها- فیلم و ورق- تعیین سرعت عبور بخار آب-قسمت ۱: با استفاده از بخارسنج

[۲۳] استاندارد ملی ایران شماره ۲- ۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۹، پلاستیک‌ها- فیلم و ورق- تعیین سرعت عبور بخار آب-قسمت ۲: به روش مادون قرمز

[۲۴] استاندارد ملی ایران شماره ۳- ۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۹، پلاستیک‌ها- فیلم و ورق- تعیین سرعت عبور بخار آب- قسمت ۳: به روش الکترولیتی

[۲۵] استاندارد ملی ایران شماره ۴- ۱۲۶۹۳: سال ۱۳۸۸، پلاستیک‌ها - فیلم و ورق – تعیین سرعت عبور بخار اب - قسمت۴ : روش حسگر آشکارساز کروماتوگرافی گازی

[۲۶] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۹۴۵: سال ۱۳۹۱، کیفیت آب- کاربرد طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی- قسمت۱: راهنمایی‌های کلی

[27] ISO 17867:2015, Particle size analysis — Small-angle X-ray scattering

[۲۸] استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۹۳: ۱۹۱۵۲، کیفیت خاک-تعیین ترکیب عنصری به روش فلوئورسانس پرتو ایکس

[29] ISO 19430:2016, Particle size analysis — Particle tracking analysis (PTA) method

[30] ISO 19749, Nanotechnologies — Measurements of particle size and shape distributions by scanning electron microscopy

[31] ISO 19935-1, Plastics — Temperature modulated DSC — Part 1: General principles

[۳۲] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۱۹۲۷: سال ۱۳۹۶، بسته‌بندی- واژه‌نامه- قسمت ۱: اصطلاحات عمومی

[33] ISO 21363, Nanotechnologies — Measurements of particle size and shape distributions by transmission electron microscopy

[34] ISO 22309:2011, Microbeam analysis — Quantitative analysis using energy-dispersive spectrometry (EDS) for elements with an atomic number of 11 (Na) or above

[۳۵] استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۲۴۷: سال ۱۳۹۶، آنالیز اندازه ذره- پراکندگی نور دینامیک (DLS)

[۳۶] استاندارد ملی ایران - ایزو شماره ۱-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو- واژه نامه -قسمت ۱- اصطلاحات اصلی

[۳۷] استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۲-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو -واژه نامه -قسمت ۲: نانواشیاء،

[۳۸] استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۸۳۹۲: سال ۱۳۹۳، فناوری نانو – واژه‌نامه– قسمت ۴: مواد نانوساختاریافته

[39] ASTM D1004-13, Standard Test Method for Tear Resistance (Graves Tear) of Plastic Film and Sheeting

[40] ASTM D1746-03, Standard Test Method for Transparency of Plastic Sheeting

[41] ASTM D1922-15, Standard Test Method for Propagation Tear Resistance of Plastic Film and Thin Sheeting by Pendulum Method

[42] ASTM E2859-11, Standard Guide for Size Measurement of Nanoparticles Using Atomic Force Microscopy

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۶۰۳: سال ۱۳۹۷، فناوری نانو- تعیین اندازه نانوذرات با استفاده از روش میکروسکوپی نیروی اتمی- راهنما، با استفاده از استاندارد ASTM E2859: 2017 به روش ترجمه تغییریافته تدوین شده است.

[43] Alhendi A., Choudhary R. Current Practices in Bread Packaging and Possibility of Improving Bread Shelf Life by Nanotechnology. International J Food Science and Nutrition Engineering. 2013, 3(4), pp. 55–60