

تماس تلفنی جهت دریافت مشاوره:

۱. مشاور دفتر تهران (آقای محسن ممیز)

۰۹۱۲ ۹۶۳ ۹۳۳۶

۲. مشاور دفتر اصفهان (سرکار خانم لیلا ممیز)

۰۹۱۳ ۳۲۲ ۸۲۵۹

مجموعه سیستم مدیریت ایزو با هدف بهبود مستمر عملکرد خود و افزایش رضایت مشتریان سعی بر آن داشته، کلیه استانداردهای ملی و بین المللی را در فضای مجازی نشر داده و اطلاع رسانی کند، که تمام مردم ایران از حقوق اولیه شهروندی خود آگاهی لازم را کسب نمایند و از طرف دیگر کلیه مراکز و کارخانه جات بتوانند به راحتی به استانداردهای مورد نیاز دسترسی داشته باشند.

این موسسه اعلام می دارد در کلیه گرایشهای سیستم های بین المللی ISO پیشگام بوده و کلیه مشاوره های ایزو به صورت رایگان و صدور گواهینامه ها تحت اعتبارات بین المللی سازمان جهانی IAF و تامین صلاحیت ایران می باشد.

هم اکنون سیستم خود را با معیارهای جهانی سازگار کنید...





جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran  
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۵۷۸۹-۱-۴

چاپ اول

۱۳۹۷

INSO  
15789-1-4  
1st Edition  
2019

Identical with  
IEC 62788-1-4:  
2016

روش‌های اندازه‌گیری مواد مورد استفاده در  
مدول‌های فتوولتائیک - قسمت ۱-۴:  
غشاهای محافظ - اندازه‌گیری عبور اپتیکی و  
محاسبه عبور فوتون هم‌وزن-خورشید،  
شاخص زردی و طول‌موج قطع UV

Measurement procedures for materials  
used in photovoltaic modules –Part 1-4:  
Encapsulants – Measurement of optical  
transmittance and calculation of the  
solar-weighted photon transmittance,  
yellowness index, and UV cut-off  
wavelength

ICS: 27.160

استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱-۱۵۷۸۹ (چاپ اول): سال ۱۳۹۷

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: 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: ۸۱۱۴-۳۲۸۰ (۰۲۶)

رایانامه: [standard@isiri.gov.ir](mailto: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](mailto: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 ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده 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 منصفانه 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 کمیته 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 در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته 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)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> 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 زمینه 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، گواهینامه 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 for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«روش‌های اندازه‌گیری مواد مورد استفاده در مدول‌های فتوولتائیک - قسمت ۱-۴: غشاهای محافظ - اندازه‌گیری عبور اپتیکی و محاسبه عبور فوتون هم‌وزن - خورشید، شاخص زردی و طول موج قطع UV»

### رئیس:

خدائی‌فرد، شراره

(کارشناسی ارشد فیزیک)

### سمت و/یا محل اشتغال:

رئیس اداره اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها - اداره کل استاندارد

استان زنجان

### دبیر:

خرّم، بهرام

(کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)

کارشناس مسئول امور استاندارد - اداره کل استاندارد استان

زنجان

### اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

بابایی، حسین

(کارشناسی مهندسی برق - کنترل)

مدیر کنترل کیفیت - شرکت کابل ابهر

رسولی، رضا

(کارشناسی مهندسی برق - مخابرات)

هیئت علمی - دانشگاه زنجان

سهیلی، عبدالکریم

(کارشناسی فیزیک)

مدیر تضمین کیفیت - شرکت سیم و کابل کمان زنجان

منشی‌پور، سمیرا

(کارشناسی ارشد مهندسی صنایع)

کارشناس دفتر استانداردها و مقررات فنی - سازمان انرژی‌های

تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)

میردهقان، سید مهدی

(کارشناسی مهندسی برق - قدرت)

مدیر کنترل فنی - شرکت آزمون پژوهان ایساتیس

مدیر طرح و برنامه - شرکت الکترو کاوه

نیک‌نژاد، علی

رئیس کمیته فنی متناظر SC-23E

(کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک)

### ویراستار:

خدائی‌فرد، شراره

(کارشناسی ارشد فیزیک)

رئیس اداره اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها - اداره کل استاندارد

استان زنجان

## فهرست مندرجات

| صفحه | عنوان                                                      |
|------|------------------------------------------------------------|
| و    | پیش گفتار                                                  |
| ۱    | ۱ هدف و دامنه کاربرد                                       |
| ۱    | ۲ مراجع الزامی                                             |
| ۲    | ۳ اصطلاحات و تعاریف                                        |
| ۴    | ۴ اصول کلی                                                 |
| ۴    | ۵ دستگاه                                                   |
| ۴    | ۶ آزمون‌ها                                                 |
| ۴    | ۶-۱ عبور نامی (و بدون هوازدگی) برای سلول                   |
| ۶    | ۶-۲ مطالعات هوازدگی                                        |
| ۷    | ۶-۳ شیشه برای لایه‌های بالایی/لایه‌های زیرین               |
| ۷    | ۶-۴ تعداد آزمون‌ها                                         |
| ۷    | ۶-۵ پیش‌آماده‌سازی آزمون‌ها                                |
| ۸    | ۷ روش اندازه‌گیری                                          |
| ۸    | ۷-۱ اصول کلی                                               |
| ۸    | ۷-۲ آماده‌سازی آزمون                                       |
| ۸    | ۷-۳ کالیبراسیون ابزار (اندازه‌گیری‌های خط مبنا)            |
| ۸    | ۷-۴ اندازه‌گیری‌های آزمون                                  |
| ۹    | ۷-۵ اندازه‌گیری‌های شاهد                                   |
| ۹    | ۸ محاسبه و بیان نتایج                                      |
| ۹    | ۸-۱ پس از پردازش داده‌ها                                   |
| ۹    | ۸-۲ محاسبه عبور هموزن                                      |
| ۱۰   | ۸-۳ محاسبه شاخص زردی (YI)                                  |
| ۱۰   | ۸-۴ محاسبه طول موج قطع UV                                  |
| ۱۱   | ۹ عدم قطعیت اندازه‌گیری‌ها                                 |
| ۱۲   | ۱۰ گزارش آزمون                                             |
| ۱۴   | پیوست الف (آگاهی‌دهنده) تحلیل‌های پیشرفته عبور (ضرایب جذب) |
| ۱۷   | پیوست ب (آگاهی‌دهنده) اعمال کارایی کوانتومی سلول خاص       |
| ۱۹   | کتاب‌نامه                                                  |
| ۱۰   | جدول ۱- جزئیات پارامترهای عبور هموزن-خورشید                |

## پیش‌گفتار

استاندارد «روش‌های اندازه‌گیری مواد مورد استفاده در مدول‌های فتوولتائیک - قسمت ۱-۴: غشاهای محافظ - اندازه‌گیری عبور اپتیکی و محاسبه عبور فوتون هم‌وزن-خورشید، شاخص زردی و طول‌موج قطع UV» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در یکصد و ششمین اجلاس کمیته ملی استاندارد انرژی مورخ ۱۳۹۷/۱۱/۲۹ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران - ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی تدوین مربوط مورد توجه 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:

IEC 62788-1-4: 2016, Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules—Part 1-4: Encapsulants – Measurement of optical transmittance and calculation of the solar-weighted photon transmittance, yellowness index, and UV cut-off wavelength

## روش‌های اندازه‌گیری مواد مورد استفاده در مدول‌های فتوولتائیک -

### قسمت ۱-۴: غشاهای محافظ - اندازه‌گیری عبور اپتیکی و محاسبه عبور فوتون هم وزن-خورشید، شاخص زردی و طول‌موج قطع UV

#### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای اندازه‌گیری عبور اپتیکی ماده غشاء محافظ مورد استفاده در مدول‌های فتوولتائیک (PV)<sup>۱</sup> است. اندازه‌گیری‌های استاندارد شده در این روش اجرایی، مقدار عبور مورد انتظار از غشاء محافظ به سلول PV را تعیین می‌کند. محاسبات بعدی عبور هم‌وزن-خورشید<sup>۲</sup>، امکان مقایسه بین مواد مختلف را فراهم می‌کند. نتایج مواد بدون هوازدگی<sup>۳</sup> ممکن است در داده‌برگ‌های سازنده غشاء محافظ، در توسعه فرآیند یا مواد سازنده، در کنترل کیفیت ساخت (پذیرش مواد) مورد استفاده قرار گیرند و یا در تحلیل عملکرد مدول اعمال شوند.

این روش اندازه‌گیری همچنین می‌تواند برای پایش عملکرد ماده غشاء محافظ پس از هوازدگی، برای کمک به ارزیابی دوام آنها کاربرد داشته باشد. اندازه‌گیری‌های استاندارد شده، برای بازبینی ناحیه داخلی مدول PV، به عنوان مثال بدون اثرات انتشار اکسیژن دور لبه‌های سلول‌ها، در نظر گرفته می‌شوند. محاسبه بعدی شاخص زردی امکان تعیین دوام و ملاحظات مربوط به ظاهر را فراهم می‌سازد. تغییر مقدار عبور، شاخص زردی، و طول‌موج قطع فرابنفش (UV)<sup>۴</sup> می‌تواند توسط سازندگان غشاء محافظ یا مدول برای مقایسه دوام مواد مختلف به کار رود.

#### ۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

- 
- 1- Photovoltaic
  - 2- Solar-weighted transmittance
  - 3- Unweathered
  - 4- Ultraviolet

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۱۲۸: سال ۱۳۹۳، پلاستیک‌ها - تعیین شاخص زردی و تغییر در شاخص زردی

2-2 IEC 60904-3, Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۴۱۱۵: سال ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۳: اصول اندازه‌گیری برای افزارهای خورشیدی فتوولتائیک (PV) زمینی با داده‌های تابش طیفی مرجع، با استفاده از استاندارد IEC 60904-3: 2008 تدوین شده است.

2-3 ISO 291: 2008, Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۱۷: سال ۱۳۸۷، پلاستیک‌ها- شرایط محیطی استاندارد برای رسیدن به شرایط تثبیت و آزمون، با استفاده از استاندارد ISO 291:1997 تدوین شده است.

2-4 ISO 11664-1: 2007, Colorimetry – Part 1: CIE standard colorimetric observers

2-5 ISO 11664-2: 2007, Colorimetry – Part 2: CIE standard illuminants

2-6 ISO 13468-2: 1999, Plastics – Determination of the total luminous transmittance of transparent materials – Part 2: Double-beam instrument

2-7 ASTM E424-71: 2007, Standard test methods for solar energy transmittance and reflectance (Terrestrial) of sheet material

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود<sup>۱</sup>:

۱-۳

عبور هم‌وزن-خورشید تابش فوتون

**solar-weighted transmittance of photon irradiance**

مقدار تابش فوتون طیفی خورشید ( $E_{p\lambda}$ ,  $m^{-2}.s^{-1}.nm^{-1}$ ) از گستره طیف خورشید بر زمین (۲۸۰ nm تا ۲۵۰۰ nm) (به جدول ۱ مراجعه شود) که به صورت اپتیکی از آزمون عبور کرده است.

یادآوری- تابش فوتون ( $E_{p\lambda}$ ,  $m^{-2}.s^{-1}.nm^{-1}$ ) به انرژی با طول موج خاص شار اپتیکی اطلاق می‌شود و نباید با تابش طیفی اشتباه ( $E_{\lambda}$ ,  $W. m^{-2}.nm^{-1}$ ) گرفته شود.

---

۱- اصطلاحات و تعاریف به کار رفته در استانداردهای ISO و IEC در وبگاه‌های [www.iso.org/obp](http://www.iso.org/obp) و [www.electropedia.org/](http://www.electropedia.org/) قابل دسترسی است.

## ۲-۳

### عبور هموزن-خورشید تابش فوتون نماینده

#### representative solar-weighted transmittance of photon irradiance

مقدار تابش فوتون طیفی خورشید ( $E_{p\lambda}$ ,  $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$ ) از گستره طیف خورشید بر زمین (۳۰۰ nm تا ۲۵۰ nm) (به جدول ۱ مراجعه شود) که به صورت اپتیکی از آزمون عبور کرده است.

یادآوری- در مورد افزاره PV، عبور هموزن-خورشید تابش فوتون نماینده، سرتاسر گستره‌ای تعریف می‌شود که توسط افزاره PV نماینده مورد استفاده قرار می‌گیرد (که ممکن است شامل طول‌موج‌های کمتر از ۲۸۰ nm یا بیشتر از ۲۵۰۰ nm نشود).

## ۳-۳

### طول موج قطع فرابنفش (UV)

$$\lambda_{\text{cUV}}$$

#### UV cut-off wavelength

طول موج نوری که زیر طول موج جذب اپتیکی غشاء محافظ و بالای طول موج عبور غشاء محافظ در نظر گرفته شده است.

یادآوری- در این روش اجرایی، عبور کامل ۱۰٪ (متناظر با جذب اپتیکی ۱) به عنوان آستانه طول موج قطع UV در نظر گرفته می‌شود. همان طوری که در [9]<sup>۱</sup> بیان شده است، طول موج قطع UV می‌تواند برای تعیین اثرات هوازگی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

## ۴-۳

### هوازگی

#### weathering

فرآیند قرارگیری آزمون‌ها در شرایط محیطی که می‌تواند شامل اشعه UV، دما، رطوبت و ازن باشد.

یادآوری- هوازگی ممکن است در محیط‌های مصنوعی یا طبیعی رخ دهد. هوازگی می‌تواند با نرخ عادی (میدانی) یا نرخ شتاب یافته رخ دهد.

## ۵-۳

### شاخص زردی

$$YI$$

#### yellowness index

مقدار محاسبه شده شناسایی‌کننده زردی آزمون که توسط شخص ناظر درک می‌شود (به استاندارد ASTM E313-10 مراجعه شود).

۱- اعداد داخل کروشه به کتاب‌نامه ارجاع داده شده است.

یادآوری -  $YI$  می‌تواند برای تعیین مقدار هوازگی مورد استفاده قرار گیرد.

## ۴ اصول کلی

عبور طیفی کل آزمون‌های لایه‌ای، حاوی ماده غشاء محافظ، باید با استفاده از اسپکتروفتومتر<sup>۱</sup> مجهز به یک کره جمع‌کننده اندازه‌گیری شود. عبور هم‌وزن-خورشید، شاخص زردی، و طول‌موج قطع UV پس از اندازه‌گیری‌های عبور محاسبه خواهد شد.

عبور اندازه‌گیری شده با استفاده از این روش اجرایی می‌تواند در اغلب تحلیل‌های اپتیکی پیشرفته برای بهبود صحت تحلیل عملکرد PV یا تشخیص ماده غشاء محافظ مختلف مورد استفاده قرار گیرد، همان طوری که در پیوست الف توضیح داده شده است. اگر کارایی کوانتومی سلول PV مشخص باشد، عبور اندازه‌گیری شده با استفاده از این روش اجرایی می‌تواند برای تخمین عملکرد مدول (بازده فعلی) استفاده شود، همان طوری که در پیوست ب توضیح داده شده است. این روش سعی ندارد تا تغییرات عبور در اثر زاویه برخورد که ممکن است با ساعت روز، شرایط آسمان، و هندسه مدول متفاوت باشد را محاسبه نماید، به ویژه اگر متمرکزکننده استفاده شده باشد.

## ۵ دستگاه

ابزار آزمون باید شامل اسپکتروفتومتر دو پرتو مجهز به یک کره جمع‌کننده باشد. چنانچه بازتاب درگاه بتواند به درستی محاسبه شود استفاده از اسپکتروفتومتر تک پرتو امکان‌پذیر است، همان طوری که در پیوست الف و [2] بیان شده است. جزئیات مربوط به ساخت و پیکربندی تجهیز آزمون را می‌توان از استاندارد ISO 13468-2 یا استاندارد ASTM E424-71 به دست آورد. برای محاسبه عبور هم‌وزن-خورشید با استفاده از طیف سراسری AM1.5 همان طوری که در استاندارد IEC 60904-3 بیان شده است، گستره اندازه‌گیری دست‌کم ۲۸۰ nm تا ۵۰۰ nm مورد نیاز است. افزایش طول‌موج کمتر از ۱ nm برای اندازه‌گیری ترجیح داده می‌شود، با این حال، افزایش تا و خود ۵ nm با درون‌یابی خطی تا ۱ nm مجاز است.

یک کره جمع‌کننده دست‌کم به قطر ۱۰۰ mm با سطح درگاه کمتر از ۵٪، همان طوری که در [11] بیان شده است، برای کاهش خطا در اندازه‌گیری توصیه می‌شود. سطح درگاه همان طوری که در [9] بیان شده است بهتر است بیش از ۱۳٪ نباشد.

---

1- Spectrophotometer

## ۶ آزمون‌ها

### ۶-۱ عبور نامی (و بدون هوازدگی) برای سلول

آزمون‌ها باید با استفاده از ساختار لایه‌ای شیشه/غشاء محافظ، همان طوری که در پیوست الف و [12] بیان شده است، ساخته شود.

عبور هم‌وزن-خورشید در نظر گرفته شده به عنوان نماینده، که به صورت بند ۸ محاسبه شده است، می‌تواند به منظور گزارش برای یک داده‌برگ سازنده غشاء محافظ استفاده شود.

آزمون‌ها باید حاوی منطقه بازبینی عاری از نقص قابل مشاهده شامل: خراش‌ها، چاله‌ها، نشانه‌های فرورفتگی، حباب‌ها، یا سایر عیوب باشند. منطقه بازبینی باید دست‌کم ۵۰٪ بزرگ‌تر از قطر سطح اندازه‌گیری ابزار آزمون باشد.

**یادآوری ۱-** در بیشتر دستگاه‌های اسپکتروفتومتری تجاری، لکه‌ای به اندازه  $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$  معمول است. استفاده از آزمون‌های با دست‌کم ۲ تا ۳ برابر این اندازه، یکنواختی (ناشی از ساخت) و کار با آن (در مدت اندازه‌گیری) را بهبود خواهد داد.

بهتر است اندازه (طول و عرض) آزمون به قدر کافی باشد تا بتواند در داخل ابزار آزمون محکم شود. ضخامت نامی آزمون‌های غشای محافظ باید برابر با ضخامت مورد نظر برای استفاده در مدول‌های PV باشد. آزمون‌ها بهتر است مطابق با مشخصات سازنده باشند و با استفاده از فرآیندی که تا حد ممکن مشابه روش مورد استفاده در فرآیند تولید است، پخته<sup>۱</sup> (در صورت کاربرد) شوند.

ضخامت قسمت غشای محافظ نمونه آزمون، پس از آماده‌سازی آن باید اندازه‌گیری شود. ضخامت باید به صورت میانگین از سه اندازه‌گیری به دست آمده در مکان‌های مختلف بر روی ناحیه آزمون نمونه استخراج شود.

صفحات شیشه‌ای باید با کمترین لبه باریک‌شونده یا کمترین لبه گشاد شونده موازی باشند. به این معنی که، تفاوت ضخامت غشای محافظ در هر گوشه نباید بیشتر از ۱۰٪ از آن در مرکز نمونه باشد. در لامینه‌کننده کیسه‌ای<sup>۲</sup> نوعی، این کار نیازمند استفاده از یک قاب دور نمونه‌ها در مدت لامینه کردن خواهد بود، اما هر وسیله دیگری مطابق با این استاندارد، قابل قبول است.

سطح پشتی آزمون‌ها (غشای محافظ بدون پوشش به منظور مواجهه با کره جمع‌کننده) نباید دارای بافت جدی باشد.

---

1- Cured  
2- Bag Laminator

برای تفکیک‌پذیری بیشتر به منظور تشخیص دقیق‌تر مواد، ممکن است مطالعات بعدی از لایه غشای محافظ ضخیم‌تر سود جوید که برای تعیین ضریب تضعیف اپتیکی تحلیل می‌شود، همان طوری که در پیوست الف بیان شده است.

اگر ماده غشای محافظ به منظور استفاده با لایه‌های بالایی غیر از شیشه باشد، همین روش اجرایی می‌تواند در مطالعات بعدی استفاده شود. آزمون‌هایی که از لایه‌های بالایی پلیمری استفاده می‌کنند ممکن است در معرض قطبیت اپتیکی رخ داده در ابزار واقع شوند. همان طوری که [9] و [12] بیان شده است، برای کمینه رساندن اثرات قطبش بهتر است از ابزار قطبیت‌زدایی استفاده شود.

**یادآوری ۲-** در آزمون‌هایی که در معرض مه اپتیکی هستند می‌توان با استفاده از لایه پراکنده‌کننده، اثر مه را کاهش داد، همان طوری که در [13] بیان شده است.

## ۲-۶ مطالعات هوازدگی

توصیه می‌شود هندسه آزمون، لایه شیشه/غشاء/محافظ/شیشه باشد.

بهتر است اندازه (طول و عرض) آزمون به قدر کافی باشد تا بتواند در داخل ابزار آزمون محکم شود.

همان طوری که در [14] بیان شده است، بر اساس بازبینی‌های قبلی، توصیه می‌شود کمترین اندازه برای آزمون‌های هوازدگی، پلی(اتیلن و وینیل استات)  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$  باشد.

آزمون‌های بزرگ در بررسی‌های هوازدگی ترجیح داده می‌شوند، زیرا ناحیه آزمون جایی که انتشار اکسیژن یا رطوبت محدود می‌باشد، ممکن است متمایز باشد.

ممکن است این روش اجرایی برای ارزیابی اثرات هوازدگی سایر هندسه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال، ورق پستی پلیمری قابل نفوذ، بازبینی نفوذ رطوبت را آسان می‌سازد. بعضی از مدول‌های PV از یک آب‌بند لبه برای کاهش نفوذ رطوبت استفاده می‌کنند.

تکه‌های مجزای «خالی» لایه‌های بالاتر یا لایه‌های زیرین ممکن است به همراه آزمون‌ها برای تعیین مقدار تخریب آن اجزاء، تحت هوازدگی قرار بگیرند.

آزمون‌ها باید حاوی منطقه بازبینی عاری از نقص قابل مشاهده شامل: خراش‌ها، چاله‌ها، نشانه‌های فرورفتگی، حباب‌ها، یا سایر عیوب باشند. منطقه بازبینی باید دست‌کم ۵۰٪ بزرگ‌تر از قطر سطح اندازه‌گیری ابزار آزمون باشد.

ضخامت نامی آزمون‌های غشای محافظ باید به منظور استفاده در مدول‌های PV در نظر گرفته شده باشد. آزمون‌ها باید مطابق با مشخصات سازنده و با استفاده از فرآیندی که تا حد امکان مشابه روشی باشد که برای استفاده در فرآیند تولید در نظر گرفته شده است، تهیه<sup>۱</sup> (در صورت کاربرد) شوند.

ضخامت غشاء محافظ در لامینه کردن را می توان توسط قرار دادن مواد جدا شدنی دور محیط آزمون کنترل کرد.

#### ۳-۶ شیشه برای لایه های بالایی/لایه های زیرین

اندازه گیری های عبور نامی (بدون هوازدگی) برای سلول به منظور داده برگ های سازنده غشاء محافظ باید با استفاده از شیشه سیلیس دار به ضخامت  $(0.2 \pm 3)$  mm انجام شود. شیشه باید دارای سطوح صاف و بدون نقصی باشد که به اندازه کافی تخت و موازی باشند طوری که اجزا انتشار نور عبوری کمتر از ۱٪، بین ۲۸۰ nm و ۵۰۰ nm باشد.

عبور هم وزن-خورشید تابش فوتون از شیشه سیلیس دار به دلیل کاهش بازتاب در سطوح، تقریباً ۹۳٪ است که برای بررسی اینکه اجزا شیشه مناسب است، می تواند مورد استفاده قرار گیرد. همان طوری که در [1] و [12] بیان شده است، بهتر است عبور از شیشه در ۲۸۰ nm بیش از ۹۰٪ باشد.

شیشه نباید دارای پوشش یا حاوی لایه های ضد بازتاب باشد. شیشه نباید بافت جدی داشته باشد.

بازبینی بعدی که برای داده برگ ماده غشای محافظ در نظر گرفته می شود، شامل هوازدگی است که مطابق با این روش اجرایی با استفاده از مواد لایه بالایی و/یا لایه زیرین دیگری انجام می شود که می تواند سایر ویژگی های اپتیکی، برای مثال پوشش های ضد بازتاب، بافت سطح، و شیشه PV بدون حرارت را در بر گیرد.

#### ۴-۶ تعداد آزمون ها

جهت تعیین عبور برای سلول یا در مطالعات مربوط به هوازدگی، کمینه سه تکرار باید انجام شود. مشخصه های اپتیکی، شامل عبور،  $YI$ ، و طول موج قطع UV را باید به طور جداگانه و با استفاده از میانگین سه آزمون مجزا، با گستره اندازه گیری نشان داده شده برای شناسایی تغییرات آنها محاسبه کرد.

#### ۵-۶ پیش آماده سازی آزمون ها

آزمون های مورد استفاده به منظور گزارش گیری داده برگ، همان طوری که در استاندارد ISO 291 بیان شده است، قبل از اندازه گیری اپتیکی باید به مدت دست کم ۲۴ h در  $(2 \pm 23)^{\circ}C$ ،  $50 \pm 5$  % RH (نگهداری شوند).

استفاده از شرایط دمایی و رطوبتی بالا در مطالعه هوازدگی، موجب ایجاد شرایط رطوبت لایه بالایی در آزمون ها می شود، که وقتی آنها به شرایط محیطی آزمایشگاه برگردانده می شوند بر عبور اپتیکی آنها تاثیرگذار است. در چنین مواردی، آماده سازی آزمون، شامل محفظه با محیط کنترل شده، برای جلوگیری از اثرات نادرست، برای مثال مه اپتیکی یا جذب رطوبت ممکن است به کار گرفته شود. بررسی اثرات شرایط آزمون با استفاده از اندازه گیری های دوره ای ممکن است. برای هر جزئیات خاص مربوط به آماده سازی آزمون و تناوب انبارش با هوازدگی، به روش آزمون هوازدگی مراجعه شود.

## ۷ روش اندازه‌گیری

### ۷-۱ اصول کلی

اندازه‌گیری‌های عبور باید مطابق با روش اجرایی بیان شده در استاندارد ISO 13468-2 انجام شود.

### ۷-۲ آماده‌سازی نمونه

آزمونه‌ها قبل از اندازه‌گیری، باید عاری از گرد و غبار، روغن یا سایر آلاینده‌ها باشند. قبل از اندازه‌گیری، آزمونه‌ها و ابزار باید در تعادل حرارتی باشند.

### ۷-۳ کالیبراسیون ابزار (اندازه‌گیری‌های خط مبنا)

اجازه دهید لامپ ابزار بعد از روشن شدن، با رعایت دوره زمانی معمول گرم شدن، به حالت تعادل برسد برای مثال، ۱۵ min یا همان گونه که توسط سازنده ابزار توصیه شده است. پوشش(های) اصلاحی را برای جبران سیگنال خط مبنا ابزار انجام دهید.

بهتر است ۱۰۰٪ اندازه‌گیری خط مبنای عبور، بدون لایه بالایی، آزمونه، یا مواد زیرین موجود، در هوا انجام شود. در صورت امکان، بهتر است صفر درصد اندازه‌گیری خط مبنای عبور نیز انجام شود.

اندازه‌گیری دوره‌ای خط مبنا برای به کمینه رساندن انحراف ابزار و اطمینان از صحت مقادیر اندازه‌گیری شده توصیه می‌شود. انحراف ابزار که طی یک دوره اندازه‌گیری توسعه یافته رخ می‌دهد، ممکن است ویژگی ابزار باشد.

برای کمینه رساندن عدم قطعیت در اندازه‌گیری (بند ۹)، توصیه می‌شود انحراف ابزار را کمتر از ۰٫۰۵٪ نگه دارید. هنگامی که عدم قطعیت اندازه‌گیری‌ها تعیین می‌شود بهتر است انحراف ابزار در بایاس ابزار در نظر گرفته شود.

### ۷-۴ اندازه‌گیری‌های نمونه

اندازه‌گیری‌های عبور برای آزمونه‌ها را در گستره طول‌موج دست کم ۲۸۰ nm تا ۵۰۰ nm با استفاده از افزایش ۱ nm انجام دهید.

درون‌یابی خطی برای افزایش ۱ nm ممکن است زمانی استفاده شود که فقط افزایش بیشتر اندازه‌گیری (بیشینه ۵ nm) در دسترس باشد. خطای مربوط به افزایش بیشتر ممکن است در طول‌موج‌های کوتاه‌تر (که در آن  $YI$  و طول‌موج قطع UV تعیین می‌شوند) بیشتر از طول‌موج‌های بلندتر (که فقط عبور هم‌وزن-خورشید تحت تاثیر قرار می‌گیرد) تاثیر داشته باشد. در صورت کاربرد، استفاده از درون‌یابی خطی باید در گزارش آزمون درج شود.

ناپیوستگی‌های مرتبط با تغییرات در اجزا اپتیکی (شامل آشکارساز، منبع نور، و/یا تکفام‌ساز<sup>۱</sup>) ممکن است در طول اندازه‌گیری رخ دهد. چنین ناپیوستگی‌هایی می‌تواند از طریق تنظیمات ابزار به کمینه برسد.

ممکن است بسط گستره اندازه‌گیری در مطالعات مربوط به دوام، نتایج مفید ایجاد کند. برای مثال، با اندازه‌گیری طول‌موج‌های UV تا ۲۰۰ nm، یک پارچگی جذب‌کننده‌های UV و تثبیت‌کننده‌ها می‌تواند از طول‌موج قطع UV استخراج شود.

پهنای باند طیفی اندازه‌گیری بهتر است کمتر یا برابر با افزایش اندازه‌گیری، به عنوان مثال ۱ nm یا ۵ nm باشد.

## ۵-۷ اندازه‌گیری‌های شاهد

در ابتدای هر مرتبه اندازه‌گیری، اندازه‌گیری‌های عبور بر روی آزمون شاهد انجام می‌شود تا از عملکرد مناسب ابزار و به کمینه رساندن خطای اندازه‌گیری اطمینان حاصل شود. اندازه‌گیری‌های عبور تمام آزمون‌های شاهد را با استفاده از همان روش اجرایی اعمال شده بر روی آزمون(ها) انجام دهید. آزمون‌های شاهد می‌تواند شامل آزمون استاندارد قابل ردیابی، آزمون شاهد کار آزمایشگاهی، یا مواد لایه بالایی/لایه زیرین سیلیس‌دار باشند.

## ۸ محاسبه و بیان نتایج

### ۱-۸ پس از پردازش<sup>۲</sup> داده‌ها

اندازه‌گیری‌های حاصل از سه آزمون مجزا در هر افزایش طول‌موج باید میانگین گرفته شود. همچنین گستره (اختلاف بیشینه و کمینه) باید در هر افزایش طول‌موج تعیین شود.

### ۲-۸ محاسبه عبور هم‌وزن

عبور هم‌وزن-خورشید می‌تواند از فرمول (۱) محاسبه شود:

$$\tau_{sw} = \frac{\int \tau[\lambda] E_{p\lambda}[\lambda] d\lambda}{\int E_{p\lambda}[\lambda] d\lambda} \quad (1)$$

که در آن:

$\tau_{sw}$  عبور هم‌وزن-خورشید (%);

$\tau$  عبور اندازه‌گیری شده آزمون (%);

$\lambda$  طول‌موج روشنایی (nm);

1- Monochromator  
2- Post-processing

$E_{p\lambda}$  تابش فوتون طیفی کل مرجع (همان طوری که در استاندارد IEC 60904-3 تعیین شده است).

جزئیات مربوط به محاسبه انواع پارامترهای عبور هموزن-خورشید در جدول ۱ مشخص شده است. پارامترها شامل: عبور هموزن-خورشید که ممکن است به طور کلی بر اساس طیف وسیع خورشید اعمال شود؛ و عبور هموزن-خورشید در نظر گرفته شده به عنوان نماینده، که ممکن است برای بیشتر سلول‌های PV زمینی تک پیوندی تجاری در دسترس (از جمله سیلیکون، تلورید کادمیوم، سلنید گالیم ایندیوم مس، و آرسنید گالیم) بر اساس گستره طول موج قابل استفاده آنها، اعمال شود. عبور هموزن-خورشید (همچنین  $YI$ ) حاصل از اندازه‌گیری‌های اسپکتروفتومتری (به فاصله ۱ nm) باید با استفاده از جمع گسسته، با استفاده از روش انتگرال‌گیری ذوزنقه‌ای اصلاح شده، همان طوری که در استاندارد IEC 60904-3 بیان شده است، محاسبه شود.

جدول ۱- جزئیات پارامترهای عبور هموزن-خورشید

| پارامتر                                                                                                                                                                                        | نماد         | طول موج کران پایین‌تر<br>nm | طول موج کران بالاتر<br>nm | $\int E_{p\lambda}[\lambda]d\lambda$<br>$m^{-2}.s^{-1}$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|
| عبور هموزن-خورشید                                                                                                                                                                              | $\tau_{sw}$  | ۲۸۰                         | ۲۵۰۰                      | $4.155 \times 10^{21}$                                  |
| عبور اندازه‌گیری شده<br>نماینده                                                                                                                                                                | $\tau_{rsw}$ | ۳۰۰                         | ۱۲۵۰                      | $3.030 \times 10^{21}$                                  |
| یادآوری - عبور طیف هموزن-خورشید می‌تواند به طور خاص برای تخمین عملکرد مدول به کار رود، برای مثال، بازده فعلی، چنانچه کارایی کوانتومی سلول PV معلوم باشد، همان طوری که در پیوست ب بیان شده است. |              |                             |                           |                                                         |

### ۳-۸ محاسبه شاخص زردی ( $YI$ )

$YI$  باید مطابق با روش اجرایی استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۱۲۸ محاسبه شود. سه عامل محرک رنگی<sup>۱</sup> باید با استفاده از استاندارد CIE D65 طیف نوری (همان طوری که در استاندارد ISO 11664-2 بیان شده است)، و فضای رنگ CIE 1964 XYZ (برای شخص ناظر با میدان دید  $10^\circ$ ، همان طوری که در استاندارد ISO 11664-1 بیان شده است) تعیین شود.

یادآوری - جزئیات بیشتر مربوط به  $YI$  در استاندارد ASTM E313-10 و استاندارد ASTM E308-08 آورده شده است.

### ۴-۸ محاسبه طول موج قطع UV

طول موج قطع UV،  $\lambda_{cUV}$  باید به عنوان بلندترین طول موج (به نزدیک‌ترین nm) در گستره UV، (که در آن  $\lambda \leq 400$  nm است) هرگاه میزان عبور معادل ۱۰٪ یا کمتر باشد، تعیین شود.

1- Three tristimulus coefficients

در مواردی که طول موج قطع UV معلوم و کمتر از ۲۸۰ nm می باشد، گستره اندازه گیری باید به زیر ۲۸۰ nm توسعه یابد تا مقدار مشخص آن تعیین شود.

## ۹ عدم قطعیت اندازه گیری ها

عدم قطعیت مربوط به اندازه گیری تصادفی می تواند با فرمول (۲) تخمین زده شود:

$$\sigma_{\text{ran}} = \frac{\int \Delta\tau[\lambda] E_{p\lambda}[\lambda] d\lambda}{\int E_{p\lambda}[\lambda] d\lambda} = S_n \sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_{\tau}[\lambda])^2} \quad (2)$$

که در آن:

$\sigma_{\text{ran}}$  بیان گر متغیرهای تصادفی اندازه گیری است؛

$\Delta\tau$  عدم قطعیت اندازه گیری عبور است؛

$\lambda$  طول موج نور است؛

$E_{p\lambda}$  تابش فوتون طیفی مرجع است؛

$S_n$  ضریب برای توزیع t- استیودنت<sup>۱</sup> (۳/۱۸۲۴۵) برای سه آزمونه در فاصله اطمینان ۹۵٪؛

$\sigma_{\tau}$  انحراف استاندارد اندازه گیری های عبور (در هر افزایش طول موج) است.

عدم قطعیت نهایی (گزارش شده) می تواند از فرمول (۳) تخمین زده شود:

$$\sigma_{\text{tot}} = \sqrt{(\sigma_{\text{inst}})^2 + (\sigma_{\text{ran}})^2} \quad (3)$$

که در آن:

$\sigma_{\text{tot}}$  بیان گر عدم قطعیت کل است؛

$\sigma_{\text{inst}}$  بایاس ابزار (محاسبه برای ساخت خاص ابزار، تنظیمات ابزار (شامل زمان انتگرال گیری)، همچنین انحراف ابزار) است؛

$\sigma_{\text{ran}}$  متغیر تصادفی اندازه گیری (صحت ابزار و همچنین تغییرپذیری آزمونه) است.

$\sigma_{\text{ran}}$  برای ابزار آزمون از میانگین ۱۰ اندازه گیری (حاصل ضرب نظیر به نظیر  $S_n$  در مقدار ۲/۲۲۸۱۴) بدون حضور آزمونه (عبور نامی ۱۰۰٪) ممکن است ارزیابی شود. به طور مشابه،  $\sigma_{\text{inst}}$  برای ابزار آزمون از

1- Student's t-distribution

مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های دوره‌ای متوالی بدون حضور آزمونه، با نرخ انحراف تعیین شده از برازش روند ممکن است ارزیابی شود. در حالی که  $\sigma_{tot}$  می‌تواند با عمر لامپ تغییر کند، ارزیابی نماینده تکی برای بیان مناسب‌تر ابزار آزمون استفاده شده در آزمایشگاه آزمون خاص مد نظر است.

عدم قطعیت برای سایر نتایج آزمون (از جمله  $YI$ ) را با استفاده از همان روش برای عبور، به عنوان مثال، روش گسترش خطا محاسبه کنید. این تخمین‌ها بهتر است علاوه بر خطای تصادفی، عدم اطمینان مربوط به بایاس ابزار را نیز در بر داشته باشد.

تکرارپذیری و تجدیدپذیری روش، از جمله عبور هم‌وزن-خورشید، شاخص زردی، و طول موج قطع UV، در پیوست الف و [12] بیان شده است.

## ۱۰ گزارش آزمون

گزارش آزمون‌ها باید توسط کارگزار آزمون تهیه شود. گزارش باید شامل مشخصات جزئیات آزمونه‌ها باشد. هر گواهی‌نامه یا گزارش آزمون باید حداقل اطلاعات زیر را داشته باشد:

الف - عنوان؛

ب - نام و نشانی آزمایشگاه و محلی که آزمون‌ها انجام شده است؛

پ - شناسه‌گذاری منحصر به فرد هر صفحه گواهی‌نامه یا گزارش؛

ت - نام یا نشانی مشتری، در صورت لزوم؛

ث - شرح و شناسایی اقلام<sup>۱</sup> آزمون شده، از جمله نوع آزمونه، ضخامت آزمونه (و گستره تغییرات آن)، اندازه آزمونه (طول و عرض)، ماده(مواد) لایه‌های بالایی/لایه‌های زیرین و مشخصه‌های آنها.

ج - مشخصات و شرایط اقلام آزمون، از جمله مواد و جزئیات آماده‌سازی آزمونه (از جمله پخت، لامینه کردن<sup>۲</sup>، یا فرآیند مشابه در صورت کاربرد) و پیش آماده‌سازی؛

چ - تاریخ دریافت اقلام آزمون و تاریخ(های) آزمون، در صورت لزوم؛

ح - شناسایی روش آزمون مورد استفاده؛ از جمله ساخت و مدل اسپکتروفتومتر و گره جمع‌کننده؛

خ - ارجاع به روش نمونه‌برداری، در صورت مربوط بودن؛

د - هر گونه انحراف، اضافه یا حذف کردن از روش آزمون و هر اطلاعات دیگری مربوط به آزمون خاص، مانند شرایط محیطی، و روش(های) اجرایی و شرط (شرایط) مورد استفاده برای هوازدگی و پیش آماده‌سازی انجام شده قبل از اندازه‌گیری‌ها؛

1- Item

2- Lamination

ذ- اندازه‌گیری‌ها، بازبینی‌ها و نتایج استخراج شده توسط جداول، نمودارها، طرح‌ها و عکس‌های مناسب از جمله مجموعه کامل از مقادیر عبور متوسط جدول‌بندی شده، عدم قطعیت اندازه‌گیری عبور برآورد شده (ایزار)؛ عبور هم‌وزن-خورشید متوسط از تابش فوتون و گستره متناظر مقادیر متوسط؛ متوسط عبور هم‌وزن-خورشید نماینده تابش فوتون و گستره متناظر مقادیر متوسط (و همچنین گستره طول‌موج در نظر گرفته شده)؛ طول‌موج قطع UV و عدم قطعیت آن؛ و هر گونه خطای قابل مشاهده؛

ر- شاخص زردی و عدم قطعیت آن (که باید بعد از هر فاصله هوازده‌گی علاوه بر مقدار اصلی آن در حالت آزمایش‌های هوازده‌گی تعیین شود)؛

ز- توضیح عدم قطعیت تخمین زده شده نتایج آزمون (در صورت مربوط بودن)؛ اندازه‌گیری آزمون‌ه شاهد (در صورت استفاده) و انحراف نتایج آزمون از مقادیر شاهد آن. در صورت کاربرد، جزئیات آزمون‌ه شاهد (از جمله آماده‌سازی، ترکیب، و ضخامت آن) باید مشخص شود؛

س- امضاء و عنوان، یا شناسه معادل شخص (اشخاص) مسئول محتوای گواهی‌نامه یا گزارش، و تاریخ صدور؛

ش- در صورت مربوط بودن، توضیح اینکه نتایج فقط مربوط به اقلام آزمون شده است؛

ص- توضیح اینکه گواهی‌نامه یا گزارش نباید به صورت ناقص و بدون تاییدیه کتبی آزمایشگاه تکثیر شود.

## پیوست الف

### (آگاهی‌دهنده)

#### تحلیل‌های پیشرفته عبور (ضرایب جذب)

اندازه‌گیری‌های بیان شده در این روش اجرایی ممکن است برای تحلیل دقیق‌تر اپتیکی تکمیل شود. تعیین ضریب تضعیف اپتیکی، اجازه تعمیم و گسترش عبور اپتیکی را برای هر پیکربندی احتمالی می‌دهد. چنین تحلیلی ممکن است برای بهبود صحت تحلیل عملکرد PV، محاسبه تغییرات در طراحی مدول (از جمله ضخامت غشای محافظ)، یا برای تشخیص بین ماده غشای محافظ مختلف استفاده شود. مشخصه‌ها شامل عبور،  $YI$ ، و طول‌موج قطع UV به شدت با ضخامت آزمون تغییر می‌کند؛ بنابراین روش‌های بیان شده در این پیوست برای اندازه‌گیری‌های استاندارد شده برای ضخامت نماینده استفاده می‌شود.

عبور اپتیکی به لایه‌های مواد موجود در آزمون نیز بستگی دارد. تحلیل دقیق‌تری، که در این پیوست خلاصه شده، ممکن است برای ملاحظات مربوط به اتلاف نور عبوری، شامل بازتاب از واسط‌های مواد استفاده شود.

بازتاب نیم‌کروی و داده‌های عبور برای محاسبه ضریب تضعیف برای کمینه کردن مواد جاذب می‌تواند استفاده شود. واژه «جذب کم» به این معنی است که نور بازتاب شده از واسط عقب قبل از رسیدن به واسط جلو به طور کامل جذب نمی‌شود. در این روش، آزمون باید کاملاً مسطح، خود ایستا، با ضخامت معلوم و یکنواخت، و دارای کمینه پراکندگی، برای مثال، کمینه مه اپتیکی، باشد. این روش بر اساس کار ارائه شده در [1] است. همان طوری که در [2] و [3] بیان شده است، اول ضریب جذب با استفاده از فرمول زیر تعیین می‌شود:

$$\alpha_c[\lambda] = 1 - \tau_m[\lambda] - \rho_m[\lambda] \quad (\text{الف-۱})$$

علائم و نمادها در این فرمول شامل:  $\alpha_c$ ، ضریب جذب اپتیکی محاسبه شده (شدت نرمالیزه‌شده)،  $\tau_m$ ، عبور اپتیکی اندازه‌گیری شده (شدت نرمالیزه‌شده)،  $\rho_m$ ، بازتاب اپتیکی اندازه‌گیری شده (شدت نرمالیزه‌شده)؛ و  $\lambda$ ، طول‌موج (m) می‌باشد. بازتاب اندازه‌گیری شده باید با یک مقیاس مطلق (با استفاده از آزمون بازتاب کالیبره شده دارای گواهی‌نامه) برای اسپکتروفتومترهایی که اندازه‌گیری‌های بازتاب نسبی را گزارش می‌کنند، تصحیح شود. چنانچه بازتاب نسبی اندازه‌گیری شده ضریبی از بازتاب آزمون کالیبره شده باشد بازتاب مطلق آزمون می‌تواند تعیین شود. عبور اندازه‌گیری شده و بازتاب اندازه‌گیری شده شامل اثرات عبور چندگانه نور، در نتیجه بازتاب‌های داخلی رخ می‌دهد، همان طوری که در [4] بیان شده است.

تحلیل‌های متعاقب داده‌های عبوری و بازتابش اندازه‌گیری شده، برای محاسبه بازتاب‌های داخلی، به منظور نشان دادن گذر اپتیکی تکی از داخل مواد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. بازتاب‌های اتفاق افتاده از واسط

هوا/نمونه همچنین جذب برای گذر تکی<sup>۱</sup> (که عمود بر آزمون رخ می‌دهد)، می‌تواند از مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از فرمول زیر تعیین شود:

(الف-۲)

$$\rho_i[\lambda] = \frac{-\left(1 + (\tau_m[\lambda])^2 + 2\rho_m[\lambda] - (\rho_m[\lambda])^2\right) + \sqrt{\left(1 + (\tau_m[\lambda])^2 + 2\rho_m[\lambda] - (\rho_m[\lambda])^2\right)^2 + 4(\rho_m[\lambda] - 2)\rho_m[\lambda]}}{2(\rho_m[\lambda] - 2)}$$

$$\alpha_{sp}[\lambda] = \frac{\rho_i[\lambda]\alpha_c[\lambda] - \alpha_c[\lambda]}{\rho_i[\lambda]\alpha_c[\lambda] + \rho_i[\lambda] - 1} \quad (\text{الف-۳})$$

$$\psi[\lambda] = -\frac{1}{z} \ln(1 - \alpha_{sp}[\lambda]) \quad (\text{الف-۴})$$

علائم و نمادهای جدید در فرمول‌ها شامل:  $\rho_i$ ، بازتاب در واسط (شدت نرمالیزه‌شده)؛  $\alpha_{sp}$ ، ضریب جذب رخ داده برای گذر اپتیکی تکی از آزمون (شدت نرمالیزه‌شده)؛  $\psi$ ، ضریب تضعیف (معمولاً به صورت « $\alpha$ » در قانون بیر،  $m^{-1}$ ، نشان داده می‌شود)؛ و  $z$ ، ضخامت آزمون (m) است.

پس از تعیین ضریب تضعیف، پیش‌بینی عبور برای آزمون‌های از ضخامت دلخواه با استفاده از «عبور گذر تکی»، که با استفاده از زیرنمایه  $sp$  نشان داده می‌شود، امکان‌پذیر است که در اینجا برای نشان دادن هندسه لایه بالایی شیشه سلیس‌دار لامینه/غشای در نظر گرفته می‌شود.

$$\tau_{sp}[\lambda] = [1 - \rho'[\lambda]]e^{-\psi g[\lambda].zg}e^{-\psi p[\lambda].zp} \quad (\text{الف-۵})$$

$$\rho' = \frac{(n_a - n_g)^2 + (k_a - k_g)^2}{(n_a + n_g)^2 + (k_a + k_g)^2} \quad (\text{الف-۶})$$

$$\psi = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (\text{الف-۷})$$

علائم و نمادهای جدید در فرمول‌ها شامل:  $\tau_{sp}$ ، گذر تکی تخمینی (شدت نرمالیزه‌شده)؛  $\rho'$ ، بازتاب در واسط بین هوا و شیشه (شدت نرمالیزه‌شده)؛  $n$ ، جزء حقیقی شاخص بازتاب (بدون واحد)؛  $k$ ، ضریب

تضعیف (بدون واحد)؛ و  $\pi$ ، ثابت ریاضی،  $۳/۱۴۲$  است. اندیس g، بیان گر شیشه؛ p، بیان گر غشای محافظ؛ و a، بیان گر هوا است. در این تحلیل فرض می‌شود که بازتاب‌های رخ داده در سطح مشترک شیشه/غشای محافظ در تمام طول موج‌ها ناچیز هستند. در این صورت برای یک سامانه هوا/شیشه،  $n_a$ ، شاخص بازتاب برای هوا، تقریباً برابر یک و  $k_a$ ، ضریب تضعیف برای هوا، تقریباً برابر صفر است. برای برآورد  $\rho'$ ، شاخص بازتاب برای شیشه (g) باید معلوم باشد. ضریب خاموشی برای شیشه،  $k_g$ ، می‌تواند از [5] برای شیشه آهک سودا<sup>۱</sup> به دست آید یا از تحلیل آزمون شیشه یک پارچه، یعنی  $\psi$ ، برای سایر انواع شیشه تعیین شود. یک راه حل تکراری، بیان شده در [6]، می‌تواند برای حل  $n$ ،  $k$  و  $\psi$  جایگزین راه حل‌های بسته شده در فرمول‌های (الف-۵) و (الف-۶) استفاده شود. به منظور مقایسه ماده غشای محافظ فقط بر اساس عملکرد اپتیکی آنها، صرف نظر از معماری مدول PV، حذف بازتاب از  $\tau_{sp}$ ، اخذ «جذب داخلی» غشاء محافظ،  $\alpha_i$  (شدت نرمالیزه شده) امکان پذیر است:

$$\alpha_i[\lambda] = 1 - e^{-\psi p[\lambda].zp} \quad (\text{الف-۸})$$

## پیوست ب

### (آگاهی‌دهنده)

#### اعمال کارایی کوانتومی فناوری سلول خاص

در عمل، مدول PV نمی‌تواند تمام انرژی تابشی خورشید را دریافت کند. هر فناوری سلول برای تبدیل انرژی اپتیکی به انرژی الکتریکی توانایی خود را دارد. این توانایی نیز با توجه به سازنده متفاوت می‌باشد، و در مقدار بازده خلاصه می‌شود. پروفایل‌های کارایی کوانتومی خارجی نماینده در [7] و [8] قابل دستیابی است. عبور هم‌وزن کارایی کوانتومی می‌تواند از فرمول زیر محاسبه شود:

$$\tau_{QE} = \frac{\int \tau[\lambda] Q_{ext}[\lambda] E_{p\lambda}[\lambda] d\lambda}{\int Q_{ext}[\lambda] E_{p\lambda}[\lambda] d\lambda} \quad (\text{ب-۱})$$

که در آن:

$\tau_{QE}$  به مقدار عبور هم‌وزن بازده (واحدهای عملکرد، به ویژه برای سلول خاص) اطلاق می‌شود؛

$\tau$  عبور اندازه‌گیری شده آزمون در زاویه برخورد (واحدهای شدت نرمالیزه‌شده) است؛

$\lambda$  طول موج نور (m) است؛

$Q_{ext}$  کارایی کوانتومی خارجی سلول (الکترون بر فوتون) است؛ و

$E_{p\lambda}$  تابش فوتون طیفی مرجع است.

( $E_{p\lambda}[\lambda] = \frac{\lambda}{hc} E\lambda[\lambda]$ ) برحسب  $m^{-2}.s^{-1}.nm^{-1}$  در استاندارد IEC 60904-3 تعیین شده است).

$\tau_{QE}$  می‌تواند برای ارزیابی عملکرد عبور خاص استفاده شود. برای مثال، برای انتخاب بین ماده غشای محافظ بر اساس عملکرد مورد انتظار آنها با فناوری سلول PV ویژه استفاده می‌شود. هنگام مقایسه بین ماده غشای محافظ، تمام اجزا (از جمله لایه بالایی و لایه زیرین) و عوامل دیگر (شامل مدیریت حرارتی) برابر فرض می‌شوند.

در حالتی که بیش از یک پیوند در داخل سلول متصل باشد،  $\tau_{QE}$  باید به طور جداگانه برای هر اتصال ارزیابی شود. در چنین سلول‌هایی، پیوندها به طور سری متصل می‌شوند، که پیوند با کمترین نوردهی، به عنوان مثال، کوچک‌ترین  $\tau_{QE}$ ، ممکن است جریان تولید شده توسط سلول را محدود کند. در این حالت، عبور هر پیوند باید معلوم باشد. لازم به ذکر است که علاوه بر  $\tau_{QE}$ ، سایر عوامل ممکن است شرایط جریان محدود شده را موجب شود، از جمله: ضخامت فیزیکی پیوند (که ظرفیت آن در برداشت انرژی تاثیر می‌گذارد)، مقاومت سری هر پیوند، و رنگ موجود، به عنوان مثال، عمق جو و عبور متناظر جو.

بیشینه چگالی جریان تئوری می‌تواند از فرمول زیر تخمین زده شود:

$$J = q \int \tau[\lambda] Q_{\text{ext}}[\lambda] E_{p\lambda}[\lambda] d\lambda \quad (\text{ب-۲})$$

که در آن:

$J$  به چگالی جریان اتصال کوتاه اطلاق می‌شود ( $\text{A.m}^{-2}$ );

$q$  بار الکتریکی یک الکترون است ( $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ );

$h$  ثابت پلانک ( $6.626 \times 10^{-34} \text{ W.s}^2$ );

$c$  سرعت نور در خلاء ( $2.998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ );

$\lambda$  طول موج نور ( $\text{m}$ );

$\tau$  عبور اندازه‌گیری شده آزمونه (شدت نرمالیزه‌شده);

$Q_{\text{ext}}$  کارایی کوانتومی خارجی سلول (بدون یکا);

$E_{p\lambda}$  تابش فوتون طیفی برخورد ( $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{nm}^{-1}$ ).

به جای پاسخ طیفی مطلق ( $S$ ، با واحد  $A/W$ ) و  $E_{\lambda}$ ، می‌توان از تابش طیفی مرجع (همان طوری که در استاندارد IEC 60904-3 بیان شده است، با واحد  $\text{W.m}^{-2}.\text{nm}^{-1}$ ) برای تخمین چگالی جریان بیشینه تئوری استفاده شود:

$$j = \int \tau[\lambda] S[\lambda] E_{\lambda}[\lambda] d\lambda \quad (\text{ب-۳})$$

**یادآوری -** چگالی جریان به‌طور مشابه برای هر تابش فوتون طیفی معلوم، علاوه بر آنچه در استاندارد IEC 60904-3 بیان شده است، تعیین می‌شود.

کارایی فعلی ممکن است از تلفات اضافی مربوط به مدول PV یا سامانه شامل: کارایی اینورتر، تلفات نسبی حرارتی و پوشش سطح مدول توسط سلول‌ها تاثیر پذیرد.

### کتابنامه

- [1] K.R. McIntosh, G. Lau, J.N. Cotsell, K. Hanton, D.L. Bätzner, F. Bettiol, and B.S. Richards, Increase in External Quantum Efficiency of Encapsulated Silicon Solar Cells from a Luminescent Down-Shifting Layer, Prog. Photovolt: Res. Appl., 17 (2009), 191-197
- [2] E. Hecht, Optics (2nd edition), Chapter 4. Addison-Wesley: New York, 1987
- [3] E.D. Palik, Handbook of Optical Constants of Solids, Academic Press Limited: London, 1998
- [4] K.R. McIntosh, J.N. Cotsell, J.S. Cumpston, A.W. Norris, N. E. Powell, B.M. Ketola, An Optical Comparison of Silicone and EVA Encapsulants for Conventional Silicon PV Modules: A Ray-Tracing Study, Proc. IEEE PVSC, 2009, 544-549
- [5] M. Rubin, Optical Properties of Soda Lime Glasses, Solar Energy Mats., 12 (1985), 275-288
- [6] M.D. Kempe, Accelerated UV Test Methods and Selection Criteria for Encapsulants of Photovoltaic Devices, Proc. IEEE PVSC, 2008, 1-6
- [7] S. Nann, K. Emery, Spectral effects on PV-device rating, Solar Energy Mats Solar Cells, 27 (1992), 189-216
- [8] M.A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, Solar cell Efficiency Tables (version 41), PIP: Res. App., 21 (2013), 1-11
- [9] D.C. Miller, J. Apezteguia, J.G. Bokria, M. Köhl, N.E. Powell, M.E. Smith, M.D. White, H. R. Wilson, J.H. Wohlgemuth, Examination of An Optical Transmittance Test for Photovoltaic Encapsulation Materials, Proc SPIE 2013, 8825-8
- [10] RSA-PE-20, AQ-00073-000, Rev. 7, Labsphere Inc., 2001, 1-34
- [11] Technical Guide: Integrating Sphere Theory and Application, Labsphere Inc., 2008, 1-22
- [12] D.C. Miller, J. Apezteguia, J.G. Bokria, M. Köhl, N.E. Powell, M.E. Smith, M.D. White, H. R. Wilson, J.H. Wohlgemuth, Examination of An Optical Transmittance Test for Photovoltaic Encapsulation Materials, NREL-PR-5200-60379, 2013, 1-24
- [13] A.M. Nilsson, A. Jonsson, J.C. Jonsson, A. Roos, Method for more accurate transmittance measurements of low-angle scattering samples using an integrating sphere with an entry port beam diffuser, Appl. Opt., 50 (7), 2011, 999-1006
- [14] C.G. Reid, J.G. Bokria, J.T. Woods, UV aging and outdoor exposure correlation for EVA PV encapsulants, Proc. SPIE, 8825, 2013
- [15] IEC TS 61836, Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols
- [16] ASTM E308-08, Standard practice for computing the colours of objects by using the CIE system
- [17] ASTM E313-10, Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured colour coordinates