



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲-۱-۲۰۳۰۴

چاپ اول

۱۳۹۹

INSO
20304-2-1
1st Edition
2020

Identical with
IEC/TS 62876-2-1:
2018

فناوری نانو- ارزیابی قابلیت اطمینان -
قسمت ۲- ۱: افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال -
آزمون پایداری

**Nanotechnology- Reliability assessment -
Part 2-1: Nano-enabled photovoltaic devices
- Stability test**

ICS: 07.120; 27.160

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲-۲۰۳۰۴ (چاپ اول): سال ۱۳۹۹

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: 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 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، نهادهای 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 پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به‌عنوان 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، به‌عنوان 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)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به‌عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ 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 به‌منظور 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) و 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 کارایی آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها و واسنجی و 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

«فناوری نانو- ارزیابی قابلیت اطمینان- قسمت ۲- ۱: افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال-

آزمون پایداری»

رئیس:

دهقان، مازیار
(دکتری مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی)
عضو هیئت علمی- پژوهشگاه مواد و انرژی

دبیر:

شاکری، روشنک
(کارشناسی ارشد فیزیک اتمی- مولکولی)
کارشناس استاندارد- سازمان ملی استاندارد ایران

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اسلامی، شهاب
(دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی- مدل‌سازی انرژی)
عضو هیئت علمی- دانشگاه تهران

اسلامی‌پور، الهه
(کارشناسی ارشد زیست‌شناسی)
کارشناس کمیته استاندارد و ایمنی- ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

بحری کاظم‌پور، زهرا
(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- بیوتکنولوژی)
کارشناس استاندارد- سازمان ملی استاندارد

راجی‌پور، مهدی
(کارشناسی ارشد مهندسی برق- الکترونیک)
کارشناس کارگروه صنعت و بازار- ستاد توسعه فناوری نانو

رشیدوندی، وحید
(کارشناسی ارشد شیمی- نانومواد)
کارشناس استاندارد- سازمان ملی استاندارد

ساکي، زهرا
(دکتری فیزیک- ماده چگال)
پژوهشگر- دانشگاه صنعتی شریف

صالح اردستانی، سعید
(دکتری فیزیک- حالت جامد)
مدیر پروژه- شرکت شریف سولار

محرابی، احسان
(کارشناسی ارشد صنایع چوب و کاغذ)
کارشناس امور تدوین- سازمان ملی استاندارد

ویراستار:

ایمانی، فاطمه
(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی)
رئیس گروه نظارت بر اجرای استانداردهای تجهیزات و فرایندهای انرژی‌بر- سازمان ملی استاندارد

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ط	پیش‌گفتار
ی	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۳	۳ اصطلاحات، تعاریف و کوتاه‌نوشت‌ها
۳	۱-۳ اصطلاحات و تعاریف
۵	۲-۳ کوتاه‌نوشت‌ها
۶	۴ الزامات کلی
۶	۱-۴ افزاره
۶	۲-۴ آزمون‌ها
۶	۱-۲-۴ کلیات
۹	۲-۲-۴ تعداد نمونه‌ها
۹	۳-۲-۴ توالی
۹	۴-۲-۴ ویژگی‌های تجهیزات
۱۰	۵-۲-۴ روش‌های آزمون
۱۱	۳-۴ اندازه‌گیری‌ها
۱۱	۱-۳-۴ کلیات
۱۱	۲-۳-۴ آماده‌سازی شرایط تنش
۱۲	۳-۳-۴ بازرسی چشمی (دیداری)
۱۲	۴-۳-۴ جمع‌آوری داده‌ها
۱۳	۵-۳-۴ معیار قبول / رد
۱۳	۵ روش‌های آزمون
۱۳	۱-۵ روش ST1- گرمای خشک
۱۳	۱-۱-۵ هدف
۱۳	۲-۱-۵ دما/ رطوبت
۱۳	۳-۱-۵ ثبت داده
۱۳	۴-۱-۵ خروجی
۱۴	۵-۱-۵ تجهیزات موردنیاز
۱۴	۲-۵ روش ST2- قراردادن در معرض پرتو فرابنفش (UV)
۱۴	۱-۲-۵ هدف

صفحه	عنوان
۱۴	۲-۲-۵ منبع تابش
۱۴	۳-۲-۵ دما/ رطوبت
۱۴	۴-۲-۵ ثبت داده
۱۵	۵-۲-۵ خروجی
۱۵	۶-۲-۵ تجهیزات موردنیاز
۱۵	۳-۵ روش ST3- گرمای مرطوب
۱۵	۱-۳-۵ هدف
۱۵	۲-۳-۵ روش اجرایی
۱۵	۳-۳-۵ دما/ رطوبت
۱۵	۴-۳-۵ ثبت داده
۱۶	۵-۳-۵ خروجی
۱۶	۶-۳-۵ تجهیزات موردنیاز
۱۶	۴-۵ روش ST4- قراردادن در معرض نور
۱۶	۱-۴-۵ هدف
۱۶	۲-۴-۵ منبع نور
۱۷	۳-۴-۵ افزاره‌ها و شرط بار
۱۷	۴-۴-۵ دما
۱۷	۵-۴-۵ رطوبت در شرایط محیط
۱۷	۶-۴-۵ ثبت داده
۱۷	۷-۴-۵ خروجی
۱۷	۸-۴-۵ تجهیزات موردنیاز
۱۸	۵-۵ روش ST5- قراردادن در معرض فضای باز
۱۸	۱-۵-۵ هدف
۱۸	۲-۵-۵ مکان‌ها
۱۸	۳-۵-۵ شدت تابش خورشیدی
۱۸	۴-۵-۵ افزاره‌ها
۱۸	۵-۵-۵ دما
۱۸	۶-۵-۵ شرط بار
۱۹	۷-۵-۵ رطوبت/ باد
۱۹	۸-۵-۵ ثبت داده
۱۹	۹-۵-۵ خروجی
۱۹	۱۰-۵-۵ تجهیزات مورد نیاز

صفحه	عنوان
۱۹	۵-۶ روش ST6- هواز دگی آزمایشگاهی
۱۹	۵-۶-۱ هدف
۱۹	۵-۶-۲ دما/ رطوبت/ نور
۲۰	۵-۶-۳ افزارها
۲۰	۵-۶-۴ شرط بار
۲۰	۵-۶-۵ ثبت داده
۲۰	۵-۶-۶ خروجی
۲۰	۵-۶-۷ تجهیزات مورد نیاز
۲۱	۵-۷ روش ST7 - چرخه حرارتی
۲۱	۵-۷-۱ هدف
۲۱	۵-۷-۲ دما/ رطوبت
۲۱	۵-۷-۳ ثبت داده
۲۱	۵-۷-۴ خروجی
۲۱	۵-۷-۵ تجهیزات مورد نیاز
۲۲	۶ گزارش
	پیوست الف (آگاهی دهنده) بررسی اجمالی حالت‌های خرابی معمول - حالت خرابی و سازوکارهای خرابی شناخته شده برای افزارهای فتوولتائیک نانوفعال
۲۴	پیوست ب (آگاهی دهنده) انتخاب دمای آزمون پایداری - نحوه انتخاب بهترین دما برای آزمون پایداری فناوری‌های نو
۲۵	پیوست پ (آگاهی دهنده) ارتباط بین پروتکل‌های اجلاس بین‌المللی پایداری فتوولتائیک آلی (ISOS) و آزمون پایداری افزارهای فتوولتائیک نانوفعال که در این استاندارد مشخص شده است
۳۰	کتاب‌نامه
ل	شکل ۱- نمایش کلی افزار تحت آزمون در طی مشخصه‌یابی I-V
	شکل ۲- نمای کلی از تنش‌هایی که افزارهای فتوولتائیک در محیط‌های کاری در معرض آن قرار می‌گیرند
۷	
۷	شکل ۳- روش اجرایی آزمون پایداری کلی
	شکل ۴- نمای کلی از آزمون‌های ارزیابی پایداری که برای آزمون استاندارد به منظور ارزیابی پایداری فتوولتائیک نانوفعال توصیه می‌شوند
۹	
۲۲	شکل ۵- نمودار چرخه دمایی که برای چرخه حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد

صفحه	عنوان
۸	جدول ۱- خلاصه‌ای از تنش‌های استفاده‌شده در این استاندارد
۱۰	جدول ۲- نمای کلی خلاصه‌ای از روش‌های آزمون مرتبط و پارامترهای اصلی پایش
	جدول ۳- پارامترهای در معرض گذاری مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۲۵۲۳: سال
۲۰	۱۳۹۴، جدول ۳، چرخه ۱
۲۸	جدول پ- ۱- نمای کلی از آزمون‌های توصیف‌شده در این استاندارد، در مقایسه با آزمون‌های توصیه‌شده در ISOS 2009 و ISOS 2011

پیش‌گفتار

استاندارد « فناوری نانو- ارزیابی قابلیت اطمینان- قسمت ۲- ۱: افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال- آزمون پایداری» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به‌عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در هشتاد و هشتمین اجلاس هیئت کمیته ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۱۳۹۹/۰۴/۱۰ 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، به‌عنوان 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 یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی 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/TS 62876-2-1: 2018, Nanotechnology- Reliability assessment- Part 2-1: Nano-enabled photovoltaic devices- Stability test

فتوولتائیک‌های نانوفعال (NePV)^۱ قالب نوینی از فناوری فتوولتائیک است که می‌تواند در صفحه‌های بزرگ، انعطاف‌پذیر و نازک از طریق فرایند انحلال یا رسوب بخار ساخته شود. بسیاری از مواد دخیل، نانومواد و نیم‌رساناهای آلی هستند. این مواد تبدیل نور خورشید را به الکترون‌های آزاد بهبود داده و از استخراج الکترون‌ها از افزاره پشتیبانی می‌کنند. علاوه بر این، از نانومواد به‌عنوان لایه‌های مرزی استفاده می‌شود و به‌عنوان پوشش‌های محافظ برای افزایش پایداری افزاره فتوولتائیک به کار می‌رود. فتوولتائیک نانوفعال به دلیل استفاده از زیرلایه‌های پلیمری انعطاف‌پذیر کم هزینه و فیلم‌های بسته‌بندی، این توانایی را دارد که بتواند انرژی تجدیدپذیر کم هزینه را با توجه به تولید نسبتاً ارزان، توان عملیاتی بالا و مواد کم هزینه تأمین کند [1]. علاوه بر این، انتظار می‌رود فتوولتائیک نانوفعال با توجه به وزن سبک، انعطاف‌پذیری، توانایی تطبیق و تنظیم رنگ و بازده مناسب در میزان نور کم، محصولات جدیدی ایجاد نماید که این امر برای استفاده در فضای داخل مفید باشد. با توجه به این ویژگی‌ها، فتوولتائیک نانوفعال با در نظر گرفتن بهبود بازده و پایداری، توجه بیشتری را در میان گروه‌های مختلف به خود جلب می‌نماید که منجر به افزایش بازده قابل توجه از طریق دستاوردهای مهندسی مواد و بهینه‌سازی فرایند شده است. از آنجایی که روش‌های آزمون استاندارد شده‌ای در مورد پایداری وجود ندارد، هنوز پیشرفت‌ها مشهود نبوده و اثبات نشده است. به‌منظور تجاری‌سازی فتوولتائیک نانوفعال، باید به پایداری آن توجه شود و برای ایجاد مقایسه مناسب پایداری، نیاز به توسعه آن است.

در هدف و دامنه کاربرد این استاندارد، فتوولتائیک نانوفعال به افزاره‌های فتوولتائیک ساخته شده از ماهیت موادی در اندازه نانو اشاره دارد که شامل ترکیبی از اجزای آلی و معدنی و مواد سخت و نرم، گاهی شامل الکترولیت‌های مایع است که به‌طور کلی با استفاده از روش‌های آماده‌سازی کم هزینه، به‌وسیله فرایند انحلال در دمای پایین ترکیب می‌شود. توسعه این نوع سلول‌های خورشیدی در درجه اول از طریق چهار روش اصلی انجام می‌شود که عبارتند از: پلیمرهای آلی یا مولکول‌های کوچک (OPV)^۲، سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ (DSSC)^۳، سلول‌های خورشیدی ترکیبی آلی/معدنی و سلول‌های خورشیدی مبتنی بر نقطه کوانتومی. روش‌های اجرایی ذکر شده در این استاندارد برای فتوولتائیک نانوفعال طراحی شده است اما ممکن است به‌عنوان یک راهنما برای ارزیابی پایداری اولیه مواد یا فرایندهای جدید برای سایر فناوری‌های فتوولتائیک نیز ارائه شود.

استانداردهای ارزیابی پایداری شرایطی برای یک مجموعه از آزمون‌های تنش تعیین می‌کند که عوامل تنش مجزایی که می‌تواند منجر به ایجاد خرابی در محیط کار شود، نشان داده شود تا به توسعه‌دهندگان اجازه دهد در شرایطی تکرارپذیر، آزمون نمایند و از نظر کمی، پایداری افزاره‌های فتوولتائیک را که در معرض این شرایط (تنش) هستند، مقایسه کنند. چندین پروتکل درباره شرایط ارزیابی پایداری توسط اجلاس

1- Nano-enabled Photovoltaics
2- Organic Photovoltaic
3- Dye Sensitized Solar Cell

بین‌المللی پایداری فتوولتائیک آلی (ISOS)^۱ مربوط به انجمن فتوولتائیک آلی ارائه شده است [2,3]. شرایط آزمون تعیین شده در این استاندارد بر اساس پروتکل اجلاس بین‌المللی پایداری فتوولتائیک آلی، انتخاب و اصلاح شرایط به گونه‌ای است که قابل استفاده در طیف وسیعی از افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال باشد. با این حال، پیش‌بینی و تعیین کمیت قابلیت اطمینان واقعی، به‌طور قابل توجهی به یک آزمون گسترده‌تر نیاز دارد و در هدف و دامنه کاربرد این استاندارد نیست.

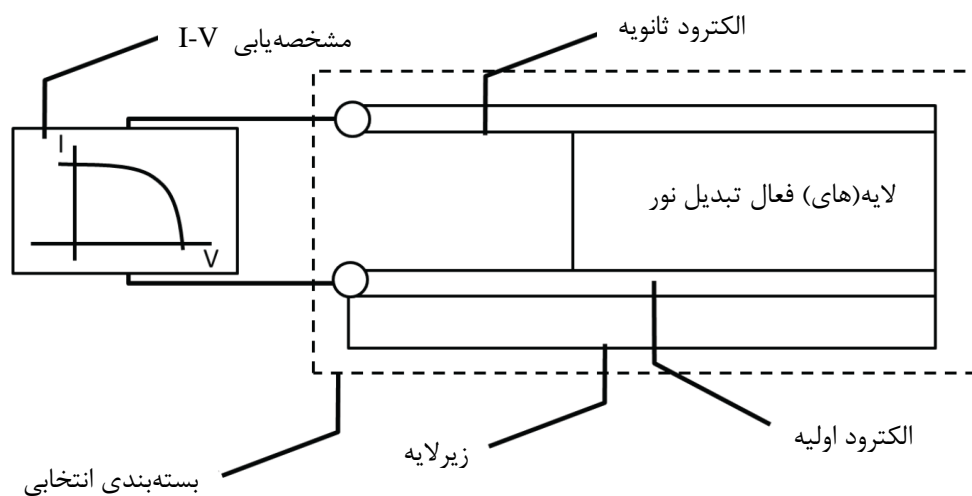
از اهداف این استاندارد مشخص کردن الزامات استاندارد ارزیابی پایداری (SAS)^۲ کلی برای استفاده فتوولتائیک نانوفعال در نظر گرفته شده است اما محدود به محیط‌های بیرونی نیست، جهت‌دادن به توسعه‌دهندگان و مهندسان توسعه افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال، راهنمای آزمون برای آزمایشگاه‌های آزمون و امکان مقایسه کمی پایداری بین فناوری‌های مختلف نیز از اهداف این استاندارد است. الزامات مندرج در این استاندارد برای استفاده در تأیید نوع افزاره یا گواهی‌نامه در نظر گرفته نشده است. این استاندارد به سادگی مجموعه‌ای از آزمون‌ها را برای ارزیابی پایداری ارائه می‌دهد و حداقل الزامات گزارش‌دهی را تعیین می‌نماید تا انجمن را از طریق فرایند بهبود فناوری با دستیابی به اندازه‌گیری‌های قابل مقایسه راهنمایی نماید و اجازه می‌دهد تا در یک روش مجاز و قابل مقایسه، پیشرفت در پایداری افزاره اندازه‌گیری شود. شرایط آزمون خاص‌تر برای افزاره‌های خاص و/یا برای کاربردهای خاص باید در آینده به‌طور جداگانه توسعه یابد.

روش اجرایی کلی برای آزمون پایداری توصیه شده برای اندازه‌گیری کارایی افزاره قبل و در فواصل معین پس از اعمال فشارهای واضح بر روی افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال، جهت پیگیری تغییرات کارایی به دلیل تنش‌های اعمال شده است. لازم نیست تمام آزمون‌های توصیه شده یا شرایط تنش در همه مراحل توسعه انجام شود. در مراحل اولیه توسعه، باید ابتدا زیرمجموعه‌ای از آزمون‌ها که اجرای آن‌ها به نسبت آسان است، به‌عنوان مثال گرمای خشک، گرمای مرطوب و قرار دادن در معرض نور، انجام شود تا اولین اطلاعات در مورد پایداری کلی سیستم آزمون شده به دست آید. با پیشرفت فناوری خاص و پیشرفت این فناوری، توصیه می‌شود در صورت لزوم آزمون‌های پیچیده‌تری نیز اضافه شود. توصیه می‌شود در مراحل بعدی برای کنترل منظم فرایند و پایش مواد و همچنین برای شناسایی مشکلات، آزمون مجدد در نظر گرفته شود. این آزمون‌ها عوامل تنش معینی را مشخص می‌نماید که انتظار می‌رود افزاره هنگام قرار دادن در معرض نور در فضای باز به‌طور مکرر در برابر این عوامل قرار گیرند. در این استاندارد، هر یک از آزمون‌ها برای تعیین بیشترین عوامل تنش آسیب‌زا و کمک به تحلیل حالت خرابی انتخابی، بر روی مجموعه جدیدی از افزاره‌ها انجام شده است. ممکن است آزمون‌های متوالی در شرایط مختلف انجام شود، اما انتظار می‌رود نتایج تفسیر دشوار باشد برای تضمین تأثیر تنش‌های متعدد و متنوع، یک آزمون هوازدگی آزمایشگاهی، منطبق و گنجانده شده است.

1- International Summit on OPV Stability
2- Stability Assessment Standard

فتوولتائیک نانوفعال، بسیاری از مواد پلیمری مانند پیونددهنده‌ها برای نانو مواد، زیرلایه‌ها، چسب‌ها و مواد بسته‌بندی را در بر می‌گیرد که ممکن است یک برهم‌کنش قوی با لایه‌های فعال فتوولتائیک افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال تحت آزمون داشته باشد و بنابراین ممکن است در کل بر پایداری افزاره تأثیر داشته باشد. برای پرداختن به این موضوع، آزمون‌های پایداری در این استاندارد با آزمون‌هایی که در هوازگی مصنوعی پلیمرها استفاده می‌شود، ارتباط نزدیک دارند. آزمون‌های پایداری که در این استاندارد بیان شده است می‌تواند جزئی از تحلیل‌های خرابی جامع به منظور شناسایی دلایل افت کارایی باشد که می‌تواند نتیجه بسیاری از موضوعات مختلف قرار گیرد. روش‌های اجرایی شرح داده شده در این استاندارد بر افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال متمرکز شده است، اما محدود به آن‌ها نیست. در این استاندارد حداقل تجهیزات و روش‌های اجرایی متداول ارائه شده است. پایداری، همیشه باید به‌عنوان یک ویژگی سیستم در نظر گرفته شود. با تغییر لایه‌ها یا مواد موجود در سیستم (از جمله در بسته‌بندی)، آزمون مجدد لازم خواهد بود تا اطمینان حاصل شود که تاثیری آسیب‌زا بر پایداری نداشته باشد.

این استاندارد توصیه خاصی درباره مواد و سازه‌های افزاره که آزمون می‌شوند، ارائه نمی‌دهد و می‌تواند برای طیف گسترده‌ای از سیستم‌ها اعمال شود. تصویر کلی افزاره مورد آزمون در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمایش کلی افزاره تحت آزمون در طی مشخصه‌یابی I-V

این استاندارد به‌عنوان یک سند کلی است که می‌تواند برای همه افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال در نظر گرفته شود. بر این اساس، قرار نیست به‌عنوان استاندارد برای مدول‌های فتوولتائیک مونتاژ شده استفاده شود. آزمون‌های تنش برای ایجاد ثبات روش‌های اجرایی آزمون و گزارش اطلاعات قابلیت اطمینان به‌طور خاص و صریح تعریف شده است.

فناوری نانو- ارزیابی قابلیت اطمینان - قسمت ۲ - ۱: افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال - آزمون پایداری

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه یک برنامه آزمون پایداری کلی به منظور تأیید پایداری کارایی نانومواد و افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال (NePV)^۱ است. این افزاره‌ها از طریق ترکیب با سایر اجزا به عنوان زیرمجموعه‌ای برای ساخت مدول‌های فتوولتائیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. این برنامه آزمون، شرایط تخریب استاندارد شده، روش‌شناسی‌ها و ارزیابی داده‌ها برای فناوری‌ها را تعریف می‌کند. نتایج این آزمون‌ها، پایداری در شرایط تخریب استاندارد شده را برای ارزیابی کمی پایداری یک فناوری جدید تعیین می‌کند. روش‌های اجرایی تشریح شده در این استاندارد برای فتوولتائیک نانوفعال طراحی شده است، اما می‌تواند به عنوان یک راهنما برای سایر فناوری‌های فتوولتائیک نیز ارائه شود.

یادآوری ۱- آزمون‌های موجود در این استاندارد با پیش فرض به کارگیری در فضای باز انتخاب شده است و به همین ترتیب عوامل مجزایی از تنش را نشان می‌دهند که افزاره‌ها در محیط‌های باز در معرض آن قرار می‌گیرند. برای محیط‌های داخلی، تنش‌هایی که افزاره‌های در حال کار با آن روبه‌رو هستند، به طور قابل توجهی کمتر است و همه آزمون‌ها کاربردی نخواهد بود. با این وجود، آزمون‌های پیشنهادی وسیله‌ای برای پیگیری پیشرفت‌های پایداری است و می‌تواند داده‌های ارزشمندی را در حین توسعه افزاره فراهم کند.

یادآوری ۲- کارایی افزاره‌ها قبل و پس از استفاده از آزمون‌های تنش ارزیابی می‌شود. روش‌های مشخصه‌یابی بازده برای فتوولتائیک نانوفعال در حال حاضر کاملاً مشخص نشده است. بنابراین، در متن، یادآوری‌هایی در مورد مشخصه‌یابی بازده اضافه می‌شود. این یادآوری‌ها به‌ویژه به مواردی که در آینده برای برنامه‌های کاربردی مورد بحث قرار می‌گیرند، مانند استفاده در فضای داخلی، یا افزاره‌هایی با واکنش کند یا پاسخ‌های طیفی غیرمعمول مانند سلول‌های تَندَم^۲ (چند پیوندی)، اشاره می‌نماید.

یادآوری ۳- هدف و دامنه کاربرد این استاندارد شامل مدول‌های فتوولتائیک، به عنوان محصول نهایی نیست. این استاندارد فقط برای آزمون فناوری در نظر گرفته شده است.

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.

1- Nano-enabled Photovoltaic Device

2- Tandem

استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲-۲۰۳۰۴ (چاپ اول): سال ۱۳۹۹

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۲۵۵۲۳: سال ۱۳۹۴، پلاستیک‌ها- روش‌های قرار دادن در معرض منابع نوری آزمایشگاهی- قسمت ۲: لامپ‌های قوس زنون

2-2 ISO 4892-1, Plastics- Methods of exposure to laboratory light sources- Part 1: General Guidance

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۲۵۲۳: سال ۱۳۹۷، پلاستیک‌ها - روش‌های قرار دادن در معرض منابع نوری آزمایشگاهی- قسمت ۱: راهنمای کلی، با استفاده از استاندارد ISO 4892-1: 2016 تدوین شده است.

2-3 ISO 9370, Plastics- Instrumental determination of radiant exposure in weathering tests- General guidance and basic test method

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۵۰۰۰: سال ۱۳۹۷، پلاستیک‌ها- روش دستگای قرارگیری در معرض جسم تابشی در آزمون‌های هوازدگی- راهنمای عمومی و کلیات روش آزمون، با استفاده از استاندارد ISO 9370: 2017 تدوین شده است.

2-4 ISO 877-1, Plastics - Methods of exposure to solar radiation- Part 1: General guidance

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۲۹۹۷: سال ۱۳۸۹، پلاستیک‌ها- روش‌های قرار دادن در معرض تابش نور خورشید- قسمت اول: راهنمای کلی، با استفاده از استاندارد ISO 877-1: 2009 تدوین شده است.

2-5 ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration Laboratories

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۲۵: سال ۱۳۸۶، الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون، با استفاده از استاندارد ISO/IEC 17025:2005 تدوین شده است.

2-6 IEC 60904-1, Photovoltaic devices- Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۱۱۵: سال ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۱: اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان - ولتاژ فتوولتائیک، با استفاده از استاندارد IEC 60904-1: 2006 تدوین شده است.

2-7 IEC 60904-9, Photovoltaic devices- Part 9: Solar simulator performance requirements

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۱۳۰۷: سال ۱۳۹۱، افزارهای فتوولتائیک- قسمت ۹: الزامات عملکرد شبیه‌ساز خورشیدی با استفاده از استاندارد IEC 60904-9: 2007 تدوین شده است.

2-8 IEC 60068-2-2, Environmental testing- Part 2-2: Tests- Test B: Dry heat

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲-۱۳۰۷: سال ۱۳۸۷، آزمون‌های محیطی- قسمت ۲-۲: آزمون‌ها- آزمون B: گرمای خشک، با استفاده از استاندارد IEC 60068-2-2: 2007 تدوین شده است.

2-9 IEC 60068-2-78, Environmental testing- Part 2-78: Tests- Test Cab: Damp heat, steady state

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۷۸-۱۱۳۰۷: سال ۱۳۹۳، آزمون‌های محیطی- قسمت ۲-۷۸: آزمون Cab: گرمای مرطوب، حالت پایدار، با استفاده از استاندارد IEC 60068-2-78: 2012 تدوین شده است.

۳ اصطلاحات، تعاریف و کونه‌نوشت‌ها

یادآوری - واژگان جامع فناوری نانو به‌طور مشترک در کمیته‌های فنی IEC TC 113 و ISO/TC 229 در حال توسعه است. این واژگان به‌عنوان بخش‌های مختلف مجموعه استانداردهای ۸۰۰۰۴ از قسمت ۱ تا ۱۳ منتشر شده است. این استاندارد با اصطلاحات و تعاریف مربوط به مجموعه استانداردهای ۸۰۰۰۴ در زمان انتشار هماهنگ شده است و همچنان این هماهنگی حفظ خواهد شد. تعاریفی که هنوز مشخص نشده است از منابع علمی گرفته شده است.

۱-۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به‌کار می‌رود^۱:

۱-۱-۳

افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال

nano enabled photovoltaic device
NePV

افزاره فتوولتائیک که در آن تبدیل نور به انرژی الکتریکی توسط فناوری نانو، امکان‌پذیر یا به‌طور قابل توجهی بهبود یافته است.

یادآوری - فتوولتائیک‌های نانوفعال به افزاره‌های فتوولتائیک و محصولات نیمه‌تمام اشاره دارد که شامل یک یا چند ماده فعال در تبدیل نور بر پایه یک ماده نانو یا نیم‌رسانا است. افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال شامل افزاره‌های فتوولتائیک با پیوندهای توده‌ای ناهمگن می‌شود که از پلیمرهای آلی یا مولکول‌های کوچک ساخته شده است، همچنین سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ و سلول‌های خورشیدی هیبریدی از مواد آلی و معدنی ساخته شده‌اند. همچنین افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال شامل افزاره‌های فتوولتائیکی هستند که از نانوذرات معدنی نیز ساخته می‌شوند.

۲-۱-۳

افزاره‌های تحت آزمون

device under test
DUT

افزاره نماینده که در آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یادآوری - افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال از لایه‌های چند عملکردی تشکیل شده است که به صورت مکانیکی و الکتریکی متصل هستند یا روی یک بستر منعطف یا صلب (سخت) به‌کار برده شده است (به‌عنوان مثال به‌وسیله چاپ). برای اهداف آزمون، توصیه می‌شود ابعاد نمونه‌ها نمایانگر فناوری باشند و نتیجه‌ای ارائه نمایند که بتوان یک فناوری را در مقیاس بزرگتر تولید نمود. برای این منظور، باید حداقل ناحیه فعال در افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال استفاده‌شده در ارزیابی پایداری به اندازه کافی بزرگ باشد تا در آزمون سطح، اثرات لبه را به حداقل برساند (مساحت توصیه‌شده سطح یک افزاره مطابق با استانداردهای لازم برای صدور گواهی‌نامه افزاره‌های فتوولتائیک دارای اندازه‌ای در حدود 1 cm^2 یا بیشتر است). این استاندارد برای راهنمایی و تسهیل توسعه فناوری‌های جدید در نظر گرفته شده است و افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال که در معرض

۱- اصطلاحات و تعاریف به‌کاررفته در استانداردهای IEC و ISO در وبگاه‌های <http://www.electropedia.org> و <http://www.iso.org/obp> قابل دسترس است.

این آزمون‌ها قرار دارند، افزاره‌های نیمه‌تمام بسته‌بندی نشده یا بسته‌بندی شده هستند که برای استفاده کاربر نهایی محصول، محصولات کاملی نیستند.

۳-۱-۳

I-V مشخصه یابی

IV-characterization

به اندازه‌گیری مشخصه جریان-ولتاژ گفته می‌شود.

یادآوری-

الف - به‌طور کلی از منابع تابش نور مصنوعی غیر از نور خورشید برای مشخصه‌یابی استفاده می‌شود.

ب- برای منابع تابش نور غیر از آنچه در استاندارد IEC 60904 مشخص شده است، می‌توان شدت نور کل را از افزاره پاسخ طیفی مطلق و طیف نور تابش به‌درستی تعیین نمود. توصیه می‌شود طیف نور تابش و افزاره پاسخ طیفی مطلق در گزارش آزمون ثبت شود. [1]

پ- با توجه به ماهیت افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال همان‌طور که در زیربند ۳-۱-۱ تعریف شده است، ممکن است الگوریتم‌های طراحی شده اختصاصی برای توصیف I-V به‌کارگرفته شوند، به‌عنوان مثال [2]. توصیه می‌شود که الگوریتم‌ها با جزئیات، در گزارش آزمون ثبت شوند.

۴-۱-۳

بازده تحت تنش (بازده مشروط)

conditioned efficiency

بازده تبدیل نور اندازه‌گیری شده برای یک افزاره پس از این‌که روش‌اجرایی آماده‌سازی شرایط تنش مورد نظر اعمال شده است.

یادآوری- ممکن است برای دستیابی به اندازه‌گیری‌های بازده تکرارپذیر، نیاز شود تا آماده‌سازی شرایط تنش قبل از مشخصه‌یابی I-V برای افزاره‌ها اعمال شود. توصیه می‌شود برای اطمینان از عدم تغییر بازده افزاره در طی اندازه‌گیری، روش‌اجرایی آماده‌سازی شرایط تنش که از پیش در این استاندارد تعیین شده است، رعایت شود.

۵-۱-۳

بازده پیش از تنش (بازده مشروط اولیه)

initial conditioned efficiency

بازده اندازه‌گیری شده برای یک افزاره پس از اعمال روش‌اجرایی آماده‌سازی شرایط تنش پیش از آن‌که در معرض آزمون تنش قرارگیرد.

۶-۱-۳

t_{80}

t_{80}

زمانی است که بازده تحت تنش به ۸۰٪ از بازده پیش از تنش رسیده باشد.

یادآوری - زمان t_{80} به معیار پایداری که برای تعریف پایان آزمون استفاده می‌شود، اطلاق می‌شود. این زمانی است که افزاره تحت آزمون در آزمون تنش در شرایط کهنه‌سازی تسریع‌شده قرار می‌گیرد تا بازده پایداری آن به ۸۰٪ بازده پایداری شده اولیه رسیده باشد. مدت توصیه‌شده برای آزمون‌های تنش تسریع‌شده تا زمان رسیدن به t_{80} یا سطح مواجهه رضایت‌بخشی که نشان‌دهنده استفاده عملی از شرایط به‌دست آمده است.

۷-۱-۳

نقطه بیشینه توان

maximum power point MPP

نقطه‌ای در مشخصه I-V یک افزاره فتوولتائیک که در آن حاصلضرب جریان و ولتاژ، یعنی توان خروجی، به بیشینه مقدار خود می‌رسد.

[منبع: زیربند ۳-۴-۴۲، مورد پ، استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۸۵۲: سال ۱۳۹۵، تغییر یافته]

۸-۱-۳

بازرسی چشمی (دیداری)

visual inspection

به روش اجرایی برای تشخیص هرگونه نقص دیداری در نمونه گفته می‌شود.

۹-۱-۳

آشکارسازهای دمای مقاومتی

resistive temperature detector RTD

افزاره اندازه‌گیری دما که براساس تغییرات دما در مقاومت به‌منظور اندازه‌گیری دما استفاده می‌شود. مثال: آشکارسازهای PT100 تجاری موجود.

۲-۳ کوتاه‌نوشت‌ها

t_{80}	time to reach 80 % of the initial stabilized efficiency	زمان رسیدن به ۸۰٪ از بازده پایداری شده اولیه
DUT	device under test	افزاره تحت آزمون
MPP	maximum power point	نقطه بیشینه توان
RTD	resistive temperature detector	آشکارسازهای دمای مقاومتی
SAS	Stability assessment standard	استاندارد ارزیابی پایداری
NePV	nano-enabled photovoltaics	فتوولتائیک نانوفعال

۴ الزامات کلی

۱-۴ افزاره

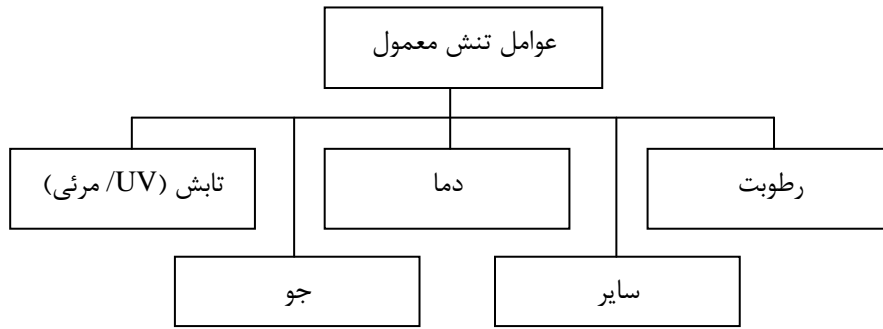
افزاره فتوولتائیک نانوفعال ویژه‌ای که این استاندارد به آن مربوط می‌شود، به‌طور معمول شامل یک سلول یا زیرمجموعه‌ای از سلول‌ها است که توسط یک مونتاژ کننده مدول برای ساخت محصول نهایی که به کاربر نهایی فروخته می‌شود، استفاده می‌شود. به‌منظور این روش‌اجرایی ارزیابی پایداری، محصول نیازی به تعریف مشخص ندارد. هدف از این استاندارد ارزیابی پایداری فناوری است. نمونه‌های آزمون باید به‌طور تصادفی از میان نمونه‌های بیشتری انتخاب شوند به‌طوری‌که افزاره‌های تحت آزمون نماینده‌ای برای سایر افزاره‌های آزمون هم‌گروه (هماد)^۱ خود باشند. اندازه فیزیکی نمونه‌ها باید طوری باشد که افزاره‌های تحت آزمون به اندازه کافی بزرگ باشند تا در معرض سازوکارهای تخریب مربوط قرار گیرند. با توجه به هدف و دامنه کاربرد این استاندارد، فرض بر این است که افزاره یک زیرمجموعه است.

۲-۴ آزمون‌ها

۱-۲-۴ کلیات

تمام آزمون‌های موجود در این استاندارد در رده آزمون‌های پایداری تسریع‌شده قرار می‌گیرند. این آزمون‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده است که افزاره‌های تحت آزمون را در معرض عوامل تنش واضح و تکرارپذیر ویژه‌ای قرار می‌دهد که باعث تسریع در سازوکارهای خرابی بحرانی می‌شود. توانایی کمی کردن پاسخ افزاره‌ها به تنش‌های اعمالی در مرحله اول توسعه باعث می‌شود چرخه‌های توسعه کارآمدی برای بهبود پایداری افزاره‌ها در شرایط آزمایشگاهی فراهم شود.

بعدها در محیط کار، براساس کاربرد نهایی انتخاب‌شده، فناوری با تنش‌های مختلفی روبه‌رو خواهد شد. برای ارزیابی پایداری، انتخاب مناسب عوامل تنش مرتبط به‌منظور بازتاب شرایط واقعی مهم است. این عوامل تنش چندان سخت‌گیرانه نیستند که به سرعت صلاحیت یک فناوری را مردود نماید، اما به اندازه کافی سخت‌گیرانه هستند تا نقاط ضعف یک فناوری را شناسایی کنند و وسیله‌ای برای تعیین کمی پیشرفت در یک فرایند توسعه باشند. نمای کلی عوامل تنش‌زای متداول که افزاره‌های فتوولتائیک در معرض آن قرار دارند در شکل ۲ نشان داده شده است.

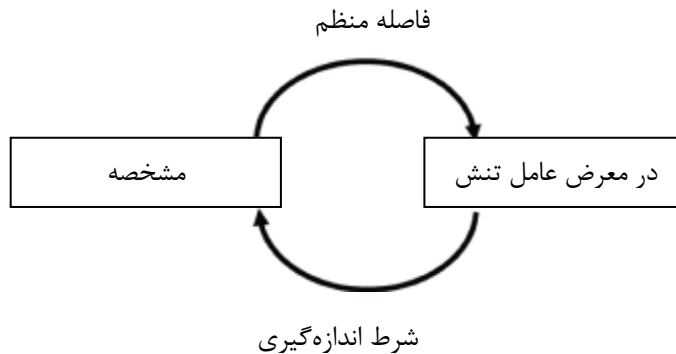


شکل ۲- نمای کلی از تنش‌هایی که افزاره‌های فتوولتائیک در محیط‌های کاری در معرض آن قرار می‌گیرند

آزمون پایداری کلی با اندازه‌گیری‌های مکرر کارایی افزاره‌های تحت آزمون قبل و پس از قرار دادن در معرض تنش یا ترکیبی از تنش‌ها برای یک دوره زمانی انجام می‌شود. یک روش اجرایی معمول در شکل ۳ نشان داده شده است. پس از مشخصه‌یابی اولیه، افزاره برای یک بازه زمانی منظم به محیط تنش فرستاده می‌شود. پس از مدت زمان در معرض قرار دادن افزاره تحت آزمون تنش برای اندازه‌گیری، مشخصه‌یابی می‌شود و دوباره در معرض تنش قرار می‌گیرد. این استاندارد، ترکیبات معینی از تنش‌های پیشنهادی را ارائه می‌دهد تا شرایط تنش مناسبی انتخاب شود. علاوه بر این، روش‌های اجرایی و الزامات تجهیزات مورد نیاز برای انجام اندازه‌گیری‌های قابل اطمینان و پایداری تکرارپذیر را تعیین می‌نماید.

در انتخاب نوع مناسب و شدت تنش، دانشی در مورد حالت‌های خرابی مکرر و سازوکارهای خرابی برای افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال لازم است. برای راهنمایی، پیوست الف فهرستی از مهمترین حالت‌های خرابی را برای این نوع افزاره‌های فتوولتائیک ذکر نموده است. در پیوست ب رایج‌ترین سازوکارهای خرابی برای افزاره‌های فتوولتائیک تهیه شده است.

پیوست پ راهنمایی برای انتخاب دمای مناسب برای استفاده از عوامل تنش انتخاب‌شده، ارائه می‌دهد.



شکل ۳- روش اجرایی آزمون پایداری کلی

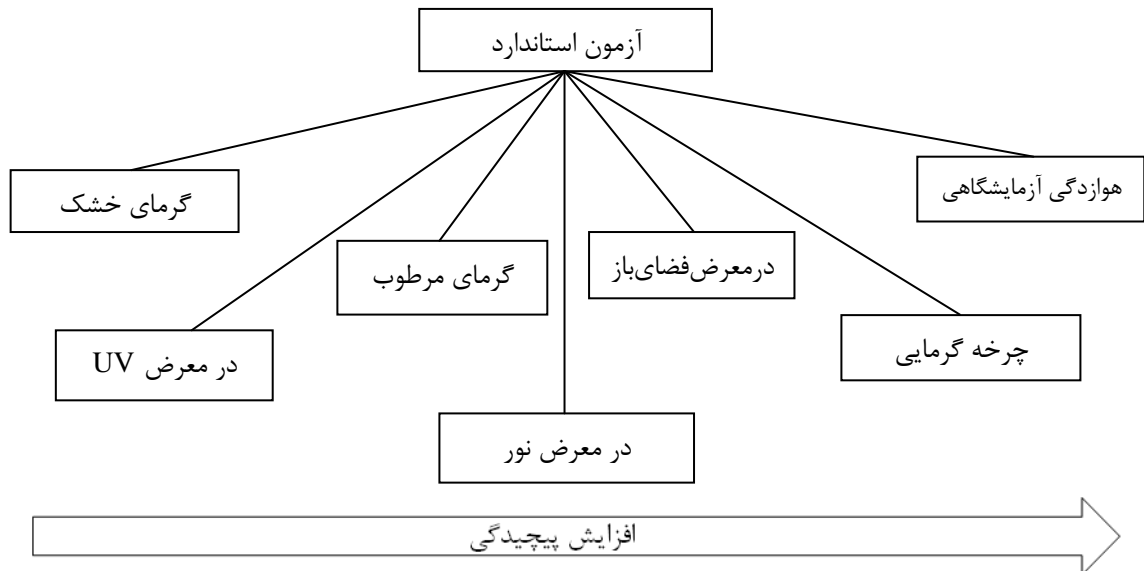
آزمون تنش‌ی که توصیه می‌شود ترکیبی از تعداد محدودی از تنش‌های واضح شده^۱ باشد. جدول ۱ نمای کلی از مقادیر توصیه‌شده برای تنش‌های معمول که در بسیاری از پروتکل‌های آزمون با آن روبه‌رو می‌شوند ارائه می‌دهد.

جدول ۱- خلاصه‌ای از تنش‌های استفاده‌شده در این استاندارد

مقادیر معمول					تنش
چرخه دمایی ۸۵ °C تا -۴۰ °C	۸۵ °C	۶۵ °C	۴۵ °C	محیط	دما (T)
	۸۵ % RH	۵۰ % RH	۰ % RH	محیط	رطوبت (H)
UV (فرابنفش)	لامپ	شبیه‌ساز خورشیدی (AM 1,5 , ۱۰۰۰ W/m ²)	فضای باز	بدون نور (تاریک)	نور (L)
			مکانیکی (فشار، برش)	تأثیرات جوّی	سایر (M)
1- Relative Humidity 2- Air Mass					

هر ترکیبی امکان‌پذیر است. اگرچه برای تسریع در تخریب، بهتر است ترکیب‌های مناسبی انتخاب شود که منعکس‌کننده محیط کار مورد انتظاری باشد که احتمالاً در آینده از این فناوری در آن استفاده خواهند نمود. علاوه بر این، مطلوب است یک اثر تخریب‌پذیر قابل اندازه‌گیری باشد، یعنی ضروری است ناحیه تخریب خیلی کوچک نباشد، چرا که ممکن است در صورت انتخاب ناحیه اندازه‌گیری کوچک برای ارزیابی نامناسب باشد. به‌عنوان مثال در دوره ارزیابی، شرایط آزمونی که باعث تخریب بیش از ۲۰٪ کارایی در نظر گرفته می‌شود مناسب است.

برای افزاره‌های فتوولتائیک تعداد آزمون‌های پیشنهادشده تکامل‌یافته وجود دارد. نمای کلی از آزمون‌های پیشنهادی برای آزمون پایداری استاندارد، به‌ترتیب افزایش پیچیدگی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- نمای کلی از آزمون‌های ارزیابی پایداری که برای آزمون استاندارد به منظور ارزیابی پایداری فتوولتائیک نانوفعال توصیه می‌شوند

۲-۲-۴ تعداد نمونه‌ها

همه آزمون‌های پایداری باید در گروه‌های نمونه آماری مربوط انجام شود. در حالی که گروه‌های نمونه به‌طور معمول باید تا حد امکان بزرگ انتخاب شوند، در مورد نمونه‌های کوچک، حداقل اندازه گروه، پنج نمونه برای هر یک از آزمون‌های انجام‌شده، تعیین شده است. برای افزاره‌های بزرگتر (بیشتر از 25 cm^2) ممکن است آزمون در گروه‌های کوچکتر نیز انجام شود.

۳-۲-۴ توالی

انجام آزمون‌ها به‌طور متوالی مورد نظر نیست. افزاره‌های تحت آزمون فقط می‌توانند در معرض یک آزمون خاص قرار گیرند، به‌طوری‌که می‌توان چندین آزمون تنش موازی را انجام داد تا آزمون تسریع شود. برای ارزیابی کامل پایداری، توصیه می‌شود گروه‌هایی از افزاره‌های تحت آزمون در هر یک از آزمون‌ها قرار گیرند. توصیه می‌شود در مراحل اولیه آزمون، آزمون‌هایی با پیچیدگی کمتر انجام شود. پس از دستیابی به سطح پایداری قابل پذیرش، آزمون‌های پیچیده‌تری روی گروه‌های جدید از افزاره‌های تحت آزمون انجام شود. سطوح پایداری قابل پذیرش در این استاندارد تعیین نشده است و ضروری است توسط تولیدکننده مشخص شود.

۴-۲-۴ ویژگی‌های تجهیزات

برای اینکه آزمون قابل پذیرش باشد، تمام آزمون‌ها باید با تجهیزات مجاز و کالیبره‌شده انجام شود که امکان پایش شرایط محیطی را فراهم می‌آورد.

ویژگی‌ها به تفصیل در زیربندهای مربوط ذکر شده است، یا توصیه می‌شود از استانداردهای ارجاع‌داده‌شده گرفته شود.

۵-۲-۴ روش‌های آزمون

تمام روش‌های آزمون توصیه شده در این استاندارد، به استثنای قراردادن در معرض فضای باز، در رده «آزمون‌های تخریب تسریع شده» قرار می‌گیرند. این آزمون‌ها به منظور انجام آزمون پایداری کمی، افزاره‌های تحت آزمون را در معرض مجموعه‌ای از پارامترهای تنش انتخاب شده اما کاملاً کنترل شده در تجهیزات آزمون بسیار تخصصی قرار می‌دهند. از آنجا که یک افزاره در محیط کار در فضای باز همیشه در معرض ترکیبی از تعداد زیادی از این تنش‌ها قرار دارد، به طور کلی توصیه می‌شود هواز دگی تکمیلی افزاره‌ها در فضای باز انجام داده شود تا مشاهده شود که آیا سازوکارهای خرابی در محیط بیرونی شبیه به مواردی در آزمون پایداری آزمایشگاهی است و بدین ترتیب آزمون‌های آزمایشگاهی اعتبارسنجی می‌شود. نمای کلی از تمام آزمون‌های توصیه شده با پارامترهای کنترل اصلی در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای ارزیابی پایداری افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال لازم است تعدادی آزمون تخریب تسریع شده و محیطی انجام شود. جدول ۲ نمای کلی از آزمون‌های توصیه شده در محدوده هدف و دامنه کاربرد این استاندارد ارائه می‌نماید.

جدول ۲- نمای کلی خلاصه‌ای از روش‌های آزمون مرتبط و پارامترهای اصلی پایش

شناسه آزمون و توضیحات							پارامتر
ST7 چرخه گرمایی	ST6 هواز دگی آزمایشگاه	ST5 در معرض فضای باز	ST4 در معرض نور	ST3 گرمای مرطوب	ST2 در معرض UV	ST1 گرمای خشک	
---	نور روز، (۶۰۰ تا ۱۰۰۰) W/m ²	محیط	نور روز، (۶۰۰ تا ۱۰۰۰) W/m ²	---	فرا بنفش (UV)	---	نور
- ۴۰ °C تا ۸۵ °C	۳۸ °C	محیط	۶۵ °C	۴۵ °C ۶۵ °C ۸۵ °C ^a	۶۵ °C	۴۵ °C ۶۵ °C ^a ۸۵ °C	دما
محیط	۸۵ % RH / پاشش آب	محیط	محیط	۸۵ % RH	محیط	محیط	رطوبت
اتاقک آب و هوایی	دستگاه هواز دگی	فضای باز	اتاقک اشباع نوری	اتاقک آب و هوایی	اتاقک UV	کوره	محیط
---	غیر فعال یا فعال، نقطه بیشینه توان	غیر فعال یا فعال، نقطه بیشینه توان	غیر فعال یا فعال، نقطه بیشینه توان	---	---	---	بار

a زیر خط، دمای مورد نظر برای آزمون را نشان می‌دهد.

۳-۴ اندازه‌گیری‌ها

۱-۳-۴ کلیات

برای دستیابی به داده‌های نماینده و قابل‌مقایسه، توصیه می‌شود کلیه اندازه‌گیری‌ها با تجهیزات مناسب و کالیبره‌شده برای کسب داده‌ها انجام شود. برای مشخصات ویژه، به استاندارد IEC 60904 (تمام قسمت‌ها) مراجعه شود.

۲-۳-۴ آماده‌سازی شرایط تنش

برای پایدارشدن مشخصه‌های الکتریکی افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال که تحت آزمون قرار دارند، آماده‌سازی شرایط تنش با استفاده از نور طبیعی خورشید یا تابش خورشیدی شبیه‌سازی شده ممکن است پیش از مشخصه‌یابی I-V ضروری باشد. آماده‌سازی شرایط تنش باید مطابق با استاندارد IEC 60904-9 یا نور آفتاب طبیعی با یک شبیه‌ساز خورشیدی با رده BCB یا بهتر از آن انجام شود. آماده‌سازی شرایط تنش برای پایش تابش به یک افزاره مرجع مناسب، همراه با یکپارچه‌ساز نیاز است، به این معنی که نصب افزاره به صورت هم‌صفحه^۱ با افزاره مرجع و پایش دمای افزاره(ها) با دقت $\pm 2^\circ\text{C}$ انجام شود.

برای آماده‌سازی شرایط تنش ضروری است روش‌اجرایی زیر به کار برده شود.

الف- به تجهیزات پایش، همان‌طور که توسط سازنده توصیه شده است، افزاره‌ها و افزاره مرجع در صفحه آزمون شبیه‌ساز وصل و نصب شود.

ب- هنگام استفاده از شبیه‌ساز خورشیدی، از افزاره مرجع برای تنظیم شدت تابش بین 800 W/m^2 و 1000 W/m^2 استفاده شود. شدت تابش ثبت شود.

پ- در طی قرار دادن در معرض شبیه‌ساز، دمای افزاره باید در دمای $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ باشد.

ت- مشخصه I-V پی‌درپی در فواصل ۱۰ min ثبت شود. افزاره‌هایی تحت آزمون تنش در نظر گرفته می‌شوند که در یک بازه ۱۰ دقیقه‌ای کمتر از ۲٪ اختلاف نسبی در بازه بین دو مشخصه‌یابی I-V پیاپی را نشان دهند، درحالی‌که افزاره‌ها تحت AM 1,5 (جرم هوای ۱/۵) در شبیه‌ساز خورشیدی در دمای ثابت نگهداری می‌شوند. همچنین ضروری است این روش‌اجرایی پیش از آزمون پایداری برای اندازه‌گیری اولیه دنبال شود.

ث- دُز شدت تابش و زمان در معرض قرار دادن مورد نیاز برای روش‌اجرایی آماده‌سازی شرایط تنش و همچنین هرگونه آماده‌سازی شرایط تنش تکمیلی دیگری که برای افزاره‌ها به کار برده می‌شود، گزارش شود.

اگر افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال چندپیوندی تحت آزمون تنش باشند، هر پیوند pn باید الزامات پایداری توصیف‌شده را برآورده سازد. بنابراین، مشخصه‌های I-V باید با طیف‌های مختلف مناسب اندازه‌گیری شود.

۳-۳-۴ بازرسی چشمی (دیداری)

- بادقت هر نمونه در زیر نور حداقل ۱۰۰۰ lux برای شرایط نقص زیر بررسی شود. این شرایط عبارتند از:
- ترک خوردگی، خمیدگی، بهم‌ریختگی یا پاره‌شدگی سطوح خارجی؛
 - میان‌اتصال^۱ها یا اتصالات معیوب؛
 - حفره‌های داخل لایه و خوردگی نمایان از هر یک از لایه‌های فیلم نازک از مدار فعال؛
 - خوردگی نمایان اتصالات‌های خارجی، میان‌اتصال‌ها و شینه‌ها؛
 - خرابی اتصالات چسبی؛
 - تشکیل حباب‌ها یا لایه‌لایه‌شدگی که یک مسیر پیوسته بین یک سلول و لبه مدول را تشکیل می‌دهند.
 - سطوح چسبناک مواد پلاستیکی؛
 - هر شرایط دیگری که ممکن است کارایی را تحت تأثیر قرار دهد.
- ماهیت و موقعیت هرگونه ترک، حباب یا لایه‌لایه‌شدگی و غیره که ممکن است در آزمون‌های بعدی، کارایی مدول را بدتر نماید و تحت تأثیر منفی قرار دهد یادداشت شود و یا از آن‌ها عکس گرفته شود.

۴-۳-۴ جمع‌آوری داده‌ها

دستیابی به داده‌ها در طول آزمون پایداری باید حداقل الزامات زیر را برآورده کند.

الف- حداقل نرخ دستیابی به داده‌ها

برای پنج روز اول، اندازه‌گیری باید هر روز انجام شود. پس از آن ضروری است افزارها هفتگی اندازه‌گیری شوند.

ب- اندازه‌گیری دما

در آزمون‌های روشنایی از یک آشکارساز PT100 (یا مشابه آن) یا ترموکوپل که در پشت حداقل یک افزاره/مدول نماینده قرار داده شده است، استفاده شود و یا دمای افزاره/مدول نماینده در برابر دمای استاندارد سیاه (BST)^۲ کالیبره شود. برای آزمون‌های دیگر، دمای اتاقک پایش شود.

پ- منحنی‌های I-V

مطابق استاندارد IEC 60904-1 اندازه‌گیری شود. با توجه به ماهیت فتوولتائیک نانوفعال همان‌طور که در زیربند ۱-۱-۳ تعریف شده است، ممکن است الگوریتم‌های ویژه‌ای برای ردیابی منحنی I-V به کار برده شوند. ضروری است الگوریتم‌ها در گزارش آزمون با جزئیات ثبت شوند.

1- Interconnection

2- Busbar

3- Black Standard Temperature

ت- نقطه بیشینه توان

نقطه بیشینه توان به طور مستقیم از منحنی I-V با ضرب جریان I و ولتاژ U برای هر نقطه اندازه گیری و شناسایی بیشینه توان از، $P = U \times I$ به دست آورده شود.

۵-۳-۴ معیار قبول / رد

هدف آزمون تعیین مقدار کمی پایداری افزارهای فتوولتائیک نانوفعالی است که در معرض آزمون های پایداری کنترل شده قرار دارند. برای این منظور هیچ معیار قبول / رد در این استاندارد مشخص نشده است. نتیجه آزمون معیار پایداری کمی است که به عنوان t_{80} تعریف شده است و مدت زمانی که طول می کشد تا یک آزمون ویژه برای افزارهای به ۸۰٪ بازده اولیه پایدار شده (تحت آزمون تنش) برسد.

۵ روش های آزمون

۱-۵ روش ST1- گرمای خشک

۱-۱-۵ هدف

تعیین توانایی مقاومت افزاره تحت آزمون در برابر تنش گرمایی است.

۲-۱-۵ دما/رطوبت

آزمون باید مطابق با استاندارد IEC 60068-2-2 انجام شود. دماهای معمول مورد استفاده در این آزمون 45°C ، 65°C و 85°C برای آزمون سازوکارهای تخریب است. آزمون در دمای 85°C توصیه می شود. خاتمه آزمون یا t_{80} است و یا توسط کاربر تعریف شده است.

۳-۱-۵ ثبت داده

ثبت داده به صورت دوره ای با فاصله اولیه یک اندازه گیری در روز، برای پنج روز اول در هر اندازه گیری که بدون وقفه به مدت شش ساعت در معرض تنش قرارگیرد. توصیه می شود پس از آن افزارها، هفتگی و بدون وقفه به مدت شش ساعت در معرض تنش، اندازه گیری شوند. کل زمان قراردادن در معرض آزمون تنش باید برحسب ساعت ثبت شود. مشخصه یابی I-V تحت شبیه سازی خورشیدی کالیبره شده ضروری است. افزارها باید در شرایط مدار باز نگهداری شوند. اجازه داده شود سلولها قبل از اندازه گیری بازده، تحت شرایط استاندارد به تعادل برسند.

۴-۱-۵ خروجی

بازده تحت تنش یا بیشینه توان خروجی باید از اندازه گیری I-V استخراج و برحسب زمان رسم شود. سپس بازه زمانی سوزاندن آزمایشی^۱ (زمان آشکار شدن نواقص نیم رسانای افزاره با اعمال دما و ولتاژ بالا)، بازده

پیش از تنش، زمان t_{80} و میزان کاهش کارایی از نمودار استخراج و گزارش شود. بازرسی چشمی افزاره و هرگونه تغییر ثبت شود.

۵-۱-۵ تجهیزات موردنیاز

الف- شبیه‌ساز خورشیدی AM 1,5 کالیبره شده برای اندازه‌گیری‌های I-V در فضای داخل مطابق با استاندارد IEC 60904-9. همچنین برای اندازه‌گیری I-V، به یادآوری زیربند ۳-۱-۳ مراجعه شود.
ب- کوره با پایداری دما $\pm 2^\circ\text{C}$ ثبت‌کننده دما مطابق با استاندارد IEC 60068-2-2 باشد.

۲-۵ روش ST2- قرار دادن در معرض پرتو فرابنفش (UV)

۱-۲-۵ هدف

آزمون پایداری افزاره تحت تابش پرتو فرابنفش برای شناسایی مواد/قسمت‌هایی از افزاره که مستعد تخریب در برابر پرتو فرابنفش هستند، انجام می‌شود.

۲-۲-۵ منبع تابش

منبع پرتو فرابنفش قادر به تولید پرتویی با یکنواختی شدت تابش ± 5 روی صفحه آزمون افزاره(ها) بدون شدت تابش قابل توجه در طول‌موج‌های زیر ۲۸۵ nm و بالای ۴۰۰ nm است. اتاقت آزمون باید به ابزاری مجهز شده باشد که قادر به اندازه‌گیری تابش تولیدشده به وسیله منبع پرتو فرابنفش در صفحه آزمون افزاره(ها)، در محدوده طول‌موج‌های ۲۸۵ nm تا ۴۰۰ nm با عدم قطعیت $\pm 15\%$ باشد. افزاره‌ها در طول‌موج‌های بین ۲۸۵ nm تا ۴۰۰ nm، از 5% تا 7% در طول‌موج‌های از ۲۸۵ nm تا ۳۲۰ nm، 30% تا 40% از ۳۲۰ nm تا ۳۴۰ nm، هنگامی که دمای افزاره در محدوده تعیین شده است، در معرض تابش پرتو فرابنفش قرار گیرند. در صفحه آزمون افزاره پیشنهادی، شدت پرتو فرابنفش نباید بیش از 250 W/m^2 (یعنی در حدود ۵ برابر میزان نور طبیعی خورشید) در طول موج بین ۲۸۵ nm و ۴۰۰ nm باشد و باید در صفحه آزمون یکنواخت تا $\pm 15\%$ باشد.

۳-۲-۵ دما/رطوبت

تجهیزات کنترل دمای افزاره هنگامی که پرتو فرابنفش تابیده می‌شود. تجهیزات باید بتوانند افزاره را در دمای ثابت $5^\circ\text{C} \pm 65^\circ\text{C}$ حفظ نماید. دمای افزاره(ها) باید با دقت $\pm 2^\circ\text{C}$ اندازه‌گیری شود. حسگرهای دما باید به قسمت جلو یا پشت، نزدیک میانه افزاره متصل شوند. اندازه‌گیری دمای یک افزاره مرجع به جای همه تک افزاره‌های تحت آزمون قابل پذیرش است. رطوبت کنترل نمی‌شود.

۴-۲-۵ ثبت داده

ثبت داده به صورت دوره‌ای با فاصله اولیه یک اندازه‌گیری در روز، برای پنج روز اول در هر اندازه‌گیری بدون وقفه به مدت شش ساعت در معرض تنش قرارگیرد. توصیه می‌شود پس از آن افزاره‌ها، هفتگی و بدون

وقفه به مدت شش ساعت در معرض تنش، اندازه‌گیری شوند. کل زمان قراردادن در معرض آزمون تنش باید برحسب ساعت ثبت شود. مشخصه‌یابی I-V تحت شبیه‌سازی خورشیدی کالیبره‌شده ضروری است. افزارها باید در شرایط مدار باز نگهداری شوند. اجازه داده شود تا سلول‌ها قبل از اندازه‌گیری بازده، تحت شرایط استاندارد به تعادل برسند.

۵-۲-۵ خروجی

بازده تحت تنش یا بیشینه توان خروجی باید از اندازه‌گیری I-V استخراج و برحسب زمان رسم شود. سپس بازه زمانی سوزاندن آزمایشی، بازده پیش از تنش، زمان و دُز شدت تابش t_{80} و میزان کاهش کارایی از نمودار استخراج و گزارش شود. نتایج بازرسی چشمی افزاره، به‌ویژه هرگونه تغییر، ثبت شود. این آزمون ممکن است به محض قرار دادن در معرض نوردهی کل 15 kWh/m^2 پایان یابد. در این حالت، باید کارایی نهایی گزارش شود.

۶-۲-۵ تجهیزات موردنیاز

الف- شبیه‌ساز خورشیدی AM 1,5 کالیبره‌شده برای اندازه‌گیری‌های I-V در فضای داخل مطابق با استاندارد IEC 60904-9. همچنین برای اندازه‌گیری I-V، به یادآوری زیربند ۳-۱-۳ مراجعه شود.
ب- اتاقک پرتو فرابنفش قادر به برآورده کردن الزامات زیربندهای ۲-۲-۵ و ۳-۲-۵ باشد.

۳-۵ روش ST3- گرمای مرطوب

۱-۳-۵ هدف

تعیین توانایی مقاومت افزاره تحت آزمون در برابر اثرات نفوذ طولانی مدت رطوبت در دماهای بالا است.

۲-۳-۵ روش اجرایی

آزمون باید مطابق با مقررات تعیین‌شده در زیربندهای ۳-۳-۵ و ۶-۳-۵ استاندارد IEC 60068-2-78 انجام شود.

۳-۳-۵ دما/ رطوبت

سه ترکیب معمول (RH ۸۵ °C/۸۵ %، RH ۶۵ °C/۸۵ %، RH ۴۵ °C/۸۵ %). شرایط مطابق با پایداری افزاره انتخاب شود تا امکان مدت زمان انجام آزمایش و فراوانی داده‌های منطقی فراهم شود.

۴-۳-۵ ثبت داده

ثبت داده به‌صورت دوره‌ای با فاصله اولیه یک اندازه‌گیری در روز، برای پنج روز اول در هر اندازه‌گیری بدون وقفه به مدت شش ساعت در معرض تنش قرارگیرد. توصیه می‌شود پس از آن افزاره‌ها، هفتگی و بدون وقفه به مدت شش ساعت در معرض تنش، اندازه‌گیری شوند. کل زمان قراردادن در معرض آزمون تنش

باید برحسب ساعت ثبت شود. مشخصه‌یابی I-V تحت شبیه‌سازی خورشیدی کالیبره‌شده ضروری است. افزارها باید در شرایط مدار باز نگهداری شوند. اجازه داده شود تا سلول‌ها قبل از اندازه‌گیری بازده، تحت شرایط استاندارد به تعادل برسند.

۵-۳-۵ خروجی

بازده تحت تنش یا بیشینه توان خروجی باید از اندازه‌گیری I-V استخراج و برحسب زمان رسم شود. سپس بازه زمانی سوزاندن آزمایشی، بازده پیش از تنش، زمان t_{80} و میزان کاهش کارایی از نمودار استخراج و گزارش شود. بازرسی چشمی افزاره، به‌ویژه هرگونه تغییر، باید ثبت شود.

۵-۳-۶ تجهیزات موردنیاز

الف- شبیه‌ساز خورشیدی AM 1,5 کالیبره‌شده برای اندازه‌گیری‌های I-V در فضای داخل مطابق با استاندارد IEC 60904-9. همچنین برای اندازه‌گیری I-V، به یادآوری زیربند ۳-۱-۳ مراجعه شود.

ب- اتاقک آب‌وهوایی مطابق استاندارد IEC 60068-2-78 باشد.

۵-۴-۴ روش ST4- قرار دادن در معرض نور

۵-۴-۱ هدف

تعیین توانایی افزاره تحت آزمون برای تحمل قرارگیری طولانی‌مدت در معرض تابش طیفی با توزیع طیفی مشابه تابش خورشید است.

۵-۴-۲ منبع نور

لامپ زنون، لامپ گوگرد یا نور LED با W/m^2 (۶۰۰ تا ۱۰۰۰) یا از سوی دیگر منبع نور شبیه‌ساز خورشیدی با رده «CCC» (یعنی نزدیک‌ترین مشخصات مربوط به هم‌خوانی طیفی، یکنواختی مکانی و زمانی) که مطابق با استاندارد IEC 60904-9 است. بهتر است از تابش ثابت/یکنواخت استفاده شود. شدت (تابش) هر لامپ در طول آزمایش‌ها می‌تواند کم شود و ممکن است تغییرات شدت قابل‌توجهی از نظر مکانی داشته باشد، بنابراین تابش و طیف باید در افزارها پایش شود و در طول آزمایش‌ها ثبت شود. تغییرات مکانی یک سیستم در یک افزاره یا مدول باید تخمین زده و گزارش شود، اما می‌توان فرض کرد که در طول یک آزمایش به‌طور نسبی ثابت باقی می‌ماند.

بهتر است شدت نور در طول زمان پایش شود و توصیه نمی‌شود که بیش از $\pm 10\%$ متغیر باشد. برای لامپ‌های زنون یا گوگرد پایش شدت نور بین ۳۰۰ nm و ۴۰۰ nm کافی است، برای LEDها محدوده کامل طول موج قابل اجرا است.

۳-۴-۵ افزارها و شرط بار

توصیه می‌شود افزارها با فاصله قابل تنظیم و عمود بر پرتو لامپ قرار بگیرند. توصیه می‌شود افزارها به یک بار فعال، یا غیرفعال متصل شوند. در مورد بار غیرفعال، بار مقاومتی بهتر است به گونه‌ای انتخاب شود که افزار در نقطه بیشینه توان در T_0 باشد. در مورد بار فعال، توصیه می‌شود مقاومت بار در مقادیری نگه‌داشته شود تا افزار در نقطه بیشینه توان عمل نماید. فاصله ردیابی نقطه بیشینه توان می‌تواند در محدوده ۱۵ تا ۱ روز باشد.

۴-۴-۵ دما

ضروری است برای پایش دما، یک آشکارساز دمایی (RTD) PT100 یا حسگر دمایی ترموکوپل در پشت افزار وصل شود. انحراف بین دمای واقعی و دمای شناسایی شده در این زمینه قابل توجه نیست. استفاده از دمای صفحه سیاه^۱ یا دمای استاندارد سیاه برای پایش دما کافی است. توصیه می‌شود در این حالت افزاره دما کالیبره شود. افزار دمایی ممکن است توسط یک مرحله خنک‌سازی کنترل شود.

۵-۴-۵ رطوبت در شرایط محیط

شرایط محیط در دمای ۳۰٪ تا ۶۰٪ رطوبت نسبی در دمای اتاق از 16°C تا 30°C باید کنترل شود.

۶-۴-۵ ثبت داده

ثبت داده به صورت دوره‌ای با فاصله اولیه یک اندازه‌گیری در روز، برای پنج روز اول در هر اندازه‌گیری بدون وقفه به مدت شش ساعت در معرض تنش قرارگیرد. توصیه می‌شود پس از آن افزارها، هفتگی و بدون وقفه به مدت شش ساعت در معرض تنش، اندازه‌گیری شوند. کل زمان قراردادن در معرض آزمون تنش باید برحسب ساعت ثبت شود. مشخصه‌یابی I-V تحت شبیه‌سازی خورشیدی کالیبره شده لازم است. افزارها باید در شرایط مدار باز نگهداری شوند. اجازه داده شود تا سلول‌ها قبل از اندازه‌گیری بازده، تحت شرایط استاندارد به تعادل برسند.

۷-۴-۵ خروجی

بازده تحت تنش یا بیشینه توان خروجی باید از اندازه‌گیری I-V استخراج و برحسب زمان رسم شود. سپس بازه زمانی سوزاندن آزمایشی، بازده پیش از تنش، زمان و دُز شدت تابش t_{80} و میزان کاهش کارایی از نمودار استخراج و گزارش شود. نتایج حاصل از بازرسی چشمی افزار، به‌ویژه هرگونه تغییر، ثبت شود.

۸-۴-۵ تجهیزات مورد نیاز

الف- شبیه‌ساز خورشیدی AM 1,5 کالیبره شده برای اندازه‌گیری‌های I-V در فضای داخل مطابق با استاندارد IEC 60904-9. همچنین برای اندازه‌گیری I-V، به یادآوری زیربند ۳-۱-۳ مراجعه شود.

1- Black panel temperature

ب- لامپ کالیبره شده با ثبت کننده شدت، ثبت کننده دما. تجهیزات استاندارد که ترکیبی از این عملکردها است، توصیه می شود. مقررات استانداردهای ISO 4892-1 و ISO 4892-2 رعایت شود.

۵-۵ روش ST5- قرار دادن در معرض فضای باز

۱-۵-۵ هدف

تعیین توانایی افزاره تحت آزمون برای تحمل قرارگیری طولانی مدت در معرض فضای باز و آشکار کردن اثرات هم افزایی تخریب که ممکن است با آزمون های آزمایشگاهی تشخیص داده نشود. همه موارد قرار دادن در معرض فضای باز باید مطابق با استاندارد ISO 877-1 انجام شود.

۲-۵-۵ مکان ها

طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، تاریخ شروع و مدت زمان قرار دادن در معرض باید ثبت و گزارش شود. افزاره تحت آزمون، در نیمکره شمالی باید رو به جنوب و در نیمکره جنوبی رو به شمال نصب شود و با عرض جغرافیایی محلی مطابقت داشته باشد. مطلوب است که آزمون در مکان های شاخص مختلف (مثلاً خشک، نیمه حاره ای، ساحلی، ارتفاع زیاد، آلوده) در شرایط منطبق با اقلیم های هوای آزاد، مطابق با استاندارد IEC 60721-2-1 تعریف شود [4]. افزاره ها باید از هرگونه منبع سایه، به جز ابرها حفاظت شوند.

۳-۵-۵ شدت تابش خورشیدی

برای پایش شدت تابش در نقطه ای که نمونه ها در معرض تابش قرار می گیرند، باید یک پیرانومتر^۱ با عدم قطعیت کمتر از $\pm 50 \text{ W/m}^2$ یا یک سلول مرجع کالیبره شده در حالتی که جهت گیری در صفحه^۲ استفاده شود. دیگر حسگرهای شدت تابش طیفی حساس مورد نیاز نیست.

۴-۵-۵ افزاره ها

بهتر است افزاره ها با افزاره اندازه گیری شدت تابش به صورت هم صفحه نصب شوند.

۵-۵-۵ دما

ضروری است برای پایش دما، یک آشکارساز دمایی (RTD) PT100 یا حسگر دمایی ترموکوپل در پشت افزاره وصل شود. انحراف بین دمای واقعی و دمای شناسایی شده به این آزمون مرتبط نیست.

۶-۵-۵ شرط بار

یک بار مقاومتی باید به افزاره وصل شود. بار مقاومتی باید به گونه ای انتخاب شود که افزاره در نقطه بیشینه توان در T_0 باشد. از سوی دیگر ممکن است یک بار فعال به افزاره وصل شود. در صورت وجود بار فعال ضروری است، افزاره در نقطه بیشینه توان عمل کند.

1- Pyranometer
2- In-plane

۷-۵-۵ رطوبت/باد

رطوبت محلی و شرایط باد (جهت و سرعت) باید ثبت و گزارش شود.

۸-۵-۵ ثبت داده

افزارها باید در معرض فضای باز قرار گیرند و برای مشخصه‌یابی شرایط استاندارد شده به صورت دوره‌ای به داخل آورده شوند. فواصل زمانی توصیه شده برای این کار هفتگی یا ماهانه است. به عنوان یک جایگزین، ممکن است دُزهای شدت تابش به عنوان فواصل زمانی برای مشخصه‌یابی تعریف شوند.

۹-۵-۵ خروجی

بازده تحت تنش یا بیشینه توان خروجی باید از اندازه‌گیری I-V استخراج و برحسب زمان رسم شود. سپس بازه زمانی سوزاندن آزمایشی، بازده پیش از تنش، زمان و دُز شدت تابش t_{80} و میزان کاهش کارایی از نمودار استخراج و گزارش شود. نتایج حاصل از بازرسی چشمی افزاره، به ویژه هرگونه تغییر، ثبت شود.

۱۰-۵-۵ تجهیزات مورد نیاز

الف- شبیه‌ساز خورشیدی AM 1,5 کالیبره شده برای اندازه‌گیری‌های I-V در فضای داخل، مطابق با استاندارد IEC 60904-9. همچنین برای اندازه‌گیری I-V، به یادآوری زیربند ۳-۱-۳ مراجعه شود.

ب- پیرانومتر یا سلول مرجع کالیبره شده، ثبت کننده دما و تجهیزات مطابق با استاندارد ISO 877-1 باشد.

۶-۵ روش ST6- هواز دگی آزمایشگاهی

۱-۶-۵ هدف

تعیین تأثیر تابش خورشیدی شبیه‌سازی شده به وسیله یک منبع نور آزمایشگاهی، گرما و رطوبت همزمان بر روی افزاره تحت آزمون، به منظور القا تغییرات شیمیایی و فیزیکی که در فرایندهای طبیعی کهنه‌سازی به روش تسریع شده اعمال می‌شود. راهنمای کلی و دستورالعمل‌های ویژه در مورد چگونگی انجام آزمون هواز دگی تسریع شده با استفاده از منبع نور مناسب قوس زنون، در استانداردهای ISO 4892-1 و ISO 4892-2 ارائه شده است.

۲-۶-۵ دما/ رطوبت/ نور

پارامترهای آزمون زیر مطابق با استاندارد ISO 4892-2 به کار برده می‌شود.

توزیع توان طیفی: شدت تابش طیفی لامپ‌های قوس زنون یا قوس کربن با فیلترهای نوری (نور روز) مطابق با جدول ۱ (روش الف)، استاندارد ملی ایران شماره ۹۲-۱۲۵۲۳: سال ۱۳۹۴.

پارامترهای قرار دادن در معرض، باید مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۹۲-۱۲۵۲۳: سال ۱۳۹۴، جدول ۳، چرخه ۱ انتخاب شود. یک نمای کلی از این چرخه آزمون در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- پارامترهای در معرض گذاری مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۲۵۲۳: سال ۱۳۹۴، چرخه ۱

رطوبت نسبی %	دمای اتاقک °C	دمای استاندارد سیاه °C	شدت تابش		دوره در معرض قرار دادن
			باند باریک [۳۴۰ nm] W/(m ² nm)	باند پهن [(۳۰۰ تا ۴۰۰) nm] W/m ²	
۵۰ ± ۱۰	۳۸ ± ۳	۶۵ ± ۳	۰٫۵۱ ± ۲	۶۰ ± ۲	خشک ۱۰۲ min
-	-	-	۰٫۵۱ ± ۲	۶۰ ± ۲	افشانه آب ۱۸ min

۳-۶-۵ افزارها

افزارها باید با افزار اندازه گیری شدت تابش به صورت هم صفحه نصب شوند.

۴-۶-۵ شرط بار

افزارها باید با بار غیرفعال در زیر نور قرار گیرند. بار مقاومتری بهتر است به گونه ای انتخاب شود که افزار در نقطه بیشینه توان در T_0 باشد. ازسوی دیگر آزمون ممکن است در شرایط مدار باز انجام شود.

۵-۶-۵ ثبت داده

ثبت داده به صورت دوره ای با فاصله اولیه یک اندازه گیری در روز، برای پنج روز اول در هر اندازه گیری بدون وقفه به مدت شش ساعت در معرض تنش قرار گیرد. توصیه می شود پس از آن افزارها، هفتگی و بدون وقفه به مدت شش ساعت در معرض تنش، اندازه گیری شوند. کل زمان قراردادن در معرض آزمون تنش باید برحسب ساعت ثبت شود. مشخصه یابی I-V تحت شبیه سازی خورشیدی کالیبره شده لازم است. اجازه داده شود تا سلول ها قبل از اندازه گیری بازده، تحت شرایط استاندارد به تعادل برسند.

۶-۶-۵ خروجی

بازده تحت تنش یا بیشینه توان خروجی باید از اندازه گیری I-V استخراج و برحسب زمان رسم شود. سپس بازه زمانی سوزاندن آزمایشی، بازده پیش از تنش، زمان و دز شدت تابش t_{80} و میزان کاهش کارایی از نمودار استخراج و گزارش شود. نتایج حاصل از بازرسی چشمی افزار، به ویژه هرگونه تغییر، باید ثبت شود.

۷-۶-۵ تجهیزات مورد نیاز

الف- شبیه ساز خورشیدی AM 1,5 کالیبره شده برای اندازه گیری های I-V در فضای داخل، مطابق با استاندارد IEC 60904-9. همچنین برای اندازه گیری I-V، به یادآوری زیربند ۳-۱-۳ مراجعه شود.

ب- دستگاهی که مطابق با استاندارد ISO 4892-2 قادر به اندازه گیری و کنترل شدت تابش، دمای هوای اتاقک، دمای استاندارد سیاه، رطوبت نسبی و همچنین تأمین افشانه آب دوره ای است. همه

حسگرهای اندازه‌گیری شدت تابش، دما، یا رطوبت باید مطابق با استانداردهای ISO 4892-1، ISO 4892-2 و ISO 9370 عمل نماید و کالیبره شوند.

۷-۵ روش ST7- چرخه حرارتی

۱-۷-۵ هدف

تعیین توانایی مدول در تحمل عدم انطباق حرارتی، خستگی و فشارهای دیگر ایجادشده در برابر تغییرات مکرر دما است.

۲-۷-۵ دما/ رطوبت

برای چرخه دما باید از استاندارد IEC 61646 استفاده شود. افزاره‌های تحت آزمون باید چرخه‌ای بین دمای مدول از $2^{\circ}\text{C} \pm 40^{\circ}\text{C}$ و $2^{\circ}\text{C} \pm 85^{\circ}\text{C}$ ، مطابق با نمایه موجود در شکل ۵ داشته باشند. آهنگ تغییر دما بین دو حد بالا و پایین نباید بیش از $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ باشد و دمای مدول باید در هر یک از این دو حد برای حداقل ۱۰ min پایدار نگه‌داشته شود. زمان چرخه نباید از ۶ h تخطی نماید. رطوبت کنترل نمی‌شود. زمان چرخه و شرایط واقعی گزارش می‌شود. شرایط محیط و رطوبت واقعی باید ثبت و گزارش شود.

۳-۷-۵ ثبت داده

دوره‌ای با فاصله اولیه از یک اندازه‌گیری بعد از هر ۱۰ چرخه، در هر اندازه‌گیری بدون وقفه به مدت شش ساعت در معرض تنش قرارگیرد. پس از آن افزاره‌ها باید در هر ۵۰ چرخه بدون وقفه بیش از شش ساعت در معرض تنش، اندازه‌گیری شوند. کل زمان قرار دادن در معرض آزمون تنش باید برحسب ساعت و چرخه‌ها ثبت شود. مشخصه‌یابی I-V براساس شبیه‌ساز خورشیدی کالیبره‌شده لازم است. افزاره‌ها باید در شرایط مدار باز نگهداری شوند. باید اجازه داده شود تا افزاره‌های تحت آزمون قبل از اندازه‌گیری بازده، با شرایط استاندارد تعادل برقرار نمایند.

۴-۷-۵ خروجی

بازده تحت تنش یا بیشینه توان خروجی باید از اندازه‌گیری I-V استخراج و برحسب تعداد چرخه‌ها رسم شود. سپس بازه زمانی سوزاندن آزمایشی، بازده پیش از تنش، زمان و دز شدت تابش t_{80} و میزان کاهش کارایی از نمودار استخراج و گزارش شود. نتایج حاصل از بازرسی چشمی افزاره، به‌ویژه هرگونه تغییر، باید ثبت شود.

۵-۷-۵ تجهیزات مورد نیاز

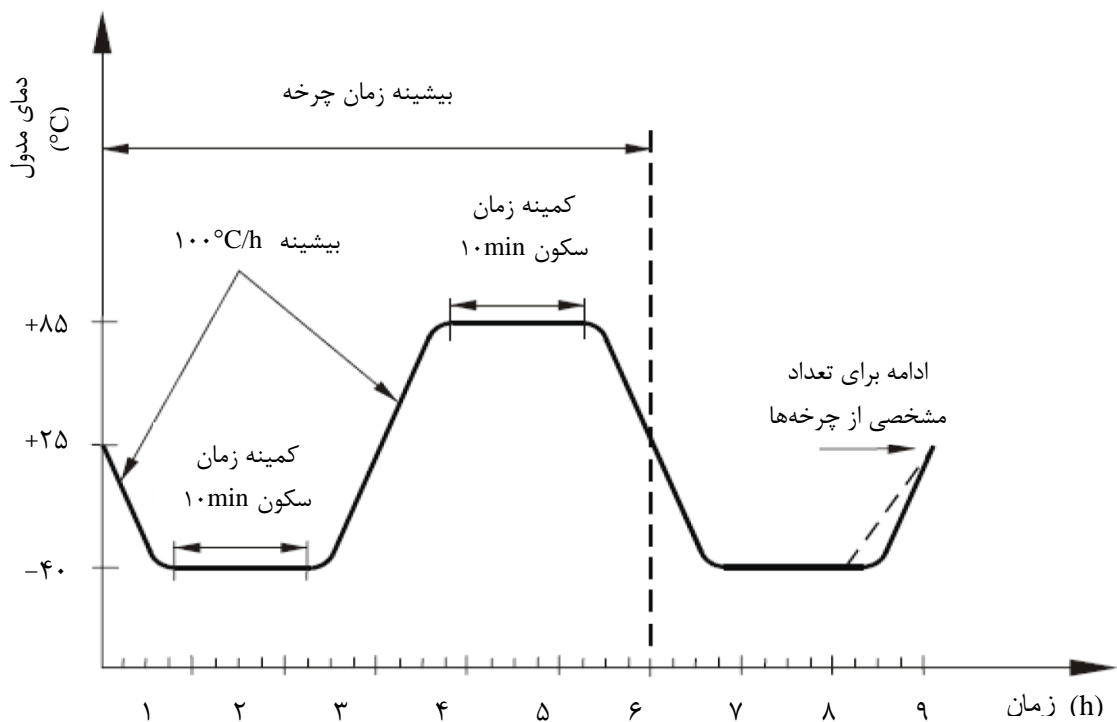
الف- شبیه‌ساز خورشیدی AM 1,5 کالیبره‌شده برای اندازه‌گیری‌های I-V در فضای داخل مطابق با استاندارد IEC 60904-9. همچنین برای اندازه‌گیری I-V، به یادآوری زیربند ۳-۱-۳ مراجعه شود.

ب- اتاقک آب‌وهوایی با کنترل دمای خودکار مجهز به وسیله‌ای برای چرخش هوا در داخل اتاقک که از تراکم رطوبت روی افزاره(ها) در طول آزمون جلوگیری می‌کند و قادر به گنجاندن یک یا چند افزاره در چرخه حرارتی موجود در شکل ۵ است.

پ- وسیله‌ای برای نصب یا پشتیبانی از مدول(ها) در اتاقک، تا امکان چرخش آزاد هوای اطراف مدول فراهم شود. رسانش حرارتی نصب یا پشتیبان باید کم باشد، به طوری که، برای اهداف کاربردی، افزاره(ها) از نظر حرارتی عایق باشند.

ت- وسیله‌ای برای اندازه‌گیری و ثبت دمای افزاره(ها) تا دقت $\pm 1^\circ\text{C}$.

ث- وسیله‌ای برای پایش وصل بودن مدار داخلی هر افزاره در حین آزمون.



شکل ۵- نمودار چرخه دمایی که برای چرخه حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد

۶ گزارش

باید مشخصه‌های کارایی و جزئیات هرگونه خرابی‌ها و آزمون‌های مجدد باید به وسیله آزمایشگاه‌ها مطابق با استاندارد ISO/IEC 17025 تهیه شود. هر گزارش آزمونی باید حداقل حاوی اطلاعات زیر باشد:

الف- عنوان؛

ب- نام و نشانی آزمایشگاه آزمون و مکانی که آزمون‌ها در آن انجام شده است؛

پ- شناسه منحصر به فرد برای هر صفحه گزارش؛

- ت- نام و نشانی مشتری، در موارد مقتضی؛
- ث- توصیف و شناسایی افزاره‌های تحت آزمون و فناوری آزمون‌شده؛
- ج- مشخصه‌یابی و شرایط مورد آزمون؛
- چ- تاریخ دریافت مورد آزمون تاریخ(های) آزمون، در موارد مقتضی؛
- ح- شناسایی روش آزمون استفاده‌شده؛
- خ- ارجاع به روش‌اجرایی نمونه‌برداری، در صورت لزوم؛
- د- تعداد افزاره‌های موجود در آزمون و تعداد افزاره‌هایی که در هنگام آزمون رد شده‌اند؛
- ذ- هرگونه انحراف از موارد تکمیلی یا مستثنی از روش آزمون و هر اطلاعات دیگری مربوط به آزمونی ویژه از قبیل شرایط محیطی؛
- ر- اندازه‌گیری‌ها، آزمایش‌ها و نتایج به‌دست آمده به‌وسیله جدول‌ها، نمودارها، طرح‌ها و عکس‌ها که به شکل مناسب پشتیبانی شده‌اند؛
- ز- بیان عدم‌قطعیت برآورده‌شده نتایج آزمون (در صورت لزوم)؛
- س- امضا و سمت، یا شناسه معادل شخص یا اشخاصی که مسئولیت محتوای گزارش را قبول کرده‌اند و تاریخ صدور آن؛
- ش- در صورت لزوم، بیان اینکه نتایج فقط مربوط به موارد آزمون‌شده است؛
- ص- بیان اینکه گواهی‌نامه یا گزارش نباید بدون موافقت کتبی آزمایشگاه تکثیر شود، مگر به‌صورت کامل. باید نسخه‌ای از این گزارش توسط آزمایشگاه و تولیدکننده برای اهداف مرجع نگهداری شود.

پیوست الف

(آگاهی دهنده)

بررسی اجمالی حالت‌های خرابی معمول -

حالت خرابی و سازوکارهای خرابی شناخته شده برای افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال

تحلیل حالت (شیوه) خرابی و ارتباط حالت‌های خرابی مشاهده شده با سازوکارهای خرابی بخش اصلی ارزیابی پایداری فتوولتائیک نانوفعال است. توجه ویژه‌ای به سازوکارهای خرابی که مربوط به ساختار نانومقیاس مواد مورد بحث هستند، می‌شود.

حالت‌های خرابی رایج:

- ۱- افت در جریان اتصال کوتاه؛
- ۲- افت در ولتاژ مدار باز (V_{oc})؛
- ۳- افت در ضریب پُرشدگی (FF)؛
- ۴- شنت شدن (اتصال کوتاه شدن)؛
- ۵- افزایش مقاومت سری؛
- ۶- ایجاد یک نقطه انحنای در V_{oc} («دیود دوم»)
- ۷- خرابی مکانیکی افزاره.

پیوست ب

(آگاهی دهنده)

انتخاب دمای آزمون پایداری - نحوه انتخاب بهترین دما برای آزمون پایداری فناوری های نو

به منظور بهبود پایداری یک فناوری در مرحله توسعه، انتخاب دمای مناسب برای آزمون پایداری مهم است. به طور کلی دمای بالاتر منجر به خرابی سریع تر هر سیستم خواهد شد. با این وجود، گاهی دمای بالا باعث تخریب های غیر مرتبط می شود (که احتمالاً در شرایط واقعی رخ نمی دهد) یا به دلیل خواص فیزیکی سیستم به خرابی فاجعه باری می انجامد.

نمونه هایی از این رخداد می تواند در فتوولتائیک نانوفعال، تبخیر الکترولیت در سیستم های سلول خورشیدی حساس به رنگ در دمای 80°C یا دمای انتقال شیشه برای مواد PET^۱ در 78°C باشد که به طور معمول به عنوان زیرلایه سلول ها و مدول های قابل انعطاف استفاده می شود.

به همین دلیل گزینه های متعدد دمایی به عنوان بخشی از این ویژگی برای آزمون در دسترس هستند. این که در هر مرحله از چه دمایی استفاده شود بر عهده گروه توسعه دهنده است.

به عنوان یک راهنمای کلی، دمای آزمون پایداری باید به گونه ای انتخاب شود که تخریب در مقیاس زمانی منطقی مشاهده شود تا داده های مفیدی به دست آمده و ردیابی روند تخریب امکان پذیر شود. به طور معمول، این بدان معنی است که t_{80} برای آزمایش آزمون پایداری محسوس باید روزها تا هفته ها انجام شود. هنگامیکه t_{80} کوتاه تر باشد، تراکم نقطه داده خیلی کم خواهد بود و داده های مفید کمی می تواند استخراج شوند. هنگامی که t_{80} ماه ها تا سال ها طول بکشد، استخراج اطلاعاتی که امکان تنظیم فرایند توسعه را فراهم می کند دشوار است.

تجربه نشان داده است که برای فتوولتائیک نانوفعال دمای 65°C ، دمای مفیدی برای آزمون اولیه است که سازوکارهای تخریب مربوط را نشان می دهد. با وجود این، توسعه دهندگان باید آگاه باشند که با استفاده از فناوری خود، کدام برنامه را هدف قرار می دهند. اگر هدف محصولی است که در فضای باز برای تولید برق باشد، برای عرضه به بازار، استانداردهای محصول مربوط نیاز به آزمون در دمای 85°C دارند.

پیوست پ

(آگاهی‌دهنده)

ارتباط بین پروتکل‌های اجلاس بین‌المللی پایداری فتوولتائیک آلی (ISOS) و آزمون پایداری افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال که در این استاندارد مشخص شده است

استانداردهای ارزیابی پایداری شرایطی را برای یک مجموعه از آزمون‌های تنش که عوامل تنش مجزایی که می‌تواند منجر به خرابی در محیط کار شود، تعیین می‌کند تا به توسعه‌دهندگان اجازه دهد در شرایط تکرارپذیر آزمون کنند و از نظر کمی پایداری افزاره‌های فتوولتائیک را که در معرض این شرایط هستند، مقایسه نمایند. شرایط چندین پروتکل ارزیابی پایداری توسط اجلاس بین‌المللی پایداری فتوولتائیک آلی انجمن فتوولتائیک آلی ارائه شده است [2,3]. شرایط آزمون تعریف شده در این استاندارد براساس پروتکل‌های اجلاس بین‌المللی پایداری فتوولتائیک آلی با برخی تغییرات اصلاح شده است به گونه‌ای که شرایط برای طیف گسترده‌ای از افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال قابل اجرا است.

پیوست پ درباره شباهت‌ها و تفاوت‌های بین آزمون‌های بیان شده در این استاندارد و اسنادی که در نتیجه نشست‌های اجلاس بین‌المللی پایداری فتوولتائیک آلی در سال ۲۰۰۹ [2] و در سال ۲۰۱۱ [3]، به‌عنوان «ISOS 2009» و «ISOS 2011» تهیه شده است، به ترتیب، در پیوست پ آمده است. تعدادی از آزمون‌های اساسی در ISOS 2009 توصیف می‌شود که یک آزمایشگاه پیشرفته می‌تواند قادر به انجام آن باشد تا بتواند پایداری فتوولتائیک آلی را بررسی نماید. در ISOS 2011 آزمون‌هایی ارائه شد تا پروتکل‌های آزمون را ارائه دهد که حتی آزمایشگاه‌هایی با تجهیزات به نسبت ساده نیز بتوانند از آن‌ها پیروی نمایند. فلسفه‌ای که ISOS 2011 از آن پیروی نموده است به بهترین وجه خلاصه این نقل قول است:

«مجموعه‌ای بسیار دقیق از توصیه‌ها که ممکن است برای اطمینان از حداکثر اطلاعاتی که از آزمون‌ها استخراج می‌شوند و به دیگران اجازه می‌دهند نتایج را نسخه‌برداری و مقایسه کنند، مطلوب باشد. با این وجود تعداد افراد جامعه که می‌توانند در چند آزمایشگاه معتبر شرکت کنند، محدود می‌شود و در حقیقت سایر گروه‌ها را مستثنی می‌کند و منجر به پذیرش کلی و توسعه روش‌های اجرایی بی‌کیفیت می‌شود. به‌جای یک استاندارد دقیق که می‌تواند برخی از گروه‌های تحقیقاتی را مستثنی نماید، برای هر یک از انواع اصلی حالت‌های آزمون، سه سطح روش‌های اجرایی: پایه (سطح ۱)، متوسط (سطح ۲) و پیشرفته (سطح ۳)، با داشتن بالاترین سطح مهارت و دقت توصیه می‌شود.» [3]

اگر چه از اهداف این استاندارد مشخص کردن الزامات مربوط به استاندارد ارزیابی پایداری کلی برای فتوولتائیک نانوفعال در نظر گرفته شده برای استفاده در محیط‌های بیرونی است اما محدود به آن نمی‌شود، جهت دادن به توسعه‌دهندگان و مهندسان توسعه افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال، آزمایشگاه‌های آزمون راهنما برای آزمون و مقایسه پایداری کمی بین فناوری‌های مختلف را ایجاد می‌نماید. برای تحقق این اهداف، تمام آزمون‌های ارائه شده در ISOS 2011 مورد نیاز نیست و آزمون‌های ارائه شده در ISOS 2009 پایه اصلی این استاندارد است. در فرایند تهیه این استاندارد، بعضی وقفه‌ها در آزمون مشخص شده و یک

آزمون اضافه شده است. بعلاوه چندین آزمون برای انطباق با استانداردهای IEC و ISO موجود برای آزمون پایداری و خرابی تغییر یافته است.

مؤلفه اصلی جا افتاده در پروتکل‌های ISOS، آزمون فرابنفش (ST2) بود. پایداری مواد در معرض پرتو فرابنفش یک عامل متداول برای خرابی مواد آلی در محیط‌های بیرونی است. از آنجا که انتظار می‌رود بسیاری از افزاره‌های فتوولتائیک نانوفعال با استفاده از زیرلایه‌های پلیمری و مواد پوشش‌دار انعطاف‌پذیر باشند، یک آزمون استاندارد برای مقاومت در برابر پرتو فرابنفش مطابق با استانداردهای IEC و ISO موجود به روش‌های اجرایی آزمون پایداری توصیه شده اضافه شده است.

علاوه بر این بعضی آزمون‌ها در این استاندارد تغییر یافته است. به منظور انجام آزمون نوع آرنیوس برای رفتار تخریب، آزمون‌های ST1 (گرمای خشک)، ST3 (گرمای مرطوب) و ST4 (قراردادن در معرض نور) امکان آزمایش در سه دما مختلف را فراهم می‌آورد. به طور خاص، دمای °C ۴۵ به گزینه آزمون دمای «کم» اضافه شده است. آزمون‌های ST4 (قرار دادن در معرض نور) و ST6 (هوازگی آزمایشگاهی) نیز مطابق با استانداردهای هوازگی پذیرفته شده برای آزمون پایداری مواد پلیمری تغییر یافته است. در ST4 الزامات روشنایی منطبق شده است، در حالی که در ST6 یک چرخه خاص مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۵۲۳-۲: سال ۱۳۹۴، جدول ۳، چرخه ۱ انتخاب شده است. این چرخه یک استاندارد پذیرفته شده را نشان می‌دهد که برای آن تجهیزات معمولی هوازگی آزمایشگاهی طراحی شده است.

در جدول پ-۱، شرح مفصلی از آزمون‌های این استاندارد در مقایسه با ISOS 2009 و ISOS 2011 ارائه شده است.

جدول پ ۱- نمای کلی از آزمون‌های توصیف‌شده در این استاندارد، در مقایسه با آزمون‌های توصیه‌شده در ISOS 2011 و ISOS 2009

استاندارد	نام آزمون	نور	دما	رطوبت	محیط	بار
ST1	IEC TS 62876-2-1 ST1 گرمای خشک	---	°C (۴۵/۶۵/۸۵)	محیط	کوره	---
	ISOS 2009 T1 زمان ماندگاری B	---	کنترل‌شده (بالا)	(کنترل‌شده)	کوره خشک	---
	ISOS 2011 ISOS-D-2 دمای بالا	---	°C (۸۵ تا ۶۵)	محیط (کم)	کوره	مدار باز
ST2	IEC TS 62876-2-1 ST2 قرار دادن در معرض فرابنفش	فرابنفش (UV)	°C ۶۵	محیط	اتاقک UV	---
	ISOS 2009	در استاندارد شرح داده نشده است.				
ISOS 2011	در استاندارد شرح داده نشده است.					
ST3	IEC TS 62876-2-1 ST3 گرمای مرطوب	---	°C (۴۵/۶۵/۸۵)	۸۵ % RH	اتاقک آب‌وهوایی	---
	ISOS 2009 T4 گرمای مرطوب	---	°C (۴۰/۶۵/۸۵)	۸۵ % RH	اتاقک محیط	---
	ISOS 2011 ISOS-D-3 گرمای مرطوب	---	°C (۶۵/۸۵)	۸۵ % RH	اتاقک محیط	مدار باز
ST4	IEC TS 62876-2-1 ST4 قرار دادن در معرض نور	نور روز، (۶۰۰ تا ۱۰۰۰) W/m ²	°C (۴۵/۶۵/۸۵)	محیط	اتاقک اشباع نوری	فعال یا غیرفعال، نقطه بیشینه توان
	ISOS 2009 T2 اشباع نوری	خورشید (۰/۶ تا ۱)	°C (۳۰ تا ۵۰)	محیط	اتاقک اشباع نوری	فعال یا غیرفعال
	ISOS 2011 ISOS-L-2 هوازدگی آزمایشگاهی	AM 1,5	°C (۶۵/۸۵)	محیط	نور و دما	نقطه بیشینه توان یا مدار باز
ST5	IEC TS 62876-2-1 ST5 قرار دادن در معرض فضای باز	محیط	محیط	محیط	فضای باز	فعال یا غیرفعال، نقطه بیشینه توان
	ISOS 2009 T3 قرار دادن در معرض فضای باز	محیط	محیط	محیط	بیرون	فعال یا غیرفعال
	ISOS 2011 ISOS-O-3 فضای باز	نور خورشید	محیط	محیط	فضای باز	نقطه بیشینه توان

ادامه جدول پ-۱

بار	محیط	رطوبت	دما	نور	نام آزمون	استاندارد	
فعال یا غیرفعال، نقطه بیشینه توان	دستگاه هوازدگی	۵۰٪ RH پاشش آب	۳۸ °C	نور روز، (۶۰۰ تا ۱۰۰۰) W/m ²	ST6 هوازدگی آزمایشگاهی	IEC TS 62876-2-1	ST6
---	هواسنج	۳۵٪ RH	(۴۵/۶۵/۸۵) °C	خورشید	ST6 نور/دما/رطوبت	ISOS 2009	
نقطه بیشینه توان یا مدار باز	اتاقک محیط، با شبیه‌ساز خورشیدی	پایش شده، کنترل شده در ۵۰٪ RH فراتر از ۴۰ °C	افزایش خطی (۵ تا ۶۵) °C	شبیه‌ساز	ISOS-LT-2 چرخه خورشیدی - حرارتی - رطوبت	ISOS 2011	
---	اتاقک آب‌وهوایی	محیط	۴۰ °C تا +۸۵ °C	---	ST7 چرخه دمایی	IEC TS 62876-2-1	ST7
---	اتاقک محیط	محیط (پایین)	۳۰ °C تا +۸۰ °C	---	ST6 چرخه دمایی	ISOS 2009	
مدار باز	اتاقک محیط	نزدیک ۵۵٪	۴۰ °C تا +۸۵ °C	---	ISOS-T-3 چرخه دمایی	ISOS 2011	

کتابنامه

- [1] Stability and Degradation of Organic and Polymer Solar Cells. Frederik C. Krebs, Editor, Wiley, 2012, ISBN: 9781119952510
- [2] Organic Photovoltaic Lifetime Assessment: Recommended Practices. Revision: 1.7, Shijun Jia, Matthew O. Reese, Darin Laird, Jens Hauch, 2009 [viewed 2014-07-14], <http://isos-2.wikispaces.com/>
- [3] Consensus stability testing protocols for organic photovoltaic materials and devices. Matthew O. Reese et al. Solar Energy Materials & Solar Cells 95 (2011) 1253–1267
- [4] IEC 60721-2-1, Classification of environmental conditions - Part 2-1: Environmental conditions appearing in nature - Temperature and humidity