INSO
19775-1
1st.Edition
2015

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

استاندارد ملی ایران
۱-۱۹۷۷۵
چاپ اول
۱۳۹۴

آزمایش عملکرد مدول فتوولتائیک (PV) و مقدار مجاز انرژی– قسمت ۱: اندازه‌گیری‌های عملکرد شدت تابش و دما و مقدار مجاز توان

Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating – Part 1: Irradiance and temperature performance measurements and power rating

ICS: 27.160

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ 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.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

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

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید . همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (کالیبراسیون) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

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

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« آزمایش عملکرد مدول فتوولتائیک (PV) و مقدار مجاز انرژی– قسمت ۱:

اندازه‌گیری‌های عملکرد شدت تابش و دما و مقدار مجاز توان»

	سمت و/ یا نمایندگی
رئیس:	
حمزه، محسن (دکترای مهندسی برق)	عضو هیأت علمی دانشگاه شهید بهشتی
دبیر:	
شاهنواز، محمدرضا (فوق لیسانس مهندسی شیمی)	سازمان انرژیهای نو ایران (سانا)
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اسماعیلی، محمدرضا (فوق لیسانس مهندسی معماری)	نظام مهندسی ساختمان
ایازی، جمیله (لیسانس مهندسی برق)	سازمان ملی استاندارد
بیرانوند، رضا (دکترای مهندسی برق)	عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس
جمشیدی، سامان (لیسانس مهندسی برق)	آزمایشگاه های صنایع انرژی
ذبیحی، محمدصادق (دکترای مدیریت)	مرکز علوم و فنون لیزر ایران
زرگر، محمدرضا (لیسانس مهندسی برق)	سازمان انرژی های نو ایران (سانا)

زنده دل، باقر (فوق لیسانس مهندسی برق)	نظام مهندسی تهران
شاهرخی، احمد (فوق لیسانس مهندسی برق)	نظام مهندسی تهران
شیخ کانلوی میلان، قادر (فوق لیسانس مهندسی برق)	شرکت مهندسین مشاور توسعه صنعت برق
صابر، شهریار (لیسانس مهندسی برق)	پژوهشکده هوا خورشید
صارمی، محمد (لیسانس مهندسی برق)	شرکت توسعه منابع انرژی (توان)
عبدالهی، ربابه (لیسانس مهندسی برق)	سازمان انرژی های نو ایران (سانا)
قاسمی راد، سعید (لیسانس مهندسی مکانیک)	شرکت هدایت نور
گل دوست، علی (دکترای مهندسی برق)	شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو
منشی پور، سمیرا (لیسانس مهندسی برق)	سازمان انرژی های نو ایران (سانا)
هوشمندخوی، علی (فوق لیسانس مهندسی برق)	شرکت مهندسین مشاور توسعه صنعت برق

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

	آشنایی با سازمان ملی استاندارد	ب
	کمیسیون فنی تدوین استاندارد	ج
	پیش گفتار	ح
	مقدمه	ط
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	نمونه‌برداری	۲
۴	نشانه‌گذاری	۳
۵	آزمایش و معیارهای قبولی	۳
۶	گزارش‌دهی	۴
۷	شرایط تعیین مقدار مجاز توان	۵
۱-۷	کلیات	۵
۲-۷	شرایط آزمون استاندارد (STC)	۵
۳-۷	دمای سلول در کارکرد نامی (NOCT)	۵
۴-۷	شرایط شدت تابش کم (LIC)	۶
۵-۷	شرایط دمای بالا (HTC)	۶
۶-۷	شرایط دمای پایین (LTC)	۶
۸	روش انجام اندازه‌گیری‌های عملکرد شدت تابش و دما	۷
۱-۸	هدف	۷
۲-۸	روش انجام ساده شده برای مدول‌های خطی	۸
۳-۸	روش انجام در نور طبیعی خورشید با ردیاب	۹
۴-۸	روش انجام در نور طبیعی خورشید بدون ردیاب	۱۲
۵-۸	روش انجام با یک شبیه‌ساز خورشیدی	۱۲
۹	رتبه‌بندی توان	۱۵
۱-۹	درون‌یابی I_{sc}، V_{oc}، V_{max} و P_{max}	۱۵
۱-۱-۹	کلیات	۱۵
۲-۱-۹	درون‌یابی I_{sc}، V_{oc}، V_{max} و P_{max} نسبت به دما	۱۶

ادامه فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

۹-۱-۳ درون‌یابی I_{sc} نسبت به شدت تابش ۱۶
۹-۱-۴ درون‌یابی V_{oc} نسبت به شدت تابش ۱۶
۹-۱-۵ درون‌یابی P_{max} نسبت به شدت تابش ۱۶
۹-۱-۶ تناسب روش برازش ۱۷
۹-۲ مقدار مجاز توان ۱۷

شکل ۱- موقعیت‌هایی برای اندازه‌گیری دمای مدول آزمون در پشت سلول‌ها ۹

جدول ۱- خلاصه‌ای از شرایط توان مرجع (در جرم هوای ۱/۵) ۶
جدول ۲- I_{sc}، V_{oc}، V_{max} و P_{max} بر حسب شدت تابش و دما ۸

پیش گفتار

استاندارد "آزمایش عملکرد مدول فتوولتائیک (**PV**) و مقدار مجاز انرژی– قسمت۱ : اندازه‌گیری‌های عملکرد شدت تابش و دما و مقدار مجاز توان " که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط سازمان انرژی های نو ایران (سانا) تهیه و تدوین شده است و در سی‌امین اجلاس کمیته ملی استاندارد انرژی مورخ ۱۳۹۴/۰۵/۱۰ مورد تصویب قرار گرفته‌است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهدشد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهدگرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

IEC 61853-1: 2011, Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating – Part 1: Irradiance and temperature performance measurements and power rating

مقدمه

این مجموعه استاندارد ملی، الزاماتی برای ارزیابی عملکرد مدول فتوولتائیک بر اساس توان (وات)، انرژی (وات - ساعت) و نسبت عملکرد (PR)[1] را فراهم می‌کند. این استاندارد برای به‌کارگیری در همه‌ی فناوری‌های فتوولتائیک شامل وسایل غیرخطی تدوین شده است؛ اما این روش بررسی، رفتارهای گذرا از قبیل تغییرات گذرای نور و یا دما را در نظر نمی‌گیرد.

آنچه که در این مجموعه استاندارد ملی گنجانده شده است عبارتند از: یک راهنما برای نگاشت عملکرد مدول طی یک گستره‌ی وسیع از شرایط دما و شدت تابش؛ روش‌هایی برای مشخص‌سازی اثرات طیفی و زاویه‌ای؛ تعریف نمودارهای آب و هوایی مرجع (دما و شدت تابش)؛ روش‌هایی برای ارزیابی نتایج توان لحظه‌ای و انرژی؛ و یک روش برای بیان این نتایج به شکل یک مقدار مجاز عددی.

1- Performance Ratio

آزمایش عملکرد مدول فتوولتائیک (PV) و مقدار مجاز انرژی-
قسمت ۱: اندازه‌گیری‌های عملکرد شدت تابش و دما و مقدار مجاز توان

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین یک سامانه‌ی آزمایش و تعیین مقدار مجاز است که توان مدول فتوولتائیک (وات) در عملکرد بیشینه توان برای گروهی از شرایط تعریف‌شده را فراهم می‌کند. این استاندارد همچنین یک مجموعه‌ی کامل از پارامترهای مشخص‌کننده را برای مدول، تحت مقادیر مختلف شدت تابش و دما، فراهم می‌کند. این مجموعه از اندازه‌گیری‌ها، به منظور تعیین مقدار مجاز انرژی مدول که در استاندارد IEC 61853-3 تشریح شده، الزامی هستند.

این استاندارد، الزاماتی را برای ارزیابی عملکرد مدول فتوولتائیک (PV) [1] بر حسب مقدار مجاز توان (وات) در یک گستره از شدت تابش‌ها و دماها تعیین می‌کند. استاندارد IEC 61853-2 روش‌های انجام آزمون اندازه‌گیری اثر زاویه تابش[2] بر عملکرد؛ تخمین دمای مدول ناشی از شدت تابش؛ دمای محیط و سرعت باد؛ و تاثیر پاسخ طیفی بر تولید انرژی را شرح می‌دهد. استاندارد IEC 61853-3 محاسبات مقادیر مجاز انرژی (وات- ساعت) مدول فتوولتائیک را شرح می‌دهد. استاندارد IEC 61853-4 دوره‌های زمانی استاندارد و شرایط آب و هوایی که می‌تواند برای محاسبه مقادیر مجاز انرژی استاندارد شده به کار روند، را شرح می‌دهد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۲۰۵: سال ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک - رویه‌های تصحیح دما و تابش به مشخصه‌های I-V اندازه گیری‌شده

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۹۱۳۲: سال ۱۳۸۶، نمونه‌برداری برای بازرسی مشخصه‌های وصفی

1- Photovoltaic
2- Angle of incidence

۲-۳ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۱۱۵: سال ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۱: اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان - ولتاژ فتوولتائیک

۲-۴ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۶۴۶۱: سال ۱۳۸۱، مشخصات قطعات فتوولتائیک - قسمت دوم: الزامات سلول‌های خورشیدی مرجع

۲-۵ 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

۲-۶ استاندارد ملی ایران شماره ۵-۱۴۱۱۵: سال ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۵: تعیین معادل دمای سلول (ECT) افزارهای فتوولتائیک (PV) به روش مدار باز

۲-۷ استاندارد ملی ایران شماره ۷-۱۴۱۱۵: سال ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۷: محاسبه تصحیح عدم انطباق طیفی برای اندازه گیری افزارهای فتوولتائیک

۲-۸ استاندارد ملی ایران شماره ۹-۱۴۱۱۵: سال ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۹: الزامات عملکرد شبیه‌ساز خورشیدی

۲-۹ استاندارد ملی ایران شماره ۱۰-۱۴۱۱۵: سال ۱۳۸۹، افزارهای فتوولتائیک - قسمت ۱۰: روش‌های اندازه گیری خطی

۲-۱۰ استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۸۸۱: سال ۱۳۸۸، مدول‌های فتوولتائیک (PV) زمینی سیلیکون کریستالی- احراز شرایط طراحی و تائید نوع

۲-۱۱ استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۶۴۶: سال ۱۳۹۱، مدول‌های فتوولتائیک (PV) غشای نازک- صلاحیت طرح و تائید نوع

۳ نمونه‌برداری

برای آزمایش صلاحیت[1] عملکرد، سه مدول باید به صورت تصادفی از بین بهر[2] یا بهرهای تولید مطابق با روشِ انجامِ داده‌شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۲۰۵ انتخاب شوند. باید مدول‌ها مطابق بند ۵ برای اطمینان از پایداری مقادیر توان، پیش‌آماده‌سازی شوند.

مدول‌ها باید از مواد و اجزای مشخص مطابق با نقشه‌ها و برگه‌های فرایند مربوط ساخته شده باشند و باید در معرض بازرسی‌های معمول سازنده، کنترل کیفیت و روش‌های انجام پذیرش تولید قرار داشته باشند. مدول‌ها باید از هر نظر کامل باشند و دستورالعمل‌های جابجایی و سوار کردن نهایی ارائه شده توسط سازنده درباره نصب توصیه شده برای هر دیود، قاب، بست و غیره باید به همراه آن‌ها باشند.

1- Qualification
2- Batch

در مواقعی که مدول‌های آزمون، از نمونه‌های اولیه[1] از یک طراحی جدید باشند و نه از تولید، این واقعیت باید در گزارش آزمون ذکر شود (به بند ۶ مراجعه کنید).

۴ نشانه‌گذاری

هر مدول باید دارای نشانه‌گذاری‌های واضح و پاک‌نشدنی زیر باشد:

- نام، نماد یا نشانی از سازنده
- نوع یا شماره مدل
- شماره سریال
- قطبیت پایانه‌ها یا سرهای اتصال[2] (کدگذاری رنگی مجاز است)
- مقادیر نامی و کمینه‌ی توان خروجی بیشینه در شرایط آزمون استاندارد[3] (STC) پس از پیش‌آماده‌سازی، همانند آنچه توسط سازنده برای نوع محصول تعیین شده است (به بند ۵ مراجعه کنید)

تاریخ و محل تولید باید روی مدول نشانه‌گذاری شده باشد، یا از روی شماره سریال قابل ردیابی باشد.

برای محصول آتی، مقادیر مجاز توان برای دمای سلول در عملکرد نامی (NOCT)[4]، شرایط شدت تابش کم (LIC)[5]، شرایط دمای زیاد (HTC)[6] و شرایط دمای کم (LTC)[7] همانطور که در بند ۷ و جدول ۱ این استاندارد تعریف شده و از طریق روش انجام بند ۹-۲ این استاندارد تعیین شده است، باید روی یک برچسب نشانه‌گذاری شود یا باید در مدارک سازنده که برای هر مدول از این نوع فراهم‌شده است بیان شوند.

۵ آزمایش و معیارهای قبولی

مدول‌ها باید تحت روش انجام اندازه‌گیری‌های عملکرد شدت تابش و دما که در بند ۸ تعریف شده است، قرار گیرند. در انجام آزمون‌ها، باید دستورالعمل‌های سازنده برای جابجایی، نصب و اتصال رعایت شوند.

ملاحظات ویژه: پیش‌آماده‌سازی- قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها، وسیله[8]ی تحت آزمون باید توسط نوردهی اشباع[9]، پایدار شود. همانطور که در بند ۵ استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۸۸۱ یا بند ۱۰-۱۹ استاندارد ملی ایران ایران شماره ۶۱۶۴۶ مشخص شده است.

1- Prototypes
2- Leads
3- Standard Test Conditions
4- Nominal Operating Cell Temperature
5- Low Irradiance Condition
6- High Temperature Condition
7- Low Temperature Condition
8- Device
9- Light Soaking

مقادیر توان STC اندازه‌گیری شده بعد از پیش‌آماده‌سازی، باید در گستره‌ی توان مشخص شده توسط سازنده‌ی این محصول باشد.

یادآوری- معیار قبولی/ ردی، باید عدم قطعیت اندازه‌گیری آزمایشگاه را در نظر بگیرد. بعنوان مثال، اگر عدم قطعیت بسط یافته‌ی آزمایشگاه در اندازه‌گیریِ STC برابر با ۵± درصد باشد، آنگاه یک توان اسمی روی پلاک مشخصات نامی[1] که بزرگتر از ۹۵ درصدِ توان اندازه‌گیری شده‌ی آزمایشگاه باشد، معیار قبولی را برآورده می‌کند.

بعد از ساخت ماتریس پارامترها در بخش ۸، مدول‌ها بهتر است در شرایط آزمون استاندارد تحت اندازه‌گیری مجدد قرار گیرند تا تأیید شود که عملکرد پایدار است.

۶ گزارش‌دهی

به دنبال تکمیل روش انجام، یک گزارش تأیید شده از آزمون‌های عملکرد، به همراه مشخصات توان اندازه‌گیری شده، باید توسط آزمایشگاه مطابق با روش‌های مندرج در استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۲۵ تهیه شود. هر گواهینامه یا گزارش آزمون باید حداقل حاوی اطلاعات زیر باشد:

الف) عنوان؛

ب) نام و نشانی آزمایشگاه آزمون و مکانی که کالیبراسیون یا آزمون‌ها در آن انجام شده‌است؛

پ) شناسه‌ی منحصر بفرد برای هر صفحه گواهینامه یا گزارش؛

ت) نام و نشانی مشتری[2]، در موارد مقتضی؛

ث) توصیف و شناسایی مورد[3] کالیبره شده یا تحت آزمون قرار گرفته؛

ج) مشخصات و شرایط کالیبراسیون یا مورد آزمون؛

چ) تاریخ دریافت مورد آزمون و تاریخ (های) کالیبراسیون یا آزمون، در موارد مقتضی؛

ح) مشخص کردن روش کالیبراسیون یا آزمون استفاده شده؛

خ) ارجاع به روش انجام نمونه‌برداری، در صورت لزوم؛

د) هرگونه انحراف، موارد تکمیلی یا مستثنی از روش کالیبراسیون یا آزمون و هر اطلاعات دیگری مربوط به کالیبراسیون یا آزمون خاص، از قبیل شرایط محیطی؛

ذ) بیان اینکه آیا از روش ساده‌شده در بخش ۸ برای تکمیل ماتریس استفاده شده است یا خیر. در صورت استفاده از روش ساده‌شده، بهتر است در گزارش آزمون مقادیر ضرایب دمایی نسبی برای بیشینه توان و ولتاژ مدار باز، برای دو شدت تابش متفاوت بکار رفته، جهت اعتباردهی روش مذکور ارائه شود؛

1- Nominal Nameplate Rated Power
2- Client
3- Item

ر) اندازه‌گیری‌ها، بررسی‌ها و نتایج بدست‌آمده، حداقل شامل پارامترهای مندرج در جدول ۲ برای I_{sc}، P_{max}، V_{oc} و V_{max}، مقادیر ضرایب گرمایی مدول α_1 و β_1، میانگین توان و مقادیر هر یک از سه مدول آزمون در همه‌ی شرایط توان مرجع (تعریف شده در بخش ۷) و ضریب دمایی توان مدول (W) در نقطه توان بیشینه (γ_1)؛

ز) بیان عدم قطعیت برآوردشده‌ی کالیبراسیون یا نتایج آزمون (در صورت لزوم)؛

س) بیان اینکه آیا توان اندازه‌گیری‌شده در STC، با گستره‌ی توان اسمی سازنده در گستره‌ی عدم قطعیت اندازه‌گیری آزمایشگاه‌های آزمون، مطابقت دارد یا خیر؛

ش) امضا و سمت یا شناسه‌ی معادل شخص یا اشخاصی که مسئولیت محتوای گواهینامه یا گزارش را قبول کرده‌اند، و تاریخ صدور آن؛

ص) بیان اینکه نتایج، فقط مربوط به موارد کالیبره‌شده یا آزمون‌شده هستند، در صورت لزوم؛

ض) بیان اینکه گواهینامه یا گزارش نباید بدون موافقت کتبی آزمایشگاه تکثیر شود؛ مگر به صورت کامل.

۷ شرایط تعیین مقدار مجاز توان

۷-۱ کلیات

شرایط توان مرجع در جدول ۱ نشان داده شده و با جزئیات بیشتر در زیربندهای زیر تشریح شده است که سه مورد اول در استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۸۸۱ یا استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۶۴۶ تعریف شده‌اند. مدول‌ها باید مورد آزمون قرار گیرند و باید بیشینه توان برای شرایط تعیین مقادیر مجاز زیر مشخص شود. برای هر شرط تعیین مقدار مجاز، توزیع شدت تابش طیفی برای جرم هوای (AM)[1] برابر با ۱/۵ که در استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۴۱۱۵داده شده، باید همانند شدت تابش عمودی[2] مورد استفاده قرار گیرد.

۷-۲ شرایط آزمون استاندارد (STC)

- دمای سلول: $25^{\circ}C$
- شدت تابش: $1\,000\ W.m^{-2}$

۷-۳ دمای سلول در کارکرد نامی (NOCT)

- دمای سلول: NOCT (مطابق با آنچه در بند ۱۰-۵ استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۸۸۱ یا استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۶۴۶ تعیین شده است)
- شدت تابش: $800\ W.m^{-2}$

1- Air Mass
2- Normal

۷-۴ شرایط شدت تابش کم (LIC)

- دمای سلول: $۲۵^{\circ}C$
- شدت تابش: $۲۰۰\ W.m^{-۲}$

۷-۵ شرایط دمای بالا (HTC)

- دمای سلول: $۷۵^{\circ}C$
- شدت تابش: $۱\ ۰۰۰\ W.m^{-۲}$

۷-۶ شرایط دمای پایین (LTC)

- دمای سلول: $۱۵^{\circ}C$
- میزان شدت تابش: $۵۰۰W.m^{-۲}$

جدول ۱ - خلاصه‌ای از شرایط توان مرجع (در جرم هوای ۱/۵)

شرایط	شدت تابش ($W.m^{-۲}$)	دما ($^{\circ}C$)
شرایط آزمون استاندارد (STC)	۱۰۰۰	۲۵ سلول
دمای سلول در کارکرد نامی (NOCT) (تعیین شده مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۸۸۱ یا استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۶۴۶)	۸۰۰	۲۰ محیط
شرایط شدت تابش کم (LIC)	۲۰۰	۲۵ سلول
شرایط دمای زیاد (HTC)	۱۰۰۰	۷۵ سلول
شرایط دمای کم (LTC)	۵۰۰	۱۵ سلول
یادآوری– شرایطی که در این جدول فراهم شده است، می‌توانند مستقیماً به عنوان قسمتی از ماتریس عملکرد تعریف‌شده در بند ۸، در نظر گرفته شوند.		

۸ روش انجام اندازه‌گیری‌های عملکرد شدت تابش و دما

۸-۱ هدف

برای تعیین اثر شدت تابش و دما بر عملکرد مدول:

توان تحویلی وسایل فتوولتائیک، تابع مستقیمی از دمای مدول و میزان شدت تابش است. عملکرد وسیله‌ی فتوولتائیک نسبت به دما برای بیشترِ انواع سیلیکونی کریستالی، خطی است؛ ولی برای نوع لایه نازک، نمی‌توان رابطه‌ی کلی ارائه داد. جریان اتصال‌کوتاه (I_{sc}) اغلب نسبت به شدت تابش، خطی است. تغییر لگاریتمی ولتاژ مدار باز و تغییرات غیرخطیِ عامل پُرشدگی[1] برحسب شدت تابش، در بسیاری از موارد، بیشینه توان را به صورت یک تابع غیرخطی از میزان نور در می‌آورد. به جای استفاده از مدل گسترده‌ی این فرآیندها، روابط به صورت توابعی از شدت تابش و دما در نظر گرفته می‌شوند.

یادآوری- اگر نشان داده شود که I_{SC} مدول خطی است (استاندارد ملی ایران شماره ۱۰-۱۴۱۱۵)، I_{SC} می‌تواند به عنوان سنجشی از میزان شدت تابش به کارگرفته شده در آزمون، استفاده شود.

ماتریس‌های عملکرد مدول، باید نسبت به شدت تابش و دما اندازه‌گیری شوند. باید جداول جداگانه برای I_{sc}، V_{oc}، V_{max} و P_{max} با استفاده از داده‌های کافی جهت حصول اطمینان از اعتبار آماری اندازه‌گیری‌ها، تولید شوند (به زیر بندهای ۸-۳-۱۱ و ۸-۵-۱۱ مراجعه کنید). جداول برای V_{oc} و V_{max} برای تعیین مقادیر مجاز انرژی به کار نمی‌روند؛ اما مشخصات مفیدی برای نوع مدول، بخصوص برای مقاصد طراحی سامانه می‌باشند.

نیازی نیست که اندازه‌گیری‌ها دقیقاً در شدت تابش‌ها و دماهای مشخص شده انجام شوند. انتقال منحنی‌های I-V از مقادیر واقعی شدت تابش و/یا دما به مقادیر تعیین‌شده توسط جدول‌ها، می‌تواند مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۹۱۳۲ انجام گیرد. چنین درون‌یابی بهتر است بیشتر از $۱۰۰W.m^{-۲}$ نباشد. همه‌ی این درون‌یابی‌ها باید در گزارش آزمون ذکر شوند و اثر آنها روی عدم قطعیت، در تحلیل عدم قطعیت در نظر گرفته شوند. با این وجود، اندازه‌گیری‌ها باید در مقادیر تابش مشخص شده در جدول ۲ یا مقادیر بالاتر از حداکثر آن در محدوده دقت ابزار اندازه‌گیری و الزامات زیر بند ۸-۳-۲ انجام گیرد.

یک جدول از هر کدام از پارامترهای I_{sc}، P_{max}، V_{oc} و V_{max} باید مطابق با مثال جدول ۲ ساخته شود.

یادآوری۱- برای ارزیابی غیرخطی‌ها، اندازه‌گیری‌ها در $۳۰۰W.m^{-۲}$ و $۵۰W.m^{-۲}$ می‌توانند مفید باشند.

یادآوری۲- جداول پارامترهای I_{max} و عامل پُرشدگی (FF)، می‌توانند از روی چهار پارامتر اندازه‌گیری‌شده تولید شوند.

1- Fill Factor

جدول ۲- I_{sc}، P_{max}، V_{oc} و V_{max} برحسب شدت تابش و دما

شدت تابش	طیف	دمای مدول			
$W.m^{-2}$		۱۵ °C	۲۵ °C	۵۰ °C	۷۵ °C
۱۱۰۰	AM 1.5	کاربرد ندارد			
۱۰۰۰	AM 1.5				
۸۰۰	AM 1.5				
۶۰۰	AM 1.5				
۴۰۰	AM 1.5				کاربرد ندارد
۲۰۰	AM 1.5			کاربرد ندارد	کاربرد ندارد
۱۰۰	AM 1.5			کاربرد ندارد	کاربرد ندارد

AM 1.5 در استاندارد ملی ایران شماره ۳- ۱۴۱۱۵تعریف شده است.

چهار روش برای تشکیل ماتریس آزمون عملکرد مدول نسبت به دما و شدت تابش وجود دارد. روش ساده‌شده فقط می‌تواند برای مدول‌های خطی مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۰-۱۴۱۱۵ استفاده شود. دو روش در فضاهای باز[1] در نور طبیعی خورشید انجام می‌گیرد (یکی از روش‌ها به ردیاب نیاز دارد، ولی دیگری به ردیاب نیازی ندارد). روش چهارم در فضاهای بسته[2] با استفاده یک شبیه‌ساز خورشیدی انجام می‌شود.

۸-۲ روش ساده شده برای مدول‌های خطی

برای مدول‌هایی که خطی هستند (بر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۰-۱۴۱۱۵)، وابستگی توان بیشینه به شدت تابش و وابستگی توان بیشینه به دما، مستقل از هم می‌باشند. در این حالت کافیست موارد زیر اندازه‌گیری شوند:

الف) وابستگی پارامترها (I_{sc}، V_{oc}، P_{max} و V_{max}) به شدت تابش در دمای ثابت در کل گستره‌ی $W.m^{-2}$ ۱۰۰ تا $W.m^{-2}$ ۱۱۰۰.

ب) وابستگی پارامترها (I_{sc}، V_{oc}، P_{max} و V_{max}) به دما در دو شدت تابش ثابت، یکی بین $W.m^{-2}$ ۸۰۰ و $W.m^{-2}$ ۱۰۰۰ و دیگری بین $W.m^{-2}$ ۱۰۰ و $W.m^{-2}$ ۳۰۰.

ضرایب دمای نسبی برای بیشینه توان و ولتاژ مدار باز تعیین شده از دو مجموعه شدت تابش را مقایسه کنید. اگر دو مقدار برای ضریب دمای نسبی ولتاژ مدار باز، در گستره‌ی ۱۰ درصدی با هم تطابق داشته باشند و دو مقدار برای ضریب دمای نسبی بیشنه توان، در گستره‌ی ۱۵درصدی با هم تطابق داشته باشند، میانگین دو ضریب دمای اندازه‌گیری شده در مورد "ب" بالا، می‌تواند برای تکمیل جداول استفاده شود. در غیر این صورت، بهتر است بر اساس اندازه‌گیری در هر مجموعه از شرایط، جدول تکمیل شود.

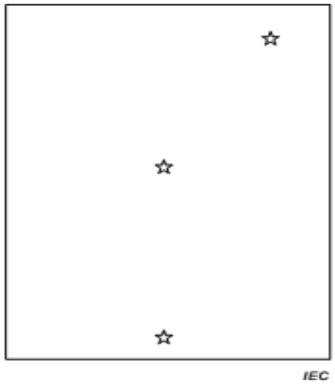
1- Outdoors
2- Indoor

یادآوری- ضریب دمای نسبی جریان اتصال کوتاه، به خاطر مقدار کوچک آن، در معیار بالا در نظر گرفته نمی‌شود.

۸-۳ روش انجام در نور طبیعی خورشید با ردیاب

۸-۳-۱ تجهیزات لازم برای این روش انجام، در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۱۱۵ تعیین شده است.

دمای مدول آزمون، باید در سه موقعیت تقریبی نشان داده شده در شکل ۱ اندازه‌گیری شود (اطمینان حاصل شود که هر سه موقعیت، درست در پشت سلول قرار دارند) و مقادیر آنها باید میانگین‌گیری شود. برای مدول‌های سیلیکون کریستالی، یک روش جایگزین، استفاده از معادل دمای سلول است که با استفاده از روش مشخص شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵-۱۴۱۱۵ اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۱- موقعیت‌های اندازه‌گیری دمای مدول آزمون در پشت سلول‌ها

۸-۳-۲ اندازه‌گیری در نور طبیعی خورشید، باید در کل گستره‌ی تابش یک روز انجام شود. نوسانات شدت تابش ناشی از ابرها، غبار و دود، باید کمتر از ۱± درصد شدت تابش کل باشند. همانطور که در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۱۱۵مشخص شده است، شدت تابش کل توسط وسیله‌ی مرجع در مدت زمان اندازه‌گیری هر نقطه، اندازه‌گیری می‌شود. بهتر است سرعت باد کمتر از $m.s^{-1}$ ۲ باشد. برای افزایش گستره و بهبود دقت، بهتر است داده‌ها حداقل در سه روز جمع‌آوری شوند.

۸-۳-۳ وسیله‌ی مرجع را (همانطور که در استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۴۱۱۵تعیین شده است) به صورت هم‌صفحه با مدول روی ردیابِ دو محوره نصب کنید طوری‌که هر دو در محدوده‌ی ۲°± بر پرتو مستقیم خورشید عمود باشند. آن را به ابزار لازم وصل کنید.

یادآوری- اندازه‌گیری‌های شرح داده شده در زیربندهای زیر، تا جایی که امکان دارد بهتر است سریعاً طی ساعات کمی در همان روز انجام شوند تا اثر تغییرات در شرایط طیفی کمینه شود. در غیر این‌صورت، ممکن است تصحیحات طیفی لازم باشد.

۸-۳-۴ اگر مدول آزمون و وسیله‌ی مرجع به کنترل‌های دما مجهز باشند، کنترل‌ها را در سطح مطلوب قرار دهید. ولی اگر از کنترل‌های دما استفاده نمی‌شود:

الف) آزمونه را در برابر خورشید و باد سایه‌دار کنید، تا زمانی‌که اختلاف دمای آن با دمای محیط $\pm 2^{\circ}C$ شود، یا

ب) به آزمونه‌ی آزمون فرصت دهید تا در دمای پایدارِ خود به تعادل برسد، یا

پ) آزمونه‌ی آزمون را در نقطه‌ای زیر دمای هدف پیش‌آماده‌سازی کنید و سپس اجازه دهید مدول به صورت طبیعی گرم شود.

یادآوری- ممکن است بین دمای میانگینِ سلول با دمای میانگینِ پشت آن در هنگام گرم شدن، تفاوت‌هایی وجود داشته باشد. استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۴۱۱۵ می‌تواند برای تعیین تغییر دمایی، با مشاهده‌ی واریانس در ولتاژ مدار باز در بازه‌ی زمانی اندازه‌گیری، مورد استفاده قرار گیرد.

۸-۳-۵ سایه را بردارید (اگر استفاده شده) و بلافاصله به طور همزمان دمای مدول آزمون و مشخصات عملکرد I-V (در کمینه I_{sc}، V_{oc}، V_{max} و P_{max})، دما و جریان اتصال کوتاه وسیله‌ی مرجع و شدت تابش طیفی با استفاده از تابش‌سنج[1] طیفی (اگر وسیله‌ی مرجع منطبق[2] به کار نرفته است) را قرائت کنید.

۸-۳-۶ شدت تابش، G_0، باید از جریان اندازه‌گیری‌شده‌ی وسیله‌ی مرجع (I_{sc}) و مقدار کالیبره‌شده‌ی آن در شرایط آزمون استاندارد (I_{rc}) محاسبه شود. برای لحاظ کردن دمای وسیله‌ی مرجع طی اندازه‌گیری، T_m، توصیه می‌شود تصحیحی با استفاده از ضریب دمای نسبی جریان اتصال کوتاه مشخص شده‌ی وسیله‌ی مرجع، α_{rc}، به صورت زیر انجام شود.

$$G_0 = \frac{G_{rc} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - T_{rc})]$$

در رابطه فوق G_{rc} شدت تابشی است که در آن شدت تابش وسیله‌ی مرجع کالیبره شده و معمولاً $1000\ W.m^{-2}$ می باشد. T_{rc} دمایی است که در آن دما، وسیله‌ی مرجع کالیبره شده و معمولاً $25^{\circ}C$ می‌باشد. اگر آزمونه‌ی آزمون و وسیله‌ی مرجع دارای پاسخ طیفی مشابه نباشند، تصحیح طیفی روی G_0 را با استفاده از روش استاندارد ملی ایران شماره ۷-۱۴۱۱۵ انجام دهید.

۸-۳-۷ اگر پارامترِ آزمونی که تغییر کرده است شدت تابش باشد، شدت تابش روی آزمونه‌ی آزمون را تا میزان مورد نظر کم کنید بدون اینکه بر یکنواختی فضایی[3] تاثیر بگذارد. روش‌های مختلف زیر برای انجام این عمل وجود دارد:

الف) استفاده از صافی‌های توری[4] با چگالی یکنواخت کالیبره‌شده که توزیع انرژی طیفی نور را تغییر نمی‌دهند. دهند. در صورت انتخاب این روش، بهتر است وسیله‌ی مرجع در مدت زمان عملکرد، با صافی پوشانده

1- Radiometer
2- Matched
3- Spatial Uniformity
4- Mesh Filters

نشود تا اندازه‌گیری شدت تابش ممکن باشد. در این حالت، شدت تابش در صفحه[1] توسط پارامتر کالیبراسیون صافی (بخشی از نور که عبور کرده است) کاهش داده می‌شود. بهتر است یکنواختی شدت تابش از
صافی‌ها، با استفاده از روش انجام یکنواختیِ ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۹-۱۴۱۱۵، با استفاده از سلول در وسیله‌ی آزمون برای تعیین اندازه آشکارساز مشخص‌کننده رده یکنواختی، تأیید شود. بهتر است نتایج در گزارش آزمون آورده شوند.

ب) استفاده از صافی‌های توری با چگالی یکنواخت و کالیبره نشده. در صورت انتخاب این روش، بهتر است وسیله‌ی مرجع در مدت زمان آزمون توسط صافی پوشانده شود. در این حالت، وسیله‌ی مرجع باید بر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۰-۱۴۱۱۵، دارای جریان اتصال کوتاه خطی باشد. در این حالت، شدت تابش در صفحه با نسبت خروجی وسیله‌ی مرجع به مقدار کالیبره‌شده‌ی آن، کاهش می‌یابد. بهتر است یکنواختی شدت تابش از صافی‌ها، با استفاده از روش انجام یکنواختیِ ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۹-۱۴۱۱۵، با استفاده از کوچک‌ترین وسیله (سلول در وسیله‌ی آزمون یا در وسیله‌ی مرجع) برای تعیین اندازه‌ی آشکارساز به منظور مشخص کردن رده‌ی یکنواختی، تأیید شود. بهتر است نتایج در گزارش آزمون آورده شوند.

پ) با کنترل زاویه تابش. در صورت انتخاب این روش، بهتر است وسیله‌ی مرجع دارای ویژگی‌های انعکاسی همانند آزمونه‌ی آزمون باشد و بهتر است هم‌صفحه با آزمونه‌ی آزمون در محدوده $\pm 1^{\circ}$ نصب شود. در این حالت، وسیله‌ی مرجع باید مشابه مدول آزمون نصب گردد (به گونه‌ای که رفتار زاویه تابش مشابهی داشته باشند) و مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۰-۱۴۱۱۵دارای جریان اتصال کوتاه خطی باشد. سپس شدت تابش در صفحه، توسط نسبتِ خروجی وسیله‌ی مرجع به مقدار کالیبره‌شده‌ی آن کاهش می‌یابد.

یادآوری۱- بیشینه ابعاد سوراخ های[2] توری صافی باید کمتر از ۱درصدِ کمینه ابعاد خطی وسیله‌ی مرجع و آزمونه‌ی آزمون باشد، یا ممکن است یک خطای متغیر با توجه به وضعیت نصب اتفاق بیفتد.

یادآوری۲- روش کنترل زاویه تابش، به اختلاف زاویه بین آزمونه‌ی آزمون و وسیله‌ی مرجع در زوایای زیاد حساس است. لذا بهتر است این روش برای زوایای بالای 60° به کار نرود.

۸-۳-۸ اگر پارامتر آزمونی که تغییر می‌کند دما باشد، دما را توسط یک کنترل‌کننده تنظیم کنید یا در صورت لزوم، برای رسیدن به دمای مطلوب و حفظ دمای موردنظر برای میزان شدت تابشی که به صورت طبیعی اتفاق می‌افتد، با قرار دادن مدول در معرض تابش یا سایه‌دار کردن مدول به طور متناوب، دمای مدول را تنظیم کنید. به روشی دیگر، آزمونه‌ی آزمون می‌تواند به صورت طبیعی با رویه‌ی ثبت داده‌ها در بند ۸-۳-۵ که به صورت دوره‌ای در مدت زمان گرم‌شدن انجام می‌شود، گرم شود.

1- In Plane Irradiance
2- Opening

۸-۳-۹ اطمینان حاصل کنید که دمای مدول آزمون و وسیله‌ی مرجع پایدار بوده و در محدوده‌ی $\pm 1°C$ ثابت می‌مانند و اطمینان حاصل کنید که در مدت زمان دوره‌ی ثبت داده‌ها، شدت تابش اندازه‌گیری شده توسط وسیله‌ی مرجع، در محدوده ۲± درصد ثابت می‌ماند.

۸-۳-۱۰ مراحل ۸-۳-۵ تا ۸-۳-۹ را تکرار کنید، تا وقتی که اندازه‌گیری‌های عملکردی برای ترکیب‌های ماتریس دما و شدت تابش، همانطور که در جدول ۲ تعریف شده، کامل شوند. این بدین معنی است که تمامیِ ماتریس‌های I_{sc}، V_{oc}، V_{max} و P_{max} پُر شده باشند.

۸-۳-۱۱ باید حداقل سه اندازه‌گیری در هر یک از شرایط آزمون و در حداقل سه روز انجام شود. به جمع‌آوری داده‌ها ادامه دهید تا انحراف‌های استاندارد برای همه‌ی مقادیر V_{oc}، I_{sc} و P_{max} در ماتریس کمتر از ۵ درصد شوند.

یادآوری- پاسخ زاویه‌ای همانند پاسخ طیفی، اندازه‌گیری‌ها در شرایط فضای باز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. پاسخ طیفی می‌تواند با استفاده از سلول‌های مرجعِ از نظر طیفی مشابه تصحیح شوند یا با بکارگیری یک تابش‌سنج طیفی[1] و انجام محاسبه‌ی عدم تشابه طیفی تصحیح صورت گیرد. اثرِ زاویه‌ای می‌تواند با استفاده از یک ردیاب حذف شود.

۸-۴ روش انجام در نور طبیعی خورشید بدون ردیاب

رویکرد دوم برای جمع‌آوری داده‌ها در فضای باز، پایش مدول‌های آزمون در فضاهای باز برای دوره‌های زمانی گسترده و سپس استخراج داده‌های لازم برای پُر کردن ماتریس‌ها است. این روش تا زمانی معتبر است که شرایط مشخص شده در بند ۸-۳-۲ برآورده شوند. برای این رویکرد ردیاب لازم نیست، اما ممکن است برای پاسخ زاویه‌ای تصحیحاتی لازم باشد (به یادآوری بند ۸-۳-۱۱ مراجعه کنید).

۸-۵ روش انجام با یک شبیه‌ساز خورشیدی

۸-۵-۱ تجهیزات لازم برای این روش انجام در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۱۱۵ تعریف شده است.

وسیله‌ی مرجع فتوولتائیک، همانطور که در استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۴۱۱۵تعریف شده است، باید در گستره‌ی شدت تابش $100 W.m^{-2}$ تا $1100 W.m^{-2}$ دارای جریان اتصال کوتاه خطی باشد. در صورت استفاده از روش‌های الف)، ب)، پ) و ت) بند ۸-۵-۷، وسیله‌ی مرجع باید به روشی مشابه با روش مدول تحت آزمون، چیده‌مان[2] شود.

توصیه می‌شود که شبیه‌ساز خورشیدی، از رده‌ی BBB بوده یا یک شبیه‌ساز خورشیدیِ بهتر مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۹-۱۴۱۱۵ باشد.

1-Spectroradiometer
2-Packaged

یادآوری۱- از آنجاییکه سامانه‌ی قالب‌بندی[1]، عملکرد نوری و پاسخ طیفیِ وسیله‌ی فتوولتائیک را تا حدی تحت تاثیر قرار می‌دهد، به منظور اطمینان از اینکه وسیله‌ی مرجعِ استفاده شده در این روش انجام با مدول تحت آزمون از نظر طیفی مشابه است، باید احتیاط لازم بعمل آید.

یادآوری۲- اگر برای سلول‌های شکاف باند[2] مستقیم و چند پیوندی، از لامپ با طیف نشری مانند زنون استفاده شود، بهتر است احتیاط لازم بعمل آید. از آنجا که شکاف (های) باند با دما تغییر می‌کند، می‌تواند از طریق خطوط انتشار مختلف در طیف لامپ عبور کند و موجب افزایش جابجایی‌های زیادی در عملکرد شود. برای وسایل چندپیوندی، این جابجایی‌های شکاف باند می‌تواند تعادل جریان زیرسلول را تغییر دهد و جابجایی‌های اضافی در عملکرد ایجاد کند.

یادآوری۳- برای یک وسیله‌ی چندپیوندی، I_{sc} و FF توابع غیرخطی از شدت تابش طیفی شبیه‌ساز هستند. در مورد اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط شبیه‌سازهای خورشیدی که از نظر طیفی قابل تنظیم نیستند، به دلیل اینکه جریان زیرسلول‌ها[3] نسبت به همدیگر متعادل نیستند، می‌توان انتظار داشت که خطاهای بزرگی داشته باشند. خطاهای بالای ۱۵ درصد برای جریان و توان، در مدول‌های چندپیوندی تجاری تحت شبیه‌ساز خورشیدی رده AAA مشاهده شده است.

۸-۵-۲ وسیله‌ی آزمون و وسیله‌ی مرجع را به صورت هم‌صفحه در صفحه‌ی آزمون شبیه‌ساز، طوری نصب کنید که هر دو بر خط مرکزیِ پرتو در محدوده $\pm 2^{\circ}C$ عمود باشند. آنها را به وسایل اندازه‌گیری لازم متصل کنید.

۸-۵-۳ اگر وسیله‌ی آزمون و وسیله‌ی مرجع مجهز به کنترل‌کننده‌های دما باشند، کنترل‌کننده‌ها را در مقدار مورد نظر تنظیم کنید. اگر از کنترل‌کننده‌های دما استفاده نشود، اجازه دهید که مدول آزمون و وسیله‌ی مرجع در محدوده‌ی $\pm 2^{\circ}C$ دمای هوای اتاقک، تثبیت شوند.

یادآوری- اگر اندازه‌گیری در شرایط دماییِ غیر متعادلی انجام می‌شود، حسگرهای دما باید مانند شکل ۱ قرار داده شوند.

۸-۵-۴ با استفاده از وسیله‌ی مرجع، شدت تابش در صفحه‌ی آزمون را در حد بالای گستره‌ی مورد نظر تنظیم کنید.

۸-۵-۵ قرائت‌های همزمانِ دمای وسیله‌ی آزمون و مشخصات عملکرد I-V (در کمینه I_{sc}، V_{oc}، V_{max} و P_{max})، دما و جریان اتصال کوتاهِ وسیله‌ی مرجع و شدت تابش طیفی با استفاده از تابش‌سنج[4] طیفی (اگر وسیله‌ی مرجع مشابه[5] به کار نرفته است) را انجام دهید.

۸-۵-۶ شدت تابش، G_0، باید از جریان اندازه‌گیری‌شده‌ی وسیله‌ی مرجع (I_{sc}) و مقدار کالیبره شده‌ی آن در شرایط آزمون استاندارد (I_{rc}) محاسبه شود. برای لحاظ کردن دمای وسیله‌ی مرجع طی اندازه‌گیری، T_m، با استفاده از ضریب دمای نسبی جریان اتصال کوتاه مشخص شده‌ی وسیله‌ی مرجع، α_{rc}، بهتر است یک تصحیح انجام شود.

1- Encapsulation
2- Band Gap
3- Subcells
4- Radiometer
5- Matched

$$G_0 = \frac{G_{rc} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - T_{rc})]$$

در رابطه فوق G_{rc} شدت تابشی است که در آن شدت تابش وسیله‌ی مرجع کالیبره شده و معمولاً $1000\ W.m^{-2}$ می‌باشد؛ T_{rc} دمایی است که در آن دما، وسیله‌ی مرجع کالیبره شده و معمولاً $25^{\circ}C$ می‌باشد. اگر آزمونه‌ی آزمون و وسیله‌ی مرجع دارای پاسخ طیفی مشابه نباشند، با استفاده از معادله ۱ در استاندارد ملی ایران شماره ۷-۱۴۱۱۵، تصحیح طیفی روی G_0 انجام دهید تا به جرم هوای ۱/۵ مربوط به طیف کلی[1] برای همه‌ی شدت تابش‌ها تصحیح شود.

۸-۵-۷ اگر پارامترِ آزمونی که تغییر کرده است شدت تابش باشد، شدت تابش روی آزمونه‌ی آزمون را تا میزان مورد نظر کم کنید بدون اینکه بر یکنواختی فضایی[2] یا توزیع انرژی طیفی، تاثیر بگذارد. روش‌های مختلف زیر برای انجام این عمل وجود دارد:

الف) افزایش فاصله بین صفحه‌ی آزمون و لامپ. با وسیله‌ی مرجعی که در همان صفحه‌ی آزمونه‌ی آزمون نگهداشته شده است، شدت تابش در صفحه با نسبت خروجی وسیله‌ی مرجع به مقدار کالیبره‌شده‌ی آن کاهش می‌یابد؛

ب) استفاده از یک عدسی نوری. باید احتیاط لازم بعمل آید تا اطمینان حاصل شود که عدسی‌ها به صورت قابل توجهی توزیع انرژی طیفی در گستره‌ی طول‌موجی که در آن آزمونه‌های آزمون و مرجع دارای عکس‌العمل هستند، تغییر نداده یا تغییری در یکنواختیِ فضایی در صفحه‌ی آزمون را به وجود نمی‌آورند. با وسیله‌ی مرجعی که در همان صفحه‌ی آزمونه‌ی آزمون نگهداشته شده است، شدت تابش در صفحه با نسبت خروجی وسیله‌ی مرجع به مقدار کالیبره شده آن کاهش می‌یابد؛

پ) کنترل زاویه تابش. در صورت انتخاب این روش، باید فاصله بین منبع لامپ و آزمونه زیاد باشد تا تغییر شدت تابش در سطح کج، به ۲ درصد یا کمتر محدود شود. همچنین در صورت انتخاب این روش، بهتر است وسیله‌ی مرجع همان ویژگی‌های انعکاسیِ آزمونه‌ی آزمون را داشته باشد و بصورت هم‌صفحه با آزمونه‌ی آزمون نصب شود. در این حالت، شدت تابش در صفحه با نسبتِ خروجی وسیله‌ی مرجع به مقدار کالیبره‌شده‌ی آن کاهش می‌یابد؛

ت) استفاده از صافی‌های توری[3] با چگالی یکنواخت کالیبره‌شده. در صورت انتخاب این روش، بهتر است وسیله‌ی مرجع در مدت زمان عملکرد، با صافی پوشانده نشود تا اندازه‌گیری شدت تابش ممکن باشد. در این حالت، شدت تابش در صفحه[4] توسط پارامتر کالیبراسیون صافی (بخشی از نور که عبور کرده است) کاهش داده می‌شود.

ث) استفاده از صافی‌های توری با چگالی یکنواخت و کالیبره‌نشده. در صورت انتخاب این روش، باید وسیله‌ی

1- Global Spectrum
2- Spatial Uniformity
3- Mesh Filters
4- In Plane Irradiance

مرجع در مدت زمان آزمون توسط صافی پوشانده شود. در این حالت، شدت تابش در صفحه با نسبت خروجی وسیله‌ی مرجع به مقدار کالیبره‌شده‌ی آن، کاهش می‌یابد.

ج) با تعیین مشخصات وسیله در مقادیر مختلف شدت تابش در مدت زمان واپاشی دنباله‌ی چشمک نور[1] یک شبیه‌سازِ خورشیدی پالسی. این روش مستلزم استفاده از یک تابش‌سنج طیفی با قابلیت اندازه‌گیری شدت تابش طیفی شبیه‌ساز در مدت زمان اندازه‌گیری است، یا مستلزم تأیید این است که وسیله‌ی مرجع مشخص شده در الف)، در گستره‌ی شدت تابش‌ها، توزیع طیفی و دماهای مورد نظر، بخوبی با وسیله‌ی آزمون مطابقت می‌کند.

یادآوری۱- بیشینه ابعاد سوراخ های توری صافی، باید کمتر از ۱درصد کمینه ابعاد خطی وسیله‌ی مرجع و آزمونه‌ی آزمون باشد، یا ممکن است یک خطای متغیر با توجه به وضعیت نصب اتفاق بیفتد.

یادآوری۲- در روش ج) تشابه طیفیِ وسیله‌ی مرجع با وسیله‌ی آزمون، بهتر است از طریق ثبت جریان اتصال کوتاه خروجی وسیله‌ی مرجع و وسیله‌ی آزمون طی یک پالس میراشونده از شبیه‌ساز خورشیدی تأیید شود. بهتر است نسبت نرمالیزه شده[2]ی جریان اتصال کوتاهِ وسیله‌ی آزمون به خروجیِ وسیله‌ی مرجع، بر حسب شدت تابش، ترسیم شود و بهتر است انحراف این نسبت از مقدار واحد، از ۱درصد گستره‌ی شدت تابش مورد نظر بیشتر نشود. بهتر است برای وسایل چند پیوندی روش ج) استفاده نشود.

۸-۵-۸ اگر پارامترِ آزمونی که تغییر کرده است دما باشد، دما را توسط ابزار مناسب تنظیم کنید (به استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۸۸۱ یا استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۶۴۶ مراجعه کنید).

۸-۵-۹ اطمینان حاصل کنید که دماهای مدول آزمون و وسیله‌ی مرجع در مدت زمان آزمون، در محدوده‌ی $\pm 1^{\circ}C$ ثابت می‌مانند.

۸-۵-۱۰ مراحل ۸-۵-۵ تا ۸-۵-۹ را تکرار کنید تا وقتی‌که اندازه‌گیری‌های عملکردی برای ترکیب‌های ماتریس دما و شدت تابش، همانطور که در جدول ۲ تعریف شده، کامل شوند.

۸-۵-۱۱ باید حداقل سه اندازه‌گیری در هر یک از شرایط آزمون انجام شود. به جمع‌آوری داده‌ها ادامه دهید تا انحراف‌های استاندارد برای همه‌ی مقادیر V_{oc}، I_{sc} و P_{max} در ماتریس، کمتر از ۵ درصد شوند.

۹ رتبه‌بندی توان[3]

۹-۱ درون‌یابی I_{sc}، V_{oc}، V_{max} و P_{max}

۹-۱-۱ کلیات

برای تعیین I_{sc}، V_{oc}، V_{max} و P_{max} در مقادیر میانیِ شدت تابش و دما غیر از آنهایی که به صورت مستقیم اندازه‌گیری شده‌اند، بهتر است از روش‌های انجام زیر استفاده شود. روش‌های انجام باید تخمینی از خطا را ارائه دهند (به بند ۹-۱-۶ مراجعه کنید).

1- Decaying Tail
2- Normalized Relative Ratio
3- Rating of power

۹-۱-۲ درون‌یابی I_{sc}، V_{oc}، V_{max} و P_{max} نسبت به دما

برای تعیین I_{sc}، V_{oc}، V_{max} و P_{max} در مقادیر میانیِ دما، از یک روش درون‌یابی خطی (رگرسیون) نسبت به وابستگی دمایی اندازه‌گیری‌شده، استفاده کنید.

۹-۱-۳ درون‌یابی I_{sc} نسبت به شدت تابش

برای تعیین I_{sc} در مقادیر میانیِ شدت تابش، از یک روش درون‌یابی خطی (رگرسیون) نسبت به وابستگی شدت تابش اندازه‌گیری‌شده، استفاده کنید.

یادآوری- برای وسایل غیرخطی، گستره‌ی شدت تابش‌های استفاده شده در درون‌یابی، باید محدود شده باشند تا خطا به حداقل مقدار برسد.

۹-۱-۴ درون‌یابی V_{oc} نسبت به شدت تابش

برای تعیین ولتاژ مدار باز در مقادیر میانیِ شدت تابش، بهتر است داده‌ها برای بدست آوردن v_1 و v_2 در معادله‌ی زیر برازش شوند:

$$V(G)=\upsilon_1\times\ln(G)+\upsilon_2$$

یادآوری۱- این رابطه مبتنی بر تغییرات لگاریتمی ولتاژ مدار باز، V_{oc}، با شدت تابش است. درون‌یابی V_{max} می‌تواند با استفاده همان رابطه‌ی کارکردی که برای V_{oc} استفاده شده، با مجموعه جدیدی از ضرایب، انجام شود.

یادآوری۲- برای وسایل غیرخطی، گستره‌ی شدت تابش‌های استفاده شده در درون‌یابی، می‌تواند محدود شده باشند تا خطا به حداقل مقدار برسد.

۹-۱-۵ درون‌یابی P_{max} نسبت به شدت تابش

برای تعیین P_{max} در مقادیر میانیِ شدت تابش، بهتر است داده‌ها از ناحیه‌ی نزدیک به شدت تابش مورد نظر (در محدوده‌ی ۳۰± درصد) با یک چندجمله‌ای برازش شوند، به طوری‌که هرگونه غیرخطی بودنِ نقاط داده‌ها را لحاظ نماید.

یادآوری- در برخی از موارد، دست‌یابی به یک برازش[1] خوب از کل منحنیِ P_{max} برحسب I_{sc} امکان پذیر نمی‌باشد. در آن حالت از چند نقطه در پایین و چند نقطه در بالای مقدار I_{sc} میانیِ مورد نظر استفاده کنید. شاید ضروری باشد که در شدت تابش‌های نزدیک‌تر به مقدار لازم، قرائت‌های تجربی بیشتری داشته باشیم.

برای وسایل خطی، اگر اختلاف بین شدت تابش‌های اندازه‌گیری شده از ۳۰ درصد بیشتر نشود، می‌توان از درون‌یابی خطی برای بدست آوردن مقدار P_{max} در میزان شدت تابش میانی استفاده کرد (به روش انجام تصحیح ۳ از استاندارد ملی ایران شماره ۹۱۳۲ مراجعه کنید)

۹-۱-۶ تناسب روش برازش

1- Fitting

وارسی کنید که الگوریتم‌ها برای بندهای ۹-۱-۲ تا ۹-۱-۵، با تأیید اینکه کمینه‌ی تابع خطای کل پیدا شده است، معتبر هستند (با بررسی سطوح خطا). اگر این الگوریتم‌ها معتبر نیستند، روابط مناسب دیگری می‌توانند استفاده شوند.

۹-۲ مقدار مجاز توان

برای هر مدول آزمون، جدول ۲ را برای P_{max} به کار ببرید و اگر لازم بود روش درون‌یابی داده‌شده در بند ۹-۱-۵ برای تعیین P_{max} در هر یک از شرایط مرجع توان تعریف شده در بند ۷ و جدول ۱ را به کار ببرید. برای هر نوع مدول، شرایط توان مرجع گزارش‌شده (بجز برای شرایط آزمون استاندارد (STC)) باید میانگین مقادیر تعیین شده برای سه مدول آزمون باشد. این میانگین به همراهِ گستره‌ی مقادیر تعیین‌شده، باید گزارش شوند و برای نشانه‌گذاری در بند ۴ به کار گرفته شوند.