



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۱۸۸۱-۲

چاپ اول

۱۳۹۵



دارای محتوای رنگی

INSO

11881-2

1st.Edition

2017

**Identical with
IEC 61215-2:
2016**

مدول‌های فتوولتائیک (PV) زمینی –
احراز شرایط طراحی و تایید نوع –
قسمت ۲: روش‌های آزمون

**Terrestrial photovoltaic (PV) modules –
Design qualification and type approval –
Part 2: Test procedures**

ICS: 27.160

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.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.org.ir

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

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

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

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

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان 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 شستن پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«مدول های فتوولتاییک (PV) زمینی - احراز شرایط طراحی و تایید نوع -

قسمت ۲: روش های آزمون»

سمت و/یا محل اشتغال:

رئیس:

رئیس اداره اندازه شناسی، اوزان و مقیاس ها- اداره کل استاندارد
استان زنجان

خدائی فرد، شراره
(کارشناسی ارشد فیزیک)

دبیر:

کارشناس مسئول صنایع برق، مکانیک و مصالح ساختمان- اداره
کل استاندارد استان زنجان

خرّم، بهرام
(کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

مدیر دفتر انرژی خورشیدی- سازمان انرژی های نو ایران (سانا)

بهار، شیرین
(کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست)

مدیر کنترل کیفیت- شرکت برق آفتابی هدایت نور یزد

ربیعی، غلامرضا
(کارشناسی مهندسی برق - مخابرات)

مدیر کنترل کیفیت- شرکت سیم و کابل کمان

سهیلی، عبدالکریم
(کارشناسی فیزیک)

عضو هیات علمی- دانشگاه زنجان

عابدینی، یوسفعلی
(دکترای فیزیک)

کارشناس استاندارد- انجمن مدیران کنترل کیفیت و مسئولین
فنی صنایع استان زنجان

عباسی، رقیه
(کارشناسی ارشد فیزیک)

رئیس گروه ارزیابی فناوری های خورشیدی- سازمان انرژی های نو
ایران (سانا)

منشی پور، سمیرا
(کارشناسی ارشد مهندسی صنایع و کارشناسی
برق - الکترونیک)

ویراستار:

رئیس اداره اندازه شناسی، اوزان و مقیاس ها- اداره کل استاندارد
استان زنجان

خدائی فرد، شراره
(کارشناسی ارشد فیزیک)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
و	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۳	۳ اصطلاحات، تعاریف
۵	۴ روش‌های آزمون
۵	۱-۴ بازرسی دیداری (چشمی) (MQT 01)
۶	۲-۴ تعیین توان بیشینه (MQT 02)
۷	۳-۴ آزمون عایق‌بندی (MQT 03)
۸	۴-۴ اندازه‌گیری ضرایب دمایی (MQT 04)
۹	۵-۴ اندازه‌گیری دمای نامی عملیاتی مدول (MQT 05)
۱۰	۶-۴ عملکرد در STC و NMOT (MQT 06)
۱۲	۷-۴ عملکرد در دمای کم (MQT 07)
۱۳	۸-۴ آزمون قرارگیری در فضای باز (MQT 08)
۱۴	۹-۴ آزمون دوام نقطه داغ (MQT 09)
۳۰	۱۰-۴ آزمون پیش آماده‌سازی (MQT 10)
۳۲	۱۱-۴ آزمون چرخه حرارتی (MQT 11)
۳۴	۱۲-۴ آزمون یخ‌زدگی رطوبت (MQT 12)
۳۶	۱۳-۴ آزمون گرمانم (MQT 13)
۳۷	۱۴-۴ استحکام پایان‌دهی (MQT 14)
۴۲	۱۵-۴ آزمون جریان نشستی تر (MQT 15)
۴۳	۱۶-۴ آزمون بار مکانیکی ایستا (MQT 16)
۴۵	۱۷-۴ آزمون تگرگ (MQT 17)
۴۹	۱۸-۴ آزمون دیود کنارگذر (MQT 18)
۵۳	۱۹-۴ تثبیت (MQT 19)

پیش‌گفتار

استاندارد «مدول‌های فتوولتاییک (PV) زمینی- احراز شرایط طراحی و تایید نوع- قسمت ۲: روش‌های آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده است، در هفتاد و ششمین اجلاس هیئت کمیته ملی استاندارد انرژی مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۱۸ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

این استاندارد یکی از استانداردهای تفکیک شده از استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۸۸۱ : سال ۱۳۸۸، مدول- های فتوولتاییک (PV) زمینی سیلیکون کریستالی- احراز شرایط طراحی و تایید نوع است که با انتشار تمامی مجموعه استانداردهای تفکیک شده از استاندارد مزبور، آن استاندارد باطل خواهد شد و استانداردهای تفکیک شده جایگزین آن میشوند.

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

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

IEC 61215-2: 2016, Terrestrial photovoltaic (PV) modules– Design qualification and type approval – Part 2: Test procedures

مقدمه

این استاندارد یک قسمت از مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۱۸۸۱ است.

قسمت ۱ این مجموعه استاندارد ملی، الزامات (الزامات عمومی و الزامات خاص با توجه به فنآوری افزاره) را توصیف می‌کند. قسمت ۱-۱ تغییرات فنآوری و قسمت ۲ مجموعه روش‌های آزمون مورد نیاز برای احراز شرایط طراحی و تایید نوع را تعریف می‌کند. روش‌های آزمون توصیف شده در قسمت ۲، برای تمام فنآوری‌های افزاره مجاز است.

مدول‌های فتوولتاییک (PV) زمینی - احراز شرایط طراحی و تایید نوع - قسمت ۲: روش‌های آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات مورد نیاز برای احراز شرایط طراحی و تایید نوع مدول‌های فتوولتاییک زمینی که برای کارکرد طولانی مدت در آب و هوای معمولی فضای باز، همان‌گونه که در استاندارد IEC 60721-2-1 تعریف شده است، مناسب می‌باشد. این استاندارد، در تمام مواد مدول‌های صفحه تخت زمینی از جمله انواع مدول‌های سیلیکون کریستالی و همچنین مدول‌های لایه نازک کاربرد دارد.

این استاندارد برای مدول‌های مورد استفاده با نور خورشید متمرکز شده کاربرد ندارد اگر چه ممکن است برای مدول‌های متمرکز کننده کم (۱ تا ۳ خورشید)^۱ مفید باشد. برای مدول‌های کم تمرکز، تمام آزمون‌ها با استفاده از سطوح جریان، ولتاژ و توان مورد انتظار در میزان تمرکز طراحی شده انجام می‌شوند.

هدف از این توالی آزمون، تعیین ویژگی‌های الکتریکی و حرارتی مدول است و تا حد امکان در محدوده‌های هزینه و زمان نشان می‌دهد که مدول قادر به تحمل طولانی مدت محدوده اقلیم‌های توصیف شده است. طول عمر واقعی مورد انتظار مدول‌ها به دلیل شرایط لازم طراحی و محیط آنها و شرایطی که آنها مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند بستگی خواهد داشت.

۲ مراجع الزامی

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

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

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 IEC 60050 (all parts), International Electrotechnical Vocabulary (available at <http://www.electropedia.org>)

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۴۲۵، واژگان الکتروتکنیک، با استفاده از برخی قسمت‌های مجموعه استاندارد IEC 60050 تدوین شده است.

2-2 IEC 60068-1, Environmental testing – Part 1: General and guidance

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۳۰۷: ۱۳۹۴، آزمون‌های محیطی- قسمت ۱: کلیات و راهنما، با استفاده از استاندارد IEC 60068-1: 2013 تدوین شده است.

2-3 IEC 60068-2-21, Environmental testing – Part 2-21: Tests – Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۱-۱۳۰۷: ۱۳۷۸، افزارهای فتوولتائیک- رویه‌های تصحیح دما و تابش به مشخصه‌های I-V اندازه‌گیری شده، با استفاده از استاندارد IEC 60068-2-21 (1983) + AMD No.2 (1991) + AMD No.3 (1992) تدوین شده است.

2-4 IEC 60891, Photovoltaic devices – Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۲۰۵: ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک- رویه‌های تصحیح دما و تابش به مشخصه‌های I-V اندازه‌گیری شده، با استفاده از استاندارد IEC 60891: 2009 تدوین شده است.

2-5 IEC 60904-1, Photovoltaic devices – Part 1: Measurements of photovoltaic current-voltage Characteristics

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۴۱۱۵: ۱۳۹۲، واژگان الکتروتکنیک، با استفاده از استاندارد IEC 60904-1: 2006 تدوین شده است.

2-6 IEC 60904-3, Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data

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

2-7 IEC 60904-7, Photovoltaic devices – Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۷-۱۴۱۱۵: ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک- قسمت ۷: محاسبه تصحیح عدم انطباق طیفی برای اندازه‌گیری افزارهای فتوولتائیک، با استفاده از استاندارد IEC 60904-7: 2008 تدوین شده است.

2-8 IEC 60904-8, Photovoltaic devices – Part 8: Measurement of spectral responsivity of a photovoltaic (PV) device

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۸-۱۴۱۱۵: ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک- قسمت ۸: اندازه‌گیری پاسخ طیفی افزارهای فتوولتائیک (PV)، با استفاده از استاندارد IEC 60904-8: 1998 تدوین شده است.

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

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۹-۱۴۱۱۵: ۱۳۹۲، افزارهای فتوولتائیک- قسمت ۹: الزامات عملکرد شبیه‌ساز خورشیدی، با استفاده از استاندارد IEC 60904-9: 2007 تدوین شده است.

2-10 IEC 60904-10, Photovoltaic devices – Part 10: Methods of linearity measurement

یادآوری – استاندارد ملی ایران شماره ۱۰-۱۴۱۱۵:۱۳۸۹، افزاره‌های فتوولتاییک – قسمت ۱۰: روش‌های اندازه‌گیری خطی، با استفاده از استاندارد IEC 60904-10: 2009 تدوین شده است.

2-11 ISO 868, Plastics and ebonite– Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness)

یادآوری – استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۹۳:۱۳۹۳، پلاستیک‌ها و ابونیت – تعیین سختی فرورفتگی با سختی‌سنج (سختی شور) – روش آزمون، با استفاده از استاندارد ISO 868: 2003 تدوین شده است.

2-12 IEC 60904-2, Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices

2-13 IEC 60068-2-78, Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state

2-14 IEC 60721-2-1, Classification of environmental conditions – Part 2-1: Environmental conditions appearing in nature – Temperature and humidity

2-15 IEC 61215-1, Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1: Test requirements

یادآوری – استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۸۸۱:۱۳۹۵، مدول‌های فتوولتاییک (PV) زمینی – احراز شرایط طراحی و تایید نوع – قسمت ۱: الزامات آزمون، با استفاده از استاندارد IEC 61215-1:2016 تدوین شده است.

2-17 IEC 61215-1, Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1: Test requirements

یادآوری – استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۸۸۱:۱۳۹۵، مدول‌های فتوولتاییک (PV) زمینی – احراز شرایط طراحی و تایید نوع – قسمت ۱: الزامات آزمون، با استفاده از استاندارد IEC 61215-1:2016 تدوین شده است.

2-18 IEC TS 61836, Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols

2-19 IEC 61853-2, Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating – Part 2: Spectral response, incidence angle, and module operating temperature measurements

2-20 IEC 62790, Junction boxes for photovoltaic modules – Safety requirements and tests

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد IEC 60050 و IEC TS 61836 به‌صورت زیر به کار می‌رود:

۱-۳

درستی «ابزار اندازه‌گیری»

accuracy <of a measuring instrument>

کیفیتی که توانایی ابزار اندازه‌گیری در فراهم کردن نزدیکی یک مقدار نشان داده شده به مقدار واقعی اندازه‌گیری شده را مشخص می‌کند [~ VIM 5.18].

یادآوری ۱- این اصطلاح با رویکرد «مقدار واقعی» استفاده می‌شود.

یادآوری ۲- در صورتی که مقدار نشان داده شده به مقدار واقعی متناظر نزدیک‌تر باشد، درستی بهتر است.

[منبع: زیربند 311-06-08 استاندارد IEC 60050-311:2001]

۲-۳

افزازه کنترل

control device

حسگر تابشی (مانند سلول یا مدول مرجع) که برای آشکارسازی رانش‌ها^۲ و سایر مشکلات شبیه‌ساز نور خورشید مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۳

سطح توان الکتریکی خروجی پایدار

electrically stable power output level

حالتی از مدول فتوولتاییک، که در آن مدول تحت نور طبیعی طولانی مدت خورشید در معرض آب و هوای فضای باز، همان‌گونه که در استاندارد IEC 60721-2-1 تعریف شده است، کار خواهد کرد.

۴-۳

تکرارپذیری «نتایج اندازه‌گیری»

repeatability <of results of measurements>

نزدیکی توافقی بین نتایج اندازه‌گیری‌های متوالی اندازه‌ده یکسان، تحت شرایط یکسان اندازه‌گیری نظیر:

- روش اندازه‌گیری یکسان،

- ناظر یکسان،

- ابزارهای اندازه‌گیری یکسان،

- تحت شرایط یکسان،

- آزمایشگاه یکسان،

که در فاصله‌های زمانی نسبتاً کوتاه انجام می‌شود [~ VIM 3.6].

یادآوری ۱- مفهوم "روش اندازه‌گیری" در VIM 2.5 تعریف شده است.

1- International Vocabulary Metrology

2- Drifts

[منبع: زیربند 311-06-06 استاندارد IEC 60050-311:2001]

۵-۳

تجدیدپذیری «اندازه‌گیری»

reproducibility <of measurements>

نزدیکی توافقی بین نتایج اندازه‌گیری‌های مقدار یکسان کمیت، در صورتی که هر کدام از اندازه‌گیری‌ها تحت شرایط متفاوت اندازه‌گیری:

- اصول اندازه‌گیری،
- روش اندازه‌گیری،
- ناظر،
- ابزارهای اندازه‌گیری،
- استانداردهای مرجع،
- آزمایشگاه،
- شرایطی که استفاده از ابزارها، متفاوت از شرایط عادی استفاده باشد،

بعد از بازه‌های زمانی نسبتاً طولانی، در مقایسه با مدت زمان یک اندازه‌گیری انجام می‌شود [VIM 3.7 ~].

یادآوری ۱- مفاهیم «اصول اندازه‌گیری» و «روش اندازه‌گیری» به ترتیب در VIM 2.3 و VIM 2.4 تعریف شده‌اند.

یادآوری ۲- اصطلاح «تجدیدپذیری» در صورتی که به‌عنوان مثال فقط برخی از شرایط بالا، در نظر گرفته شوند، به شرطی که اظهار شوند نیز اطلاق می‌شود.

[منبع: زیربند 311-06-07 استاندارد IEC 60050-311:2001]

۴ روش‌های انجام آزمون

۱-۴ بازرسی دیداری (چشمی) (MQT 01)

۱-۱-۴ هدف

آشکار کردن هر گونه نقص‌های دیداری در مدول است.

۲-۱-۴ روش اجرایی

هر مدول تحت نوردهی بیشتر از ۱۰۰۰ lux را برای شرایط و مشاهدات تعریف شده در استاندارد IEC 61215-1 به دقت بازرسی کنید.

ماهیت و وضعیت تمام ترک‌ها، حباب‌ها یا لایه لایه شدن و غیره که ممکن است اثر نامطلوب و بدتری بر عملکرد مدول در آزمون‌های بعدی داشته باشند را یادداشت کنید و/یا از آنها عکس بگیرید.

۳-۱-۴ الزامات

هیچ گونه شواهدی از نقص‌های عمده دیداری وجود نداشته باشد همان طوری که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است.

۲-۴ تعیین توان بیشینه (MQT 02)

۱-۲-۴ هدف

تعیین توان بیشینه مدول بعد از تثبیت و همچنین قبل و بعد از آزمون‌های تنش محیطی مختلف می‌باشد. تجدیدپذیری آزمون برای تعیین تلفات توان ناشی از آزمون‌های تنش، عامل بسیار مهمی است.

۲-۲-۴ دستگاه

الف - منبع تابشی (نور طبیعی خورشید یا شبیه‌ساز خورشیدی با رده BBA یا بهتر مطابق با استاندارد IEC 60904-9).

ب - افزاره مرجع فتوولتاییک مطابق با استاندارد IEC 60904-9. چنانچه از شبیه‌ساز با رده BBA یا بهتر استفاده شود، برای هماهنگی پاسخ طیفی، افزاره مرجع باید مدول مرجع با همان اندازه و با همان فن‌آوری سلول باشد. اگر چنین افزاره مرجع همسانی در دسترس نباشد، یکی از دو گزینه زیر مورد نیاز است که دنبال شود:

۱ - شبیه‌ساز رده AAA باید به کار برده شود، یا

۲ - پاسخ طیفی مدول مطابق با استاندارد IEC 60904-8 و توزیع طیفی شبیه‌ساز خورشیدی اندازه‌گیری شده و داده‌های مدول مطابق با استاندارد IEC 60904-7 تصحیح می‌شود.

پ - پایه نگهدارنده مناسب برای نگهداری اقلام مورد آزمون و افزاره مرجع در سطح عمود بر پرتو تابشی.

ت - دستگاه اندازه‌گیری منحنی I-V^۱ مطابق با استاندارد IEC 60904-1.

۳-۲-۴ روش اجرایی

مشخصه جریان - ولتاژ مدول را مطابق با استاندارد IEC 60904-1 در مجموعه مشخص شرایط تابش و دما (گستره توصیه شده دمای سلول بین 25°C تا 50°C و تابش‌دهی بین 700 W/m^2 تا 1000 W/m^2) با استفاده از نور طبیعی خورشید یا شبیه‌ساز با رده BBA یا بهتر مطابق با الزامات استاندارد

IEC 60904-9 تعیین کنید. در موقعیت‌های خاص وقتی که مدول‌ها برای کار کردن در گستره متفاوت شرایط طراحی می‌شوند، مشخصه‌های جریان - ولتاژ می‌تواند با استفاده از سطوح تابش و دمای مشابه با شرایط عملیاتی مورد انتظار اندازه‌گیری شود. به منظور مقایسه مجموعه اندازه‌گیری‌های انجام شده قبل و بعد از آزمون‌های محیطی بر روی همان مدول، برای مدول‌های خطی (همان‌طوری که در استاندارد IEC 60904-10 تعریف شده است) تصحیحات دما و تابش می‌تواند مطابق با استاندارد IEC 60891 انجام شود. برای مدول‌های غیر خطی (همان‌طوری که در استاندارد IEC 60904-10 تعریف شده است) اندازه‌گیری باید در محدوده $\pm 5\%$ تابش‌دهی مشخص شده و در محدوده $\pm 2^\circ\text{C}$ دمای مشخص شده انجام شود. با این حال، بهتر است از کمینه بودن مقدار تصحیح انجام شده بر روی تمام اندازه‌گیری‌های توان اوج بر روی مدول خاص در همان دما و تابشی که اندازه‌گیری‌های توان اوج تحت شرایط عملیاتی مشابه انجام می‌شوند، اطمینان حاصل شود.

۳-۴ آزمون عایق‌بندی (MQT 03)

۱-۳-۴ هدف

تعیین مناسب بودن عایق بین قسمت‌های برق‌دار و قسمت‌های در دسترس مدول است.

۲-۳-۴ دستگاه

الف - منبع ولتاژ d.c. با محدودیت جریان، قادر به اعمال 500 V یا 1000 V به علاوه دو برابر بیشینه ولتاژ سامانه مدول (استاندارد IEC 61215-1).

ب - دستگاه اندازه‌گیری مقاومت عایقی.

۳-۳-۴ شرایط آزمون

آزمون بر روی مدول‌ها باید در دمای محیط هوای پیرامون (به استاندارد IEC 60068-1 مراجعه شود) و در رطوبت نسبی کمتر از 75% انجام شود.

۴-۳-۴ روش اجرایی

الف - پایانه‌های خروجی اتصال کوتاه شده مدول را به پایانه مثبت دستگاه آزمون عایق d.c. با محدودیت جریان، متصل کنید.

ب - قسمت‌های فلزی بدون روکش مدول‌ها را به پایانه منفی دستگاه متصل کنید. در صورتی که مدول‌ها قاب نداشته باشند یا قاب، رسانای الکتریکی ضعیفی باشد، ورق نازک فلزی رسانا به دور لبه‌ها بپیچید. تمام سطوح بسپاری^۱ (صفحه جلو/صفحه عقب، جعبه اتصال) مدول را با ورق نازک فلزی رسانا

1- Polymeric

بپوشانید. تمام قسمت‌های پوشیده شده با ورق نازک فلزی را نیز به پایانه منفی دستگاه آزمون عایق d.c. متصل کنید.

بعضی از فناوری‌های مدول ممکن است حساس به قطبش ایستا باشند، چنانچه مدول در ولتاژ مثبت نسبت به قاب نگه داشته شود. در این حالت، اتصال دستگاه آزمون کننده باید برعکس این مطلب انجام شود. در صورت کاربرد، اطلاعات با توجه به حساسیت به قطبش ایستا باید توسط سازنده ارائه شود.

پ- ولتاژ اعمال شده توسط دستگاه آزمون عایق d.c. با محدودیت جریان را با نرخ کمتر از 500 V/s تا بیشینه برابر با 1000 V به علاوه دو برابر بیشینه ولتاژ سامانه افزایش دهید (IEC 61215-1). اگر بیشینه ولتاژ سامانه از 50 V فراتر نرود، ولتاژ اعمال شده باید 500 V باشد. ولتاژ را به مدت 1 min در این سطح نگه دارید.

ت- ولتاژ اعمال شده را به صفر کاهش دهید و پایانه‌های تجهیز آزمون را برای تخلیه ولتاژ ایجاد شده در مدول اتصال کوتاه کنید.

ج- اتصال کوتاه را حذف کنید.

چ- ولتاژ اعمال شده به تجهیز آزمون را با نرخ کمتر از 500 V/s تا 500 V یا بیشینه ولتاژ سامانه، هر کدام که بیشتر است، افزایش دهید. ولتاژ را به مدت 2 min در این سطح نگه دارید. سپس مقاومت عایقی را تعیین کنید.

ح- ولتاژ اعمال شده را به صفر کاهش دهید و برای تخلیه ولتاژ ایجاد شده در مدول، پایانه‌های تجهیز آزمون را اتصال کوتاه کنید.

خ- اتصال کوتاه را حذف کنید و تجهیز آزمون را از مدول جدا کنید.

۵-۳-۴ الزامات آزمون

الف- هیچ شکست دی‌الکتریک یا ترک خوردگی سطحی در طول روش اجرایی الف زیربند ۴-۳-۴ وجود نداشته باشد.

ب- برای مدول‌های با سطح کوچک‌تر از 0.1 m^2 مقاومت عایقی نباید کمتر از $400 \text{ M}\Omega$ باشد.

پ- برای مدول‌های با سطح بزرگ‌تر از 0.1 m^2 ، مقاومت عایقی اندازه‌گیری شده ضرب در سطح مدول نباید کمتر از $40 \text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2$ باشد.

۴-۴ اندازه‌گیری ضرایب دمایی (MQT 04)

ضرایب دمایی جریان (α) ، ولتاژ (β) ، و توان اوج (δ) را همان طوری که در استاندارد IEC 60891 مشخص شده است از اندازه‌گیری‌های مدول تعیین کنید. ضرایب تعیین شده، در تابشی که در آن اندازه‌گیری‌ها انجام

شده‌اند معتبر هستند. برای ارزیابی ضرایب دمایی مدول در سطوح تابش متفاوت، به استاندارد IEC 60904-10 مراجعه کنید.

یادآوری- برای مدول‌های خطی مطابق با استاندارد IEC 60904-10، ضرایب دمایی بالاتر از گستره تابش دهی $\pm 30\%$ از این سطح معتبر هستند.

۴-۵ اندازه‌گیری دمایی نامی عملیاتی مدول (NMOT) ^۱ (MQT 05)

۴-۵-۱ کلیات

توان مدول‌های فتوولتائیک به دمایی سلول بستگی دارد. دمایی سلول در درجه اول متاثر از دمایی محیط، تابش خورشید، و سرعت باد است.

NMOT به صورت دمایی میانگین تعادلی پیوند سلول خورشیدی مدول نصب شده در قفسه باز ^۲ که نزدیک توان اوج در محیط استاندارد مرجع (SRE) ^۳ کار می‌کند تعریف می‌شود:

زاویه شیب: $(5 \pm 37)^\circ$

تابش دهی کل: 800 W/m^2

دمایی محیط: 20°C

سرعت باد: 1 m/s

بار الکتریکی: بار مقاومتی به اندازه‌ای که مدول در نزدیک نقطه توان بیشینه خود در STC کار کند یا یک ردیاب الکترونیکی نقطه توان بیشینه (MPPT) ^۴.

یادآوری- NMOT شبیه به NOCT ^۵ سابق است به جز اینکه به جای مدار باز، NMOT با مدول تحت بیشینه توان، اندازه‌گیری می‌شود. تحت شرایط توان بیشینه (الکتریکی)، انرژی از مدول باز پس‌گیری می‌شود، در نتیجه انرژی حرارتی کمتری در سراسر مدول نسبت به شرایط مدار باز تلف می‌شود. از این رو NMOT به‌طور معمول چند درجه پایین‌تر از NOCT سابق است.

NMOT می‌تواند توسط طراح سامانه به‌عنوان راهنمای دما در مدولی که، در آن بازده دمایی ^۶ کار خواهد کرد استفاده شود و از این رو به‌هنگام مقایسه عملکرد طرح‌های مختلف مدول، پارامتر مفیدی است. با این حال، دمایی واقعی عملیاتی در زمان خاص، متاثر از ساختار نگهدارنده، فاصله از زمین، تابش، سرعت باد،

1- Measurement of Nominal Module Operating Temperature

2- Open-Rack

3- Standard Reference Environment

4- Maximum Power Point Tracker

5- Nominal Operating Cell Temperature

6- Field

دمای محیط، دمای آسمان و بازتابها و انتشار از زمین و اشیای نزدیک است. این عوامل برای پیش‌بینی عملکرد صحیح باید مدنظر قرار گیرند.

در مورد مدول‌هایی که برای نصب در قفسه باز طراحی نشده‌اند، این روش می‌تواند برای تعیین دمای میانگین تعادلی پیوند سلول خورشیدی در SRE^۱، با مدول نصب شده که توسط سازنده توصیه شده است استفاده شود.

۴-۵-۲ اصول کلی

این روش مبتنی بر جمع‌آوری داده‌های دمای واقعی مدول که تحت گستره‌ای از شرایط محیطی از جمله SRE اندازه‌گیری شده‌اند، می‌باشد. داده‌ها به روشی ارائه می‌شوند که اجازه درونی‌یابی درست و تکرارپذیر NMOT را می‌دهد.

دمای پیوند سلول خورشیدی (T_J) در درجه اول تابعی از دمای محیط (T_{amb})، سرعت متوسط باد (v) و تابش خورشیدی کل (G) برخوردی با سطح فعال مدول است. اختلاف دما ($T_J - T_{amb}$) تا حد زیادی از دمای محیط مستقل است و اساساً در سطوح تابش‌دهی بالای 400 W/m^2 به‌طور خطی با تابش متناسب است. دمای مدول توسط رابطه زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$T_J - T_{amb} = G / (u_0 - u_1 v)$$

ضریب u_0 نفوذ تابش^۲ و u_1 ضربه باد^۳ را توصیف می‌کند.

با استفاده از $T_{amb} = 20^\circ \text{C}$ ، تابش G ، 800 W/m^2 و سرعت باد، v ، مقدار NMOT برای T_J از رابطه مدل بالا تعیین می‌شود.

۴-۵-۳ روش آزمون

داده‌ها برای محاسبه NMOT باید با استفاده از روش آزمون (روش تحلیل تعیین دمای عملیاتی مدول) موجود در استاندارد IEC 61853-2 گردآوری شود.

یادآوری- این آزمون می‌تواند به‌طور هم‌زمان با آزمون در معرض فضای باز در زیربند ۴-۸ انجام شود.

۴-۶ عملکرد در STC و NMOT (MQT 06)

۴-۶-۱ هدف

تعیین چگونگی عملکرد الکتریکی تغییرات مدول با بار در STC (تابش‌دهی 1000 W/m^2)، دمای سلول 25°C ، مطابق با استاندارد IEC 60904-3 توزیع طیفی تابش خورشیدی مرجع) و در NMOT (تابش‌دهی

1- Standard Reference Environment
2- Influence of the irradiance
3- Wind impact

W/m^2 ۸۰۰ و دمای محیط $20^\circ C$ مطابق با استاندارد IEC 60904-3 توزیع طیفی تابش خورشیدی مرجع می‌باشد.

اندازه‌گیری در STC به‌منظور تایید اطلاعات پلاک مشخصات مدول استفاده می‌شود.

۴-۶-۲ دستگاه

الف - منبع تابشی (نور طبیعی خورشید یا شبیه‌ساز خورشیدی با رده BBA یا بهتر مطابق با استاندارد IEC 60904-9)

ب - افزاره مرجع فتوولتایک مطابق با استاندارد IEC 60904-9. چنانچه از شبیه‌ساز با رده BBA یا بهتر استفاده شود، برای هماهنگی پاسخ طیفی، افزاره مرجع باید مدول مرجع با همان اندازه و با همان فناوری سلول باشد. اگر چنین افزاره مرجع هم‌سان در دسترس نباشد، یکی از دو گزینه زیر مورد نیاز می‌باشد:

۱- شبیه‌ساز رده AAA باید به کار برده شود، یا

۲- پاسخ طیفی مدول مطابق با استاندارد IEC 60904-8 و توزیع طیفی شبیه‌ساز خورشیدی اندازه‌گیری شده و داده‌های مدول مطابق با استاندارد IEC 60904-7 تصحیح می‌شود.

پ - پایه نگهدارنده مناسب برای نگهداری اقلام مورد آزمون و افزاره مرجع در سطح عمود بر پرتو تابشی.

ت - وسیله‌ای برای پایش دمای اقلام مورد آزمون و افزاره مرجع با درستی $1^\circ C \pm$ و تکرارپذیری $0.5^\circ C \pm$.

ث - دستگاه اندازه‌گیری منحنی I-V مطابق با استاندارد IEC 60904-1.

ج - در صورت نیاز، تجهیز برای تغییر دمای اقلام مورد آزمون به دمای NMOT تعیین شده در زیربند ۴-۵.

۴-۶-۳ روش اجرایی

۴-۶-۳-۱ اندازه‌گیری در STC (MQT 06-1)

مدول را در دمای $25 \pm 2^\circ C$ نگه دارید و مشخصه‌های جریان - ولتاژ آن را در تابش‌دهی W/m^2 (1000 ± 100) (که توسط افزاره مرجع مناسب اندازه‌گیری می‌شود)، مطابق با استاندارد IEC 60904-1، با استفاده از نور طبیعی خورشید، یا شبیه‌ساز با رده دست‌کم BBA مطابق با الزامات IEC 60904-9 ردیابی کنید.

دمای مدول خارج از $25 \pm 2^\circ C$ را می‌توان با استفاده از ضرایب دمایی و مجموعه استاندارد IEC 60904 و استاندارد IEC 60891 به دمای $25^\circ C$ تصحیح کرد.

۴-۳-۲ اندازه‌گیری در NMOT (MQT 06-2)

مدول را به‌طور یکنواخت تا دمای $C \pm 2$ (NMOT) گرم کنید و مشخصه جریان-ولتاژ آن را در تابش‌دهی W/m^2 (80 ± 80) (که توسط افزاره مرجع مناسب اندازه‌گیری شده است)، مطابق با استاندارد IEC 60904-1، با استفاده از نور طبیعی خورشید، یا شبیه‌ساز با رده دست‌کم BBA مطابق با الزامات IEC 60904-9 ردیابی کنید.

دمای مدول خارج از $C \pm 2$ (NMOT) را می‌توان با استفاده از ضرایب دمایی و مجموعه استاندارد IEC 60904 و استاندارد IEC 60891 به NMOT تصحیح کرد.

در هر دو زیربند ۴-۳-۱ و ۴-۳-۲، اگر افزاره مرجع از نظر طیفی با مدول آزمون هماهنگ نشده باشد، از استاندارد IEC 60904-7 برای محاسبه تصحیح عدم تطابق طیفی استفاده کنید.

۴-۷ عملکرد در تابش کم (MQT 07)

۴-۷-۱ هدف

تعیین چگونگی عملکرد الکتریکی تغییرات مدول با بار در دمای $C \pm 25$ و تابش‌دهی W/m^2 ۲۰۰ (که توسط افزاره مرجع مناسبی اندازه‌گیری شده است)، مطابق با استاندارد IEC 60904-1 با استفاده از نور طبیعی خورشید یا شبیه‌ساز رده BBA یا بهتر، مطابق با الزامات استاندارد IEC 60904-9 است.

۴-۷-۲ دستگاه

الف- منبع تابشی (نور طبیعی خورشید یا شبیه‌ساز خورشیدی با رده BBA یا بهتر مطابق با استاندارد IEC 60904-9).

ب- تجهیزات لازم برای تغییر تابش‌دهی تا W/m^2 ۲۰۰ بدون تاثیرگذاری نسبی توزیع طیفی تابش و یکنواختی فضایی مطابق با استاندارد IEC 60904-10.

پ- افزاره مرجع فتوولتاییک مطابق با استاندارد IEC 60904-9. چنانچه از شبیه‌ساز با رده BBA یا بهتر استفاده شود، برای هماهنگی پاسخ طیفی، افزاره مرجع باید مدول مرجع با همان اندازه و با همان فناوری سلول باشد. اگر چنین افزاره مرجع هم‌سان در دسترس نباشد، یکی از دو گزینه زیر مورد نیاز می‌باشد:

۱- شبیه‌ساز رده AAA باید به کار برده شود، یا

۲- پاسخ طیفی مدول مطابق با استاندارد IEC 60904-8 و توزیع طیفی شبیه‌ساز خورشیدی اندازه‌گیری شده و داده‌های مدول مطابق با استاندارد IEC 60904-7 تصحیح می‌شود.

ت- پایه مناسب برای حمایت آزمون و افزاره مرجع در سطح عادی برای پرتو تابشی.

ث- وسیله‌ای برای پایش دمای آزمون و افزاره مرجع با درستی $\pm 1^\circ\text{C}$ و تکرارپذیری $\pm 0.5^\circ\text{C}$.

ج- دستگاه اندازه‌گیری منحنی I-V مطابق با استاندارد IEC 60904-1.

۳-۷-۴ روش اجرایی

مشخصه جریان - ولتاژ مدول را در دمای $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ و تابش دهی $(200 \pm 20) \text{ W/m}^2$ کنترل شده با افزاره مرجع مناسب، با استفاده از نور طبیعی خورشید یا شبیه‌ساز با رده دست کم BBA را مطابق با الزامات IEC 60904-9 تعیین کنید. تابش باید با استفاده از فیلترهای طبیعی یا سایر فناوری که بر توزیع طیفی تابش تاثیر نمی‌گذارد به سطح مشخص کاهش یابد. (برای راهنمایی کاهش تابش بدون تغییر توزیع طیفی تابش به استاندارد IEC 60904-1 مراجعه کنید).

دمای خارج $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ مدول می‌تواند با استفاده از ضرایب دمایی و مجموعه استاندارد IEC 60904 و استاندارد IEC 60891 به 25°C تصحیح شود.

۸-۴ آزمون قرارگیری در فضای باز (MQT 08)

۱-۸-۴ هدف

انجام ارزیابی اولیه توانایی مدول در تحمل قرارگیری در معرض شرایط فضای باز و آشکار ساختن هر گونه اثرات تخریب هم‌افزایی که ممکن است توسط آزمون‌های آزمایشگاه تشخیص داده نشود، می‌باشد.

۲-۸-۴ دستگاه

الف- یک قفسه باز برای پشتیبانی مدول(های) آزمون و پایش گر تابش خورشیدی در شیوه‌ای مشخص. قفسه باید طوری طراحی شود تا رسانایی حرارت مدول‌ها کمینه بوده و تداخل تابش آزاد حرارت از سطوح جلویی و عقبی مدول‌ها تا حد ممکن کم باشد.

در صورتی که مدول‌ها برای نصب در قفسه باز طراحی نشده باشند، مدول(های) آزمون باید به گونه‌ای که توسط سازنده توصیه می‌شود نصب شوند.

ب- پایش گر تابش دهی خورشیدی با درستی $\pm 5\%$ که در حدود 0.3 m آرایه آزمون در سطح مدول(ها) نصب می‌شود.

پ- وسایل نگهداری مدول، همان گونه که توسط سازنده توصیه شده است، هم سطح با پایش گر تابش دهی.

ت- بار مقاوتی به اندازه‌ای که مدول در نزدیکی نقطه توان بیشینه کار کند یا ردیاب الکترونیکی نقطه توان بیشینه (MPPT).

۳-۸-۴ روش اجرایی

الف - مدول(های) آزمون باید طوری قرار بگیرند که بر مکان با عرض جغرافیایی $\pm 5^\circ$ عمود باشند. زاویه شیب مدول آزمون را در گزارش آزمون یادداشت کنید.

ب - بار مقاومتی یا ردیاب الکترونیکی نقطه توان بیشینه را به مدول وصل کنید و همان گونه که توسط سازنده توصیه شده است، آن را در فضای باز، هم سطح با پایش گر تابش نگه دارید. تمام افزاره های حفاظت در برابر نقطه داغ توصیه شده توسط سازنده، باید قبل از آزمون مدول نصب شوند.

پ - مدول را تحت شرایط مطابق با آب و هوای معمولی فضای باز که در استاندارد IEC 60721-2-1 تعریف شده است در معرض تابش دهی کل دست کم 60 kWh/m^2 ، که توسط پایش گر اندازه گیری شده است، قرار دهید.

قرارگیری در معرض فضای باز و تعیین NMOT می تواند همزمان بر روی همان مدول انجام شود. در این حالت از روش اجرایی نصب در استاندارد IEC 61853-2 پیروی کنید.

۴-۸-۴ اندازه گیری های نهایی

آزمون های MQT 01 و MQT 15 را تکرار کنید.

۵-۸-۴ الزامات

الف - هیچ گونه شواهدی از نقص های عمده دیداری وجود نداشته باشد همان طوری که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است.

ب - جریان نشستی تر^۱ باید مطابق با همان الزامات اندازه گیری های اولیه باشد.

۹-۴ آزمون دوام نقطه داغ (MQT 09)

۱-۹-۴ هدف

تعیین توانایی تحمل مدول در برابر اثرات حرارتی نقطه داغ، به عنوان مثال ذوب شدن لحیم یا افت کیفی غشاء محافظ می باشد. این نقص می تواند در اثر سلول های معیوب، سلول های نامتناسب، قرار گرفتن در سایه یا کثیف شدن ایجاد شود. در صورتی که دمای مطلق و تلفات توان نسبی معیارهای این آزمون نباشند، برای اطمینان از ایمنی طرح از شرایط بسیار سخت نقطه داغ بهره گیری می شود.

۲-۹-۴ اثر نقطه داغ

هنگامی که جریان عملیاتی مدول از جریان اتصال کوتاه (I_{sc}) کاهش یافته سلول یا گروهی از سلول های سایه شده یا معیوب فراتر رود، گرمایش نقطه داغ در مدول رخ می دهد. به هنگام بروز چنین شرایطی، سلول

1- Wet

یا گروهی از سلول‌های متاثر، وادار به بایاس معکوس شده و باید توان مصرف شود که می‌تواند موجب گرمای بیش از حد شود.

اگر اتلاف توان به اندازه کافی بالا باشد یا به اندازه کافی متمرکز باشد، سلول(های) بایاس معکوس شده می‌تواند بیش از حد گرم شود و در نتیجه بسته به فن‌آوری- سبب ذوب لحیم، افت کیفی غشاء محافظ، صفحه جلویی و/یا عقبی، ترک خوردگی بستر فوقانی، بستر زیرین و/یا شیشه پوشش شود. استفاده صحیح از دیودهای کنارگذر^۱ می‌تواند از وقوع صدمه نقطه داغ جلوگیری کند.

مشخصه‌های معکوس سلول‌های خورشیدی می‌تواند به‌طور قابل توجهی متفاوت باشد. سلول‌ها می‌توانند یا دارای مقاومت شنت بالا باشند که در آن عملکرد معکوس با ولتاژ محدود است یا دارای مقاومت شنت پایین باشند که در آن عملکرد معکوس با جریان محدود است. هر کدام از این دو نوع سلول‌ها با روش‌های مختلف، می‌توانند متحمل مشکلات نقطه داغ باشند.

سلول‌های مقاومت شنت پایین:

- بدترین حالت شرایط سایه هنگامی رخ می‌دهد که کل سلول (یا بخش زیادی از سلول) سایه شود.
- اغلب سلول‌های مقاومت شنت پایین به دلیل شنت‌های محلی، بدین گونه هستند. در این حالت به دلیل مقدار زیاد شار جریان در ناحیه کوچک، حرارت نقطه داغ رخ می‌دهد. از آنجا که این پدیده، محلی است در عملکرد این نوع سلول مقدار زیادی پراکندگی وجود دارد. در بایاس معکوس، سلول‌های با کمترین مقاومت شنت دارای احتمال بالای کار کردن در دماهای بیش از حد بالا هستند.
- از آنجا که حرارت، موضعی است خرابی‌های نقطه داغ سلول‌های مقاومت شنت پایین به سرعت رخ می‌دهد.

مسئله اصلی فنی این است که چگونه سلول‌های با کمترین مقاومت شنت شناسایی شود و پس از آن چگونه بدترین حالت سایه برای آن سلول‌ها تعیین شود. این فرآیند به فن‌آوری وابسته است و در قسمت‌های خاص فن‌آوری این استاندارد بیان خواهد شد.

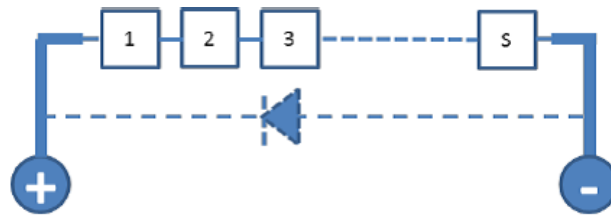
سلول‌های مقاومت شنت بالا:

- بدترین حالت شرایط سایه هنگامی رخ می‌دهد که قسمتی از سلول سایه شده است.
- شکست پیوند و دماهای بالا آهسته‌تر رخ می‌دهد. در بعضی اوقات برای ایجاد بدترین حالت گرمایش نقطه داغ، لازم است سایه در مکانی برای مدتی باقی بماند.

۳-۹-۴ رده‌بندی اتصال داخلی سلول

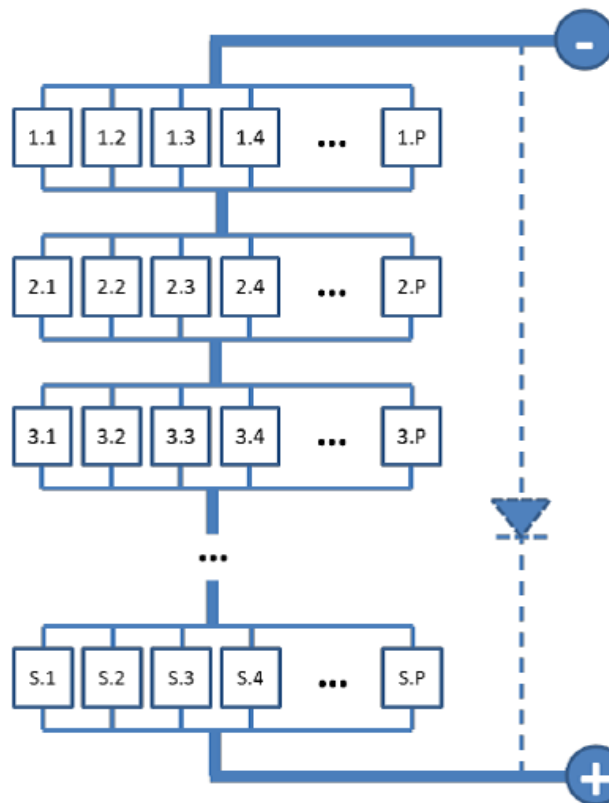
حالت S: اتصال سری تمام سلول‌ها در رشته تکی. به شکل ۱ مراجعه شود.

1- Bypass Diode



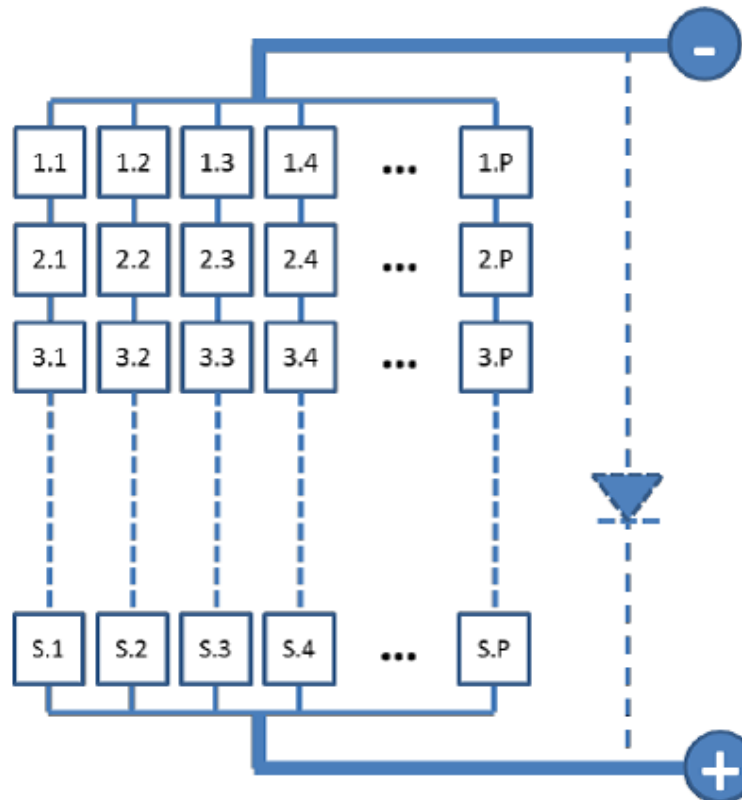
شکل ۱- حالت S، اتصال سری با دیود کنارگذر اختیاری

حالت PS: اتصال موازی - سری، برای مثال اتصال سری (S) بلوک، که هر بلوک شامل اتصال موازی تعداد معین (P) سلول است. به شکل ۲ مراجعه شود.



شکل ۲- حالت PS، اتصال موازی-سری با دیود کنارگذر اختیاری

حالت SP: اتصال سری-موازی، برای مثال اتصال موازی (P) بلوک، که هر بلوک شامل اتصال سری تعداد معین (S) سلول است. به شکل ۳ مراجعه شود.



شکل ۳- حالت SP، اتصال سری-موازی با دیود کنارگذر اختیاری

هر پیکربندی نیازمند روش انجام آزمون نقطه داغ ویژه‌ای است.

۴-۹-۴ دستگاه

الف- منبع تابشی: نور طبیعی خورشید، یا شبیه‌ساز خورشیدی حالت پایدار رده BBB (یا بهتر) مطابق با استاندارد IEC 60904-9 با تابش‌دهی $(1000 \pm 100) \text{ W/m}^2$.

ب- ردیاب منحنی I-V مدول.

پ- تجهیز اندازه‌گیری جریان.

ت- پوشش‌های مات برای آزمون سایه کردن سلول‌ها با توجه به قسمت‌های خاص فن‌آوری استاندارد IEC 61215.

ث - آشکارساز مناسب دما (ترجیحا دوربین IR^۱) برای اندازه‌گیری و ثبت دماهای مدول.

ج - تجهیز ثبت سطوح تابش، تابش یکپارچه و دمای محیط.

انتخاب سلول‌های بسیار حساس به گرمای نقطه داغ شبیه‌ساز پالسی رده BBB یا بهتر مطابق با استاندارد IEC 60904-9 با تابش دهی 800 W/m^2 تا 1000 W/m^2 برای اندازه‌گیری عملکرد I-V اختیاری است.

۴-۹-۵ روش اجرایی

۴-۹-۵-۱ کلیات

مطابق با فن‌آوری سلول خورشیدی و فرآیند ساخت، دو روش متفاوت وجود دارد. MQT 09-1 معمولاً برای فن‌آوری‌های مبتنی بر پولک^۲ مانند سیلیکون کریستالی، استاندارد قابل اجرا است. روش اجرایی MQT 09-2 برای رایج‌ترین یکنواختی یکپارچه، فن‌آوری‌های لایه نازک (CdTe^۳، CIGS^۴، a-Si^۵) قابل اجرا است.

۴-۹-۵-۲ روش اجرایی فن‌آوری‌های مبتنی بر پولک (WBT) MQT 09-1^۶

اگر دیودهای کنارگذر قابل حذف باشند، سلول‌های با شنت‌های محلی می‌توانند توسط بایاس معکوس رشته سلول شناسایی شوند و با استفاده از یک دوربین IR نقاط داغ مشاهده شوند. اگر مدار مدول در دسترس باشد، شار جریان از طریق سلول سایه شده می‌تواند به‌طور مستقیم پایش شود. اگر مدول‌های فتوولتاییک مورد آزمون دارای دیودهای قابل حذف یا مدارهای الکتریکی در دسترس نباشند، از روش غیر نفوذی زیر می‌توان استفاده کرد.

رویکرد انتخاب شده بر مبنای در نظر گرفتن مجموعه منحنی‌های I-V برای مدول با هر سلول به نوبت سایه شده است. شکل ۴ نتایج مجموعه منحنی‌های I-V را برای مدول نمونه نشان می‌دهد. وقتی که سلول با کمترین مقاومت شنت سایه شده باشد منحنی با بیشترین جریان نشی در نقطه‌ای که دیود روشن است ایجاد می‌شود. وقتی که سلول با بیشترین مقاومت شنت سایه شده باشد منحنی با کمترین جریان نشی در نقطه‌ای که دیود روشن می‌شود ایجاد می‌شود.

1- Infrared

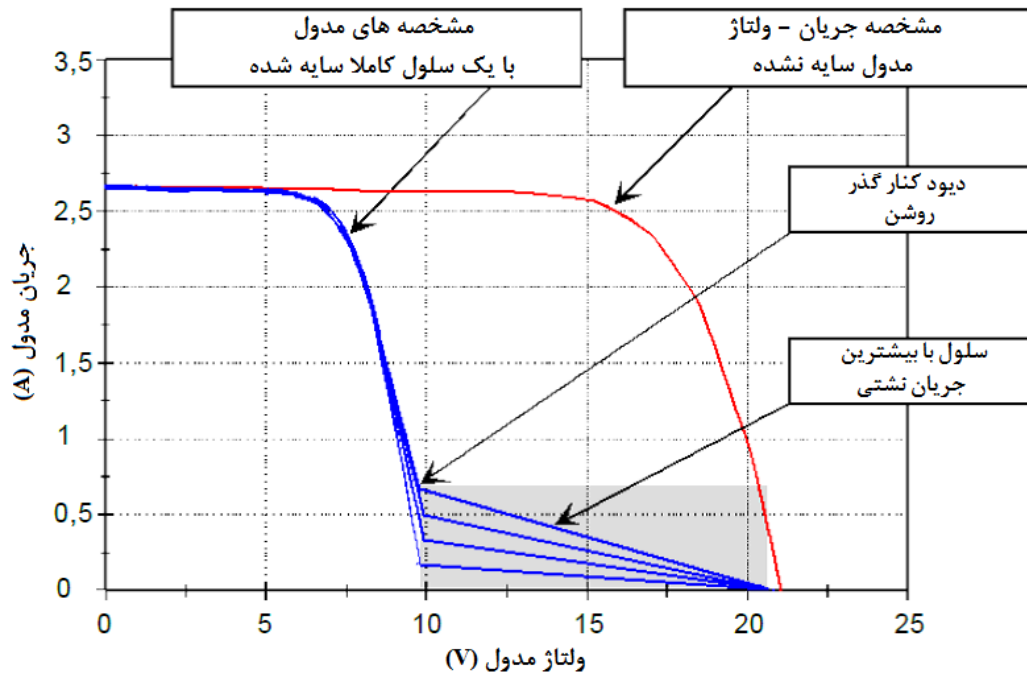
2- Wafer

3- Cadmium Telluride

4- Copper Indium Gallium Selenide

5- Amorphous Silicon

6- Wafer-Based Technologies



شکل ۴- مشخصه‌های I-V مدول با سلول‌های مختلف کاملاً سایه شده

از روش اجرایی زیر برای شناسایی سلول‌های حساس نقطه داغ استفاده کنید:

الف- مدول‌های سایه نشده را در معرض منبع تابشی که تابش دهی کل 800 W/m^2 تا 1000 W/m^2 در سطح مدول فراهم می‌کنند قرار دهید. این تابش می‌تواند به صورت زیر انجام شود:

- شبیه‌ساز پالسی که در آن دمای مدول نزدیک دمای اتاق $C^\circ (25 \pm 5)$ خواهد بود.
 - شبیه‌ساز حالت پایدار که در آن قبل از اندازه‌گیری‌ها، دمای مدول باید در محدوده دمای $C^\circ \pm 5$ تثبیت شود.
 - نور خورشید که در آن قبل از اندازه‌گیری‌ها، دمای مدول باید در محدوده دمای $C^\circ \pm 5$ تثبیت شود.
- پس از تثبیت حرارت، مشخصه I-V مدول را اندازه‌گیری کنید و جریان توان بیشینه I_{MP1} (عملکرد اولیه P_{MP1}) را تعیین کنید.
- ب-** هر سلول را به نوبت به‌طور کامل سایه کنید، منحنی I-V حاصل را اندازه‌گیری کنید و مجموعه‌ای از منحنی‌ها را مانند شکل ۴ تهیه کنید.
- یادآوری-** برای حالت SP تغییر شکل منحنی I-V مدول به بخش منحنی I-V کاملاً نورده‌ی شده زیربخش موازی اضافه می‌شود و لذا از V_{oc} شروع نمی‌شود.
- پ-** سلول مجاور لبه را که دارای کمترین مقاومت شنت، و سلولی که دارای بیشترین جریان نشتی است را انتخاب کنید.

ت- دو سلول با کمترین مقاومت شنت (علاوه بر سلول انتخاب شده در بخش پ بالا)، و سلول هایی که دارای بالاترین جریان نشتی هستند را انتخاب کنید.

ث- سلول با بیشترین جریان نشتی را انتخاب کنید.

ج- روش انجام آزمون سلول:

برای هر سلول از سلول های انتخاب شده، بدترین حالت شرایط سایه را توسط یکی از روش های زیر تعیین کنید:

۱- اگر مدار سلول در دسترس است، مدول را اتصال کوتاه کنید و تجهیز اندازه گیری جریان که فقط جریان مربوط به رشته سلول تحت آزمون را می خواند را وصل کنید. مدول را در معرض تابش دهی حالت پایدار 800 W/m^2 تا 1000 W/m^2 قرار دهید. هر یک از سلول های آزمون را سایه کنید و نتایج سطح سایه در جریان را که از طریق سلول سایه شده است را تعیین کنید که چقدر با I_{MP1} سایه نشده تعیین شده در بخش الف برابر می باشد. این بدترین حالت سایه برای آن سلول است.

۲- اگر مدار سلول در دسترس نیست، مجموعه منحنی های I-V سلول های آزمون سایه در سطوح مختلف نشان داده شده در شکل ۵ را ایجاد کنید. بدترین شرایط حالت سایه، که به هنگام عبور جریان از سلول سایه شده (نقطه ای که در آن دیود کنارگذر روشن می شود) رخ می دهد را همزمان با I_{MP1} سایه نشده اصلی تعیین شده در منحنی الف، شبیه منحنی پ شکل ۵ تعیین کنید.

۳- به نوبت هر یک از سلول های آزمون انتخاب شده را 100% سایه کنید و دمای سلول را اندازه گیری کنید. سایه را 10% کاهش دهید. اگر دما 100% کاهش یابد، سایه کردن بدترین حالت را تولید می کند. اگر دما افزایش یابد یا در همان حالت باقی بماند، کاهش سایه را 10% ادامه دهید تا دما کاهش یابد. برگردید و از سطح سایه کردن قبلی که بدترین حالت سایه کردن است استفاده کنید.

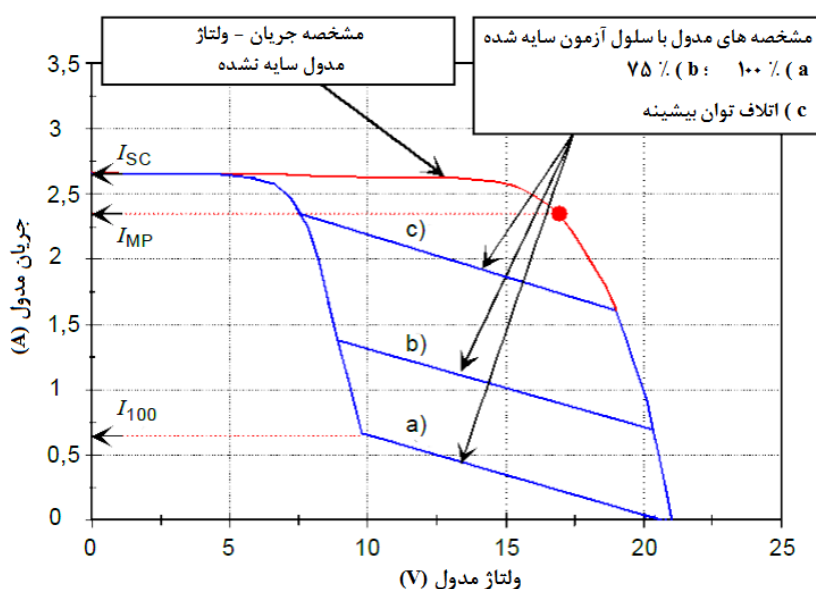
۴- برای حالت SP چنانچه سلول انتخاب شده بطور کامل سایه شده باشد، اگر دیود کنارگذر روشن نشود، بدترین شرایط حالت نقطه داغ، در سایه کامل سلول اتفاق می افتد. چنانچه سلول انتخاب شده بطور کامل سایه شده باشد اگر دیود کنارگذر روشن شود، روش اجرایی ۲ یا ۳ تعیین شده در بخش ج را برای تعیین بدترین شرایط حالت سایه استفاده کنید.

۵- سلول انتخاب شده در بخش پ را انتخاب کنید. دوربین IR را برای تعیین داغ ترین نقطه روی سلول را به هنگامی که سایه 100% است استفاده کنید. سلولی که برای شرایط بدترین حالت در بند ۱ تا ۴ بخش ج تعیین شده است را سایه کنید. مدول را اتصال کوتاه کنید. در صورت امکان مطمئن شوید که این نقطه، داغ ترین نقطه در ناحیه نوردهی شده می باشد.

چ- هر سلول انتخاب شده برای شرایط بدترین حالت تعیین شده در بخش ج را سایه کنید.

ح- مدول را اتصال کوتاه کنید. مدول را در معرض تابش دهی W/m^2 (1000 ± 100) قرار دهید. این آزمون باید در دمای مدول در گستره C (50 ± 10) انجام شود.

خ- شرایط بدترین حالت سایه تعیین شده در بخش ج را به مدت ۱ h برای هر سلول انتخاب شده حفظ کنید. اگر دمای سلول سایه شده در پایان ۱ h هنوز افزایش می‌یابد، در مجموع به مدت ۵ h این شرایط را ادامه دهید.



شکل ۵- مشخصه‌های I-V مدول با آزمون سلول سایه شده در سطوح مختلف

۳-۵-۹-۴ روش اجرایی MQT 09-2 برای فن‌آوری‌های لایه نازک یکپارچه یکنواخت (MLI)^۱

۱-۳-۵-۹-۴ کلیات

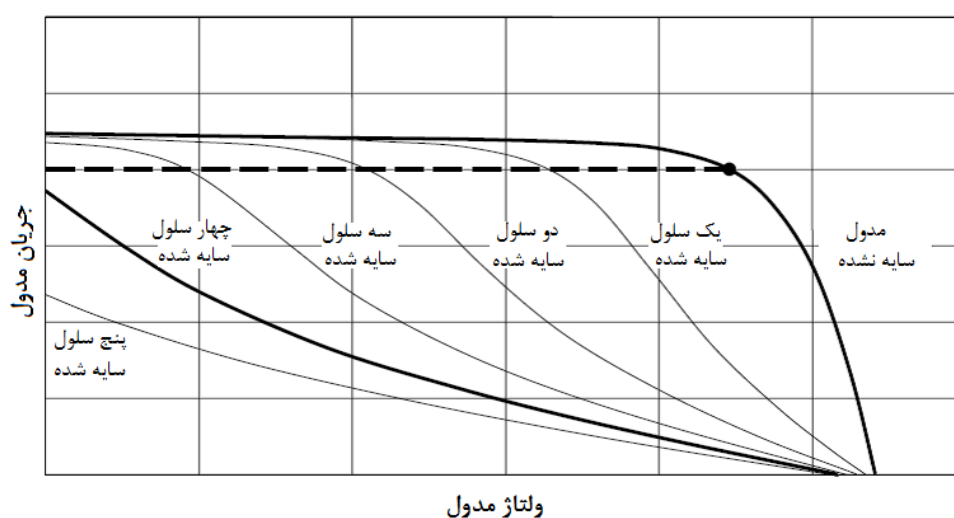
آزمون نقطه داغ با قرار گرفتن مدول در W/m^2 ۸۰۰ تا W/m^2 ۱۰۰۰ انجام می‌شود.

یادآوری- به‌طور معمول هیچ یک از دیودهای کنارگذر شامل مدار اتصال داخلی سلول‌های لایه نازک MLI، به‌طور سری متصل نمی‌باشند. بنابراین، ولتاژ معکوس سلول‌های سایه شده محدود نمی‌شود و ولتاژ مدول سلول‌های گروهی می‌تواند به بایاس معکوس تحمیل شود.

عملکرد الکتریکی مدول لایه نازک MLI که می‌تواند از قبل تحت تاثیر منفی سایه کوتاه مدت قرار گرفته باشد. مراقب باشد که اثرات برقراری شرایط بدترین حالت و آزمون دوام نقطه داغ به وضوح جدا شده باشند. به این منظور مقادیر P_{max1} ، P_{max2} و P_{max3} جمع‌آوری می‌شوند.

۴-۹-۳-۲ حالت S

شکل ۶ اثر نقطه داغ در مدول لایه نازک MLI متشکل از اتصال سری سلول‌ها زمانی که تعداد مختلفی از سلول‌ها که به‌طور کامل سایه شده‌اند را نشان می‌دهد. مقدار توان تلف شده در سلول‌های سایه شده برابر با حاصل ضرب جریان مدول و ولتاژ معکوس ایجاد شده در دو سر گروه سلول‌های سایه شده است. برای هر سطح تابش، زمانی که ولتاژ معکوس دو سر سلول‌های سایه شده برابر با ولتاژ ایجاد شده توسط باقی سلول‌های نوردهی شده در مدول (بدترین حالت شرایط سایه) است، توان بیشینه مصرف می‌شود. این حالت وقتی اتفاق می‌افتد که جریان اتصال کوتاه مدول سایه شده برابر با جریان توان بیشینه مدول سایه نشده باشد.



یادآوری- در این مثال، بدترین حالت شرایط سایه، سایه شدن همزمان چهار سلول است.

شکل ۶- اثر نقطه داغ در مدول لایه نازک MLI با سلول‌های متصل شده به‌طور سری

مراحل الف تا چ با استفاده از شبیه‌ساز پالسی یا نوردهی ناپیوسته برخلاف شبیه‌ساز حالت پایدار یا نور طبیعی خورشید به بهترین وجه انجام می‌شوند. هنگام تعیین اندازه و مکان سطح سایه شده، استفاده از منبع نور ناپیوسته، آسیب بالقوه به مدول را پیش از قرارگیری طولانی مدت در مراحل خ، د، ذ به حداقل می‌رساند.

الف- با به کارگیری شبیه‌ساز پالسی یا ناپیوسته در جایی که دمای مدول نزدیک به دمای اتاق $\pm 5^\circ\text{C}$ (۲۵ خواهد بود، مدول سایه نشده را در معرض منبع تابشی که تابش‌دهی کل 800 W/m^2 تا 1000 W/m^2 در سطح مدول فراهم می‌کنند قرار دهید. در جایی که دمای مدول باید در محدوده دمای $\pm 5^\circ\text{C}$ تثبیت شود، قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها، به دلخواه می‌توان از شبیه‌ساز حالت پایدار یا نور خورشید استفاده کرد. وقتی که تثبیت حرارتی حاصل شد، مشخصه I-V مدول را اندازه‌گیری کنید

و گستره جریان توان بیشینه ($I_{\min} < I < I_{\max}$) را در $P > 0.99 P_{\max}$ تعیین کنید. (توان مدول بعد از پیش آماده سازی اندازه گیری شده است).

ب- مدول را اتصال کوتاه کنید و جریان اتصال کوتاه را پایش کنید.

پ- با شروع از یک لبه مدول، پوشش مات را برای سایه کردن کامل یک سلول استفاده کنید. پوشش را موازی با سلول ها حرکت دهید و سطح مدول سایه شده (تعداد سلول های سایه شده) را افزایش دهید تا زمانی که جریان اتصال کوتاه در گستره جریان توان بیشینه مدول سایه نشده قرار گیرد. در این شرایط، توان بیشینه در گروه انتخاب شده سلول ها مصرف می شود (به شکل ۶ مراجعه شود).

ت- پوشش مات (ابعاد به دست آمده در بخش پ) را به آرامی در سراسر مدول حرکت دهید و جریان اتصال کوتاه مدول را پایش کنید. اگر در موقعیت خاص، افت جریان اتصال کوتاه خارج از گستره جریان توان بیشینه مدول سایه نشده قرار گیرد، اندازه پوشش را به تدریج کاهش دهید تا دوباره شرایط جریان توان بیشینه حاصل شود. در طی این فرآیند، تابش دهی نباید بیشتر از $\pm 2\%$ تغییر کند.

ث- عرض نهایی پوشش، تعیین کننده کمینه سطح سایه است، که منجر به بدترین حالت شرایط سایه می شود. این سطح سایه شده برای آزمون نقطه داغ استفاده می شود.

ج- پوشش را بردارید و مدول را بازرسی دیداری کنید.

یادآوری- عملیات بایاس معکوس سلول ها در مراحل پ و ت می تواند سبب شکست اتصال شود و منجر به پخش نقاط نامنظم در سراسر سطح مدول شود. این نقص ها می تواند سبب کاهش خروجی بیشینه شود.

چ- مشخصه I-V مدول را دوباره اندازه گیری کنید و توان بیشینه $P_{\max 2}$ را تعیین کنید.

ح- پوشش را بر روی سطح مدول منتخب قرار دهید و مدول را اتصال کوتاه کنید.

خ- مدول را در معرض منبع تابشی که تابش دهی کل $(100 \pm 100) \text{ W/m}^2$ را در سطح مدول فراهم می کند، قرار دهید.

این تابش می تواند به صورت زیر انجام شود:

- شبیه ساز حالت پایدار که در آن قبل از اندازه گیری ها، دمای مدول باید در محدوده دمای $5 \pm \text{C}^\circ$ تثبیت شود.

- نور خورشید که در آن قبل از اندازه گیری ها، دمای مدول باید در محدوده دمای $5 \pm \text{C}^\circ$ تثبیت شود.

این آزمون باید در دمای مدول در گستره دمایی $C (10 \pm 50)$ انجام شود. مقدار I_{sc} را یادداشت کنید و مدول را در شرایط مصرف توان بیشینه نگه دارید. در صورت لزوم، برای حفظ I_{sc} در سطح مشخص تعیین شده در الف، سایه را دوباره تنظیم کنید.

د- این شرایط را برای زمان کل قرارگیری ۱ h حفظ کنید.

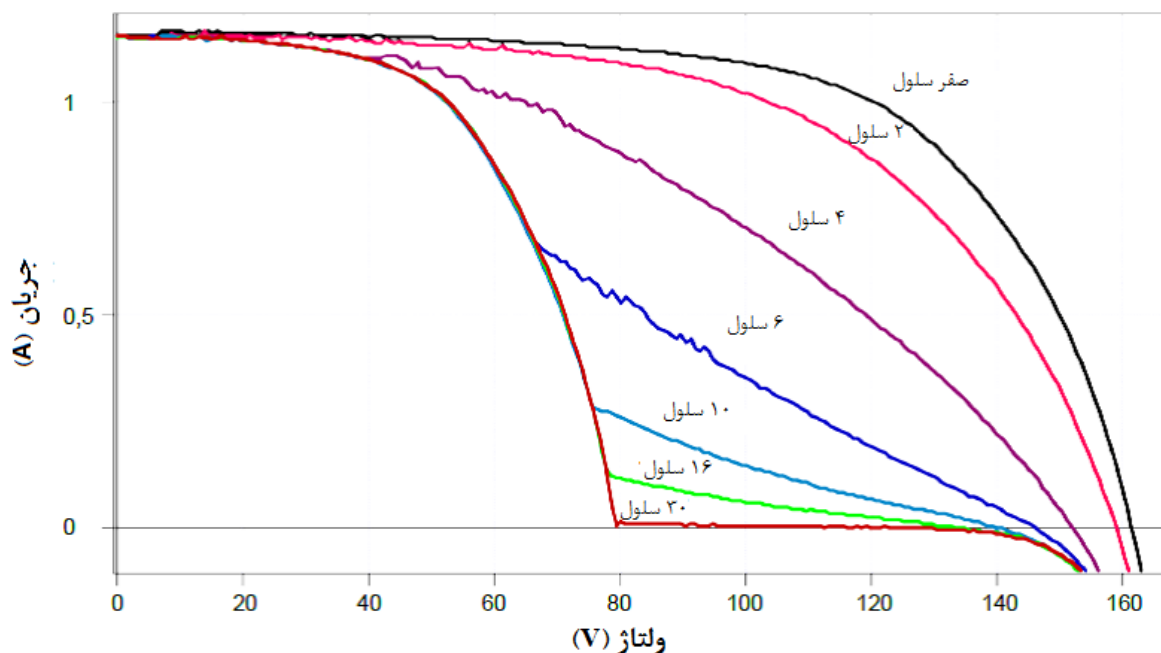
ذ- در پایان آزمون دوام، داغ‌ترین سطح سلول‌های سایه شده را با استفاده از دوربین IR یا آشکارساز دمایی مناسب تعیین کنید.

۴-۹-۳-۵-۳ حالت SP

شکل ۳ اتصال سری - موازی را به عنوان مثال اتصال موازی P رشته که هر یک با S سلول، سری شده است را نشان می‌دهد.

اگر دیودهای کنارگذر قابل برداشتن باشند، سلول‌های با شنت‌های موضعی را می‌توان توسط بایاس معکوس رشته سلولی و با استفاده از دوربین IR برای مشاهده نقاط داغ شناسایی کرد. چنانچه جریان مدول در دسترس باشد، شارش جریان از میان سلول‌های سایه شده می‌تواند به‌طور مستقیم پایش شود. با این حال، امروزه بسیاری از مدول‌های فتوولتاییک دارای دیودهای قابل برداشتن نبوده یا مدارهای الکتریکی در دسترس نیستند. بنابراین روش غیر مداخله‌گر^۱ لازم است که بتواند در این مدول‌ها استفاده شود.

رویکرد انتخابی بر مبنای در نظر گرفتن مجموعه منحنی‌های I-V برای مدول با هر سلول به نوبت سایه شده می‌باشد. شکل ۷ مجموعه نتایج منحنی‌های I-V را برای مدول نمونه نشان می‌دهد. وقتی که سلول با کمترین مقاومت شنت سایه شده باشد، در نقطه‌ای که دیود روشن است منحنی با بیشترین جریان نشتی در نظر گرفته می‌شود. منحنی با کمترین جریان نشتی در نقطه‌ای که دیود روشن می‌شود وقتی که سلول با بیشترین مقاومت شنت سایه شده باشد، بدست آورده می‌شود.



یادآوری ۱- تعداد سلول‌های سایه شده وابسته به فن‌آوری سلول، کارایی و تعداد سلول‌های سری (در اینجا مدول شامل ۲۰۰ سلول با ۲ دیود کنارگذر) خواهد بود.

یادآوری ۲- نوسان‌ها در «چهار سلول» و «شش سلول» پاسخ مدولی هستند که نقاط ریز در آن ایجاد شده است. این پدیده نیز وابسته به فن‌آوری سلول خواهد بود.

شکل ۷- مشخصه‌های I-V مدول با سلول‌های مختلف کاملاً سایه شده
که در آن طرح مدول شامل دیودهای کنارگذر است

۴-۹-۵-۳-۴ حالت SP با مدار سلول غیر قابل دسترس و حفاظت داخلی بایاس معکوس

اگر مدول نوع سری - موازی (حالت SP) دارای مدار داخلی سلول و دیودهای کنارگذر داخلی غیر قابل دسترس باشد یا وسیله معادل حفاظت بایاس معکوس داشته باشد که نمی‌تواند دچار شکست^۱ شود، روش زیر باید برای انتخاب سلول(های) سایه شده و برای تعیین بدترین شرایط حالت سایه استفاده شود.

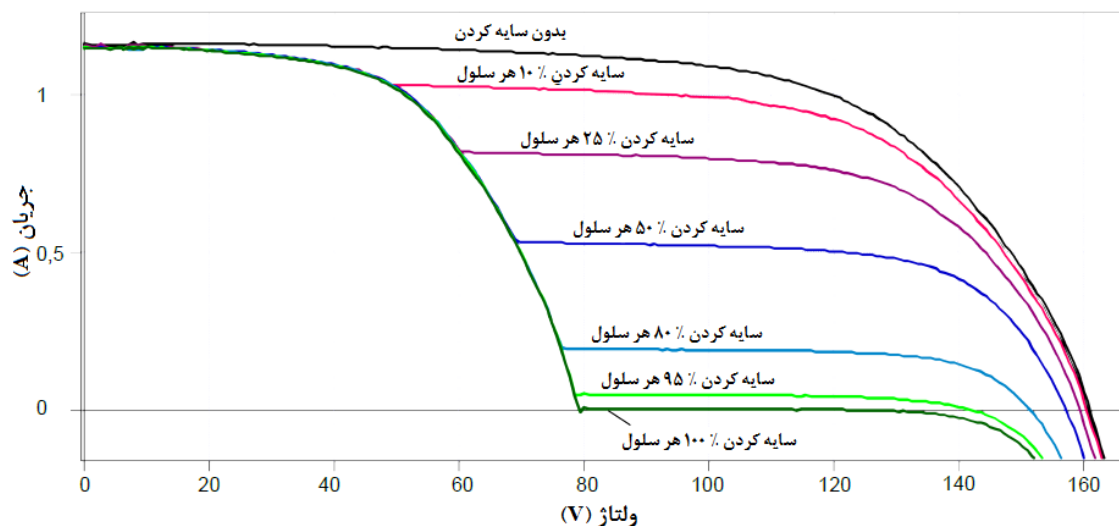
الف- مدول‌های سایه نشده را در معرض منبع تابشی که تابش دهی کل 800 W/m^2 تا 1000 W/m^2 در سطح مدول فراهم می‌کنند قرار دهید. این تابش می‌تواند به صورت زیر انجام شود:

- شبیه‌ساز پالسی که در آن دمای مدول نزدیک دمای اتاق $25 \pm 5^\circ \text{C}$ خواهد بود.

- شبیه‌ساز حالت پایدار که در آن قبل از اندازه‌گیری‌ها، دمای مدول باید در محدوده دمای $5^\circ \text{C} \pm$ تثبیت شود.

- نور خورشید که در آن قبل از اندازه‌گیری‌ها، دمای مدول باید در محدوده دمای $5 \pm ^\circ\text{C}$ تثبیت شود.
- پس از تثبیت حرارت، مشخصه I-V مدول را اندازه‌گیری کنید و جریان توان بیشینه I_{MP1} و توان بیشینه P_{max1} را تعیین کنید.
- ب- هر سلول را به نوبت به‌طور کامل سایه کنید، منحنی I-V حاصل را اندازه‌گیری کنید و مجموعه‌ای از منحنی‌ها را مانند شکل ۷ تهیه کنید.
- در حالت SP، تغییر شکل منحنی I-V مدول، به ناحیه زیربخش موازی کاملاً نوردهی شده منحنی I-V اضافه می‌شود و لذا از V_{oc} شروع نمی‌شود.
- پ- سلول مجاور لبه را که دارای کمترین مقاومت شنت، و سلولی که دارای بیشترین جریان نشی است را انتخاب کنید.
- ت- دو سلول با کمترین مقاومت شنت (علاوه بر سلول انتخاب شده در بخش پ بالا)، که دارای بالاترین جریان نشی هستند را انتخاب کنید.
- ث- سلول با بالاترین مقاومت شنت را انتخاب کنید.
- ج- برای هر سلول انتخاب شده بدترین حالت شرایط سایه را توسط یکی از روش‌های زیر تعیین کنید:
- مجموعه منحنی‌های I-V برای هر سلول آزمون سایه شده در سطوح متفاوت همان گونه که در شکل ۸ نشان داده شده است را ایجاد کنید. بدترین حالت شرایط سایه، که به هنگام عبور جریان از طریق سلول سایه شده (نقطه‌ای که در آن دیود کنارگذر روشن می‌شود) رخ می‌دهد هم‌زمان با I_{MP1} سایه نشده اصلی که در بخش الف تعیین شده است را مانند منحنی بخش پ شکل ۵ تعیین کنید.
- مدول را در معرض منبع تابشی حالت پایدار که تابش‌دهی کل 800 W/m^2 تا 1000 W/m^2 در سطح مدول فراهم می‌کند قرار دهید. به نوبت هر یک از سلول‌های آزمون انتخاب شده را 100% سایه کنید و دمای سلول را با استفاده از دوربین IR اندازه‌گیری کنید. سایه را 10% کاهش دهید. اگر دما 100% کاهش یابد، سایه بدترین حالت را ایجاد می‌کند. اگر دما افزایش یابد یا در همان شرایط باقی بماند، کاهش سایه را 10% ادامه دهید تا دما کاهش یابد. برگردید و از سطح سایه کردن قبلی که بدترین حالت سایه کردن است استفاده کنید.
- چ- سلول انتخاب شده در بخش پ را انتخاب کنید. دوربین IR را برای تعیین داغ‌ترین نقطه روی سلول به هنگامی که سایه 100% است استفاده کنید. سلولی که برای بدترین شرایط بخش ج تعیین شده است را سایه کنید. مدول را اتصال کوتاه کنید. در صورت امکان مطمئن شوید که داغ‌ترین نقطه در ناحیه نوردهی شده است.

- ح- مدول را دوباره در معرض تابش دهی W/m^2 (1000 ± 100) قرار دهید. این آزمون باید در دمای مدول در گستره C (50 ± 10) انجام شود.
- خ- این شرایط را برای زمان کل قرارگیری ۱ h حفظ کنید.
- د- در پایان دوره زمانی، با استفاده از دوربین IR یا آشکارساز مناسب دمایی، داغ‌ترین منطقه را برای سلول سایه شده تعیین کنید.
- ذ- مراحل ج تا د را بر روی دو سلول انتخاب شده دیگر در مرحله ت تکرار کنید.
- ر- سلول انتخاب شده در مرحله ث را انتخاب کنید. سلول را تا بدترین شرایط حالت تعیین شده در بخش ج سایه کنید. مدول را اتصال کوتاه کنید.
- ز- مدول را دوباره در معرض تابش دهی W/m^2 (1000 ± 100) قرار دهید. این آزمون باید در دمای مدول در گستره C (50 ± 10) انجام شود.
- ژ- شرایط را به مدت ۱ h حفظ کنید و دمای سلول سایه شده را پایش کنید. اگر دمای سلول سایه شده در پایان ۱ h هنوز افزایش می‌یابد، در مجموع به مدت ۵ h این شرایط را ادامه دهید.
- س- در پایان دوره زمانی با استفاده از دوربین IR یا آشکارساز مناسب دمایی، داغ‌ترین منطقه را برای سلول سایه شده تعیین کنید.



شکل ۸- مشخصه‌های I-V مدول با سلول آزمون سایه شده در سطوح مختلف که در آن طرح مدول شامل دیودهای کنارگذر است

۴-۹-۵-۳-۵ حالت SP با مدار سلول غیر قابل دسترس و بدون حفاظت بایاس معکوس

اگر مدول نوع سری - موازی (حالت SP) دارای مدار داخلی سلول غیر قابل دسترس باشد ولی دیود کنارگذر داخلی و وسایل معادل حفاظت بایاس معکوس نداشته باشد، برای انتخاب سلول(هایی) که سایه شده‌اند و تعیین بدترین حالت شرایط سایه کردن باید از روش زیر استفاده شود.

مراحل الف تا خ با استفاده از شبیه‌ساز پالسی یا نوردهی ناپیوسته برخلاف شبیه‌ساز حالت پایدار یا نور طبیعی خورشید به بهترین وجه انجام می‌شوند. هنگام تعیین اندازه و مکان سطح سایه شده، استفاده از منبع نور ناپیوسته، پتانسیل آسیب به مدول را قبل از قرار گرفتن طولانی مدت در مراحل خ، د، ذ به حداقل می‌رساند.

الف- استفاده از شبیه‌ساز پالسی یا ناپیوسته در جایی که دمای مدول نزدیک به دمای اتاق $(\pm 5^\circ \text{C})$ خواهد بود، مدول سایه نشده را در معرض منبع تابشی که تابش دهی کل 800 W/m^2 تا 1000 W/m^2 در سطح مدول فراهم می‌کنند قرار دهید. در جایی که دمای مدول باید در محدوده دمای $\pm 5^\circ \text{C}$ تثبیت شود، قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها، به دلخواه می‌توان از شبیه‌ساز حالت پایدار یا نور خورشید استفاده کرد.

ب- وقتی که تثبیت حرارتی حاصل شد، مشخصه I-V مدول را اندازه‌گیری کنید و گستره جریان توان بیشینه $(I_{\min} < I < I_{\max})$ را در $P > 0.99 P_{\max}$ تعیین کنید.

پ- سپس گستره جریان توان بیشینه اعمال شده، I^* ، را طبق رابطه زیر محاسبه کنید:

$$I_{\min} / P + I_{sc} \cdot (P - 1) / P < I^* < I_{\max} / P + I_{sc} \cdot (P - 1) / P$$

که در آن:

P تعداد رشته‌های موازی مدول است.

ت- مدول را اتصال کوتاه کنید و جریان اتصال کوتاه را پایش کنید.

ث- با شروع از یک لبه یک رشته مدول، از پوششی مات برای سایه کردن کامل یک سلول استفاده کنید. پوشش را موازی با سلول‌ها حرکت دهید و سطح مدول سایه شده (تعداد سلول‌های سایه شده) را افزایش دهید تا زمانی که جریان اتصال کوتاه تا گستره جریان توان بیشینه، I^* ، مدول سایه نشده قرار گیرد. در این شرایط، توان بیشینه در گروه انتخاب شده سلول‌ها مصرف می‌شود.

ج- پوشش مات را به اندازه‌ای که به‌طور تجربی به دست آمده است، برش دهید.

چ- پوشش را به آرامی در سراسر مدول حرکت دهید و جریان اتصال کوتاه مدول را پایش کنید. اگر در موقعیت خاصی افت جریان اتصال کوتاه خارج از گستره جریان توان بیشینه، I^* ، مدول سایه نشده

باشد، پوشش را به طور افزایشی از یک سلول برش دهید تا زمانی که دوباره شرایط جریان توان بیشینه حاصل شود. در طی این فرآیند، تابش دهی نباید بیش از $\pm 2\%$ تغییر کند.

ح- مشخصه I-V مدول را مجدداً اندازه‌گیری کنید و توان بیشینه P_{max2} را تعیین کنید.

خ- پوشش را بر روی سطح مدول منتخب قرار دهید و مدول را اتصال کوتاه کنید.

د- مدول را در معرض منبع تابشی حالت پایدار که تابش دهی کل $W/m^2 (100 \pm 1000)$ را در سطح مدول فراهم می‌کند، قرار دهید. این تابش می‌تواند با استفاده از موارد زیر انجام شود:

- شبیه‌ساز حالت پایدار که در آن دمای مدول باید قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها در محدوده دمای $C \pm 5$ تثبیت شود.

- نور خورشید که در آن دمای مدول باید قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها در محدوده دمای $C \pm 5$ تثبیت شود.

این آزمون باید در دمای مدول در گستره $C (10 \pm 50)$ انجام شود.

ذ- مقدار I_{sc} را پایش کنید و مدول را با اطمینان از اینکه I_{sc} در گستره $I(*)$ موجود در مرحله پ است، در شرایط مصرف توان بیشینه حفظ کنید. در صورت لزوم، برای حفظ I_{sc} در محدوده گستره $I(*)$ ، سایه را دوباره تنظیم کنید.

ر- این شرایط را برای زمان کل قرارگیری ۱ h حفظ کنید.

ز- در پایان آزمون دوام، داغ‌ترین سطح سلول‌های سایه شده را با استفاده از دوربین IR یا آشکارساز دمایی مناسب تعیین کنید.

۴-۹-۵-۳-۶ حالت PS

الف- مدول سایه نشده را در معرض منبع تابشی که تابش دهی کل $W/m^2 800$ تا $W/m^2 1000$ را در سطح مدول فراهم می‌کند قرار دهید. این تابش دهی می‌تواند با استفاده از موارد زیر انجام شود:

- شبیه‌ساز پالسی که در آن دمای مدول نزدیک دمای اتاق $C (5 \pm 25)$ خواهد بود.

- شبیه‌ساز حالت پایدار که در آن قبل از اندازه‌گیری‌ها، دمای مدول باید در محدوده دمای $C \pm 5$ تثبیت شود.

- نور خورشید که در آن دمای مدول باید قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها در محدوده دمای $C \pm 5$ تثبیت شود.

پس از تثبیت حرارت، مشخصه I-V مدول را اندازه‌گیری کنید و توان بیشینه P_{max1} را تعیین کنید.

ب- مدول را در معرض منبع تابشی حالت پایدار که تابش دهی کل $W/m^2 (100 \pm 10)$ را در سطح مدول فراهم می‌کند، قرار دهید.

پ- مدول را اتصال کوتاه کنید و دست کم ۱۰٪ بلوک‌های موازی در مدول را به‌طور تصادفی سایه کنید، سطح بلوک را تا زمانی که بیشینه دما با استفاده از تجهیز تصویر برداری یا وسایل مناسب دیگری تعیین شود، به طور افزایشی سایه کنید.

ت- مشخصه I-V مدول غیر سایه را مجدداً اندازه‌گیری کنید و توان بیشینه P_{max} را تعیین کنید.
ث- سایه به‌دست آمده در بخش پ را اعمال کنید و این شرایط را برای زمان کل قرارگیری ۱ h حفظ کنید.

۴-۹-۶ اندازه‌گیری‌های نهایی

آزمون‌های MQT 01، MQT 02، MQT 03 و MQT 15 را گزارش کنید.

۴-۹-۷ الزامات

الف- همان گونه که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است هیچ گونه شواهدی از نقص‌های عمده دیداری، به خصوص مشاهده نشانه‌هایی از لحیم‌کاری، روزنه‌هایی در محفظه، نقاط لایه لایه شده و سوخته مجاز نیست. اگر شواهدی وجود دارد که آسیب‌های جدی، واجد شرایط نقص عمده دیداری نمی‌باشد، آزمون را بر روی دو سلول اضافی از همان مدول تکرار کنید. در صورتی که نقص دیداری در هیچ‌کدام از دو سلول وجود نداشته باشد، مدول نوعی در آزمون نقطه داغ قبول است.

ب- تصدیق کنید که مدول، مشخصه‌های الکتریکی افزاره فتوولتاییک در حال کار را نشان می‌دهد.
MQT 02 الزامات قبولی/مردودی برای تلفات توان نیست.

پ- مقاومت عایقی باید همان الزامات اندازه‌گیری‌های اولیه را برآورده کند.

ت- جریان نشتی تر باید همان الزامات اندازه‌گیری‌های اولیه را برآورده کند.

ث- هر گونه خرابی ناشی از تعیین بدترین حالت سایه باید در گزارش آزمون مورد توجه قرار گیرد.

۴-۱۰ آزمون پیش آماده‌سازی UV (MQT 10)

۴-۱۰-۱ هدف

پیش آماده‌سازی مدول با تابش فرا بنفش (UV) قبل از آزمون‌های چرخه حرارتی/یخ‌زدگی رطوبت جهت شناسایی مواد و خطوط چسب آنها که در برابر UV افت کیفی پیدا می‌کنند.

۴-۱۰-۲ دستگاه

الف- اتاقک آزمون با دمای کنترل شده با پنجره یا اسباب منبع نور UV و مدول(های) تحت آزمون. اتاقک باید قادر به حفظ دمای مدول در دمای $C^{\circ} (5 \pm 60)$ باشد.

ب- وسیله‌ای برای پایش دمای مدول با درستی $C^{\circ} 0.5 \pm$ و تکرارپذیری $C^{\circ} 0.5 \pm$ حسگرهای دما باید به تقریباً وسط سطح جلویی و عقبی مدول بدون ممانعت از برخورد نور UV بر روی سلول‌های فعال داخل مدول متصل شوند. در صورتی که بیش از یک مدول به‌طور هم‌زمان آزمون شود، پایش دمای یک نمونه نماینده کافی خواهد بود.

پ- ابزار دقیق قادر به اندازه‌گیری تابش نور UV تولید شده توسط منبع نور UV در صفحه آزمون مدول(ها)، در گستره طول موج $nm 280$ تا $nm 320$ و $nm 320$ تا $nm 400$ با عدم قطعیت $\% 15 \pm$ یا بهتر.

ت- منبع نور UV قادر به تولید تابش UV با یکنواختی تابش $\% 15 \pm$ بر روی صفحه آزمون مدول(ها) بدون تابش قابل ملاحظه در طول موج‌های زیر $nm 280$ و قادر به فراهم نمودن تابش کامل لازم در مناطق طیفی مختلف مورد نظر تعریف شده در زیربند ۴-۱۰-۳.

ث- برای منابع نور با مقدار طیفی ناچیز در گستره قابل مشاهده، مدول باید اتصال کوتاه شود. به‌جای آن مدول را می‌توان به بار با اندازه‌ای وصل کرد که مدول در نزدیکی نقطه توان بیشینه عمل کند. حالت دوم برای انتشار بخش قابل توجهی از نور منابع نوری در طیف مرئی که مدول حاوی توان برابر با یا بیشتر از $\% 20$ توان اندازه‌گیری شده STC آن باشد، توصیه می‌شود.

۴-۱۰-۳ روش اجرایی

الف- با استفاده از پرتوسنج واسنجی شده (کالیبره شده)، تابش در صفحه آزمون مدول مورد نظر را اندازه‌گیری کنید و اطمینان حاصل کنید که در طول موج‌های بین $nm 280$ و $nm 400$ ، تابش‌دهی از $W/m^2 250$ بیشتر نشود (به‌عنوان مثال حدود پنج برابر سطح نور خورشید طبیعی) و دارای یکنواختی $\% 15 \pm$ بیش‌تر از صفحه آزمون باشد.

ب- در صورت استفاده از دستگاه مطابق با تعریف بخش ۴-۱۰-۲، مدول را اتصال کوتاه کنید یا بار مقاومتی را به مدول متصل کنید و آن را در صفحه آزمون در مکان انتخاب شده در بخش الف، عمود بر پرتو تابش UV قرار دهید. اطمینان حاصل کنید که حسگرهای دمای مدول $C^{\circ} (5 \pm 60)$ را می‌خواند.

پ- وجه جلویی مدول(ها) را در معرض تابش دهی UV کل دست کم 15 kWh/m^2 قرار دهید که دست کم ۳٪ گستره طول موج بین ۲۸۰ nm و ۴۰۰ nm و حداکثر ۱۰٪ آن در باند طول موج بین ۲۸۰ nm و ۳۲۰ nm باشد، تا موقعی که دمای مدول در گستره تعیین شده حفظ شود.

۴-۱۰-۴ اندازه گیری های نهایی

آزمون های MQT 01 و MQT 15 را تکرار کنید.

۴-۱۰-۵ الزامات

الف- هیچ گونه شواهدی از نقص های عمده دیداری وجود نداشته باشد همان طوری که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است.

ب- جریان ناشی تر باید همان الزامات اندازه گیری های اولیه را برآورده کند.

۴-۱۱-۱۱ آزمون چرخه حرارتی (MQT 11)

۴-۱۱-۱۱-۱ هدف

تعیین توانایی مدول برای تحمل عدم تطابق حرارتی، خستگی و سایر تنش های ناشی از تغییرات مکرر دمایی است.

۴-۱۱-۱۱-۲ دستگاه

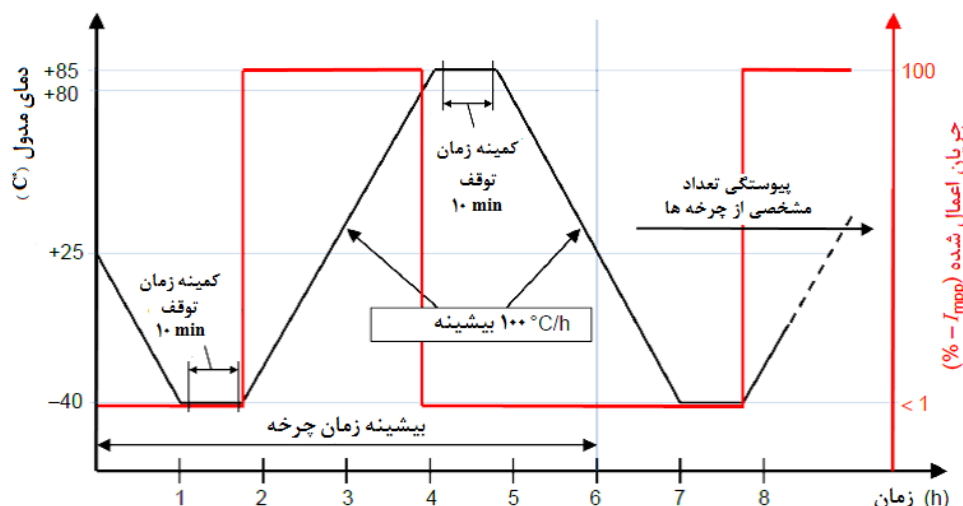
الف- اتاقک آب و هوایی با کنترل خودکار دما با وسیله ای برای گردش هوا در داخل اتاقک و وسیله ای برای کمینه کردن تراکم هوا بر روی مدول در مدت آزمون که قادر به قرار گرفتن یک یا چند مدول برای چرخه حرارتی شکل ۹ باشد.

ب- وسیله ای برای نصب و نگهداری مدول(ها) در اتاقک، به گونه ای که اجازه دهد هوای اطراف به طور آزادانه گردش کند. هدایت حرارتی وسیله نصب و نگهداری باید کم باشد، طوری که، برای مقاصد عملی، مدول(ها) از نظر حرارتی جدا باشند.

پ- ابزار اندازه گیری با درستی $\pm 0.2^\circ\text{C}$ و تکرارپذیری $\pm 0.5^\circ\text{C}$ برای اندازه گیری و ثبت دمای مدول(ها).

پ- وسیله ای برای اعمال جریان پیوسته. مقدار جریان در قسمت های خاص فن آوری این استاندارد تعریف شده است.

ت- وسیله ای برای پایش شار جریان از میان هر مدول در مدت آزمون.



شکل ۹- آزمون چرخه حرارتی - نیمرخ^۱ دما و جریان اعمال شده

۳-۱۱-۴ روش اجرایی

الف - حسگر دمای مناسب را در نزدیکی مرکز سطح جلویی و عقبی مدول (ها) متصل کنید. اگر بیش از یک مدول با نوع یکسان به طور همزمان آزمون می‌شوند، پایش دمای یک نمونه نماینده کافی است.

ب - مدول (ها) را در دمای اتاق در اتاقک نصب کنید.

پ - تجهیز پایش دما را به حسگر (های) دما متصل کنید. هر مدول را با اتصال پایانه مثبت مدول به پایانه مثبت منبع تغذیه و پایانه دوم را نیز به همین صورت به منبع جریان مناسب متصل کنید. در طی آزمون چرخه حرارتی، شار جریان پیوسته را در طول چرخه افزایش دما تا جریان مشخص شده فن‌آوری در زیربند ۴-۱۱-۲ در دمای 40°C تا 80°C تنظیم کنید. در طول خنک‌سازی، جریان پیوسته فاز توقف 40°C و در دمای بالای 80°C باید به کمتر از ۱۰٪ جریان توان اوج STC اندازه‌گیری شده برای اندازه‌گیری پیوستگی کاهش یابد. در پایین‌ترین دما، اگر دما خیلی سریع افزایش یابد (بیشتر از 100°C/h) تا رسیدن دما به 20°C شار جریان می‌تواند با تاخیر شروع شود.

ت - اتاقک را ببندید و مطابق با نیمرخ شکل ۹ مدول (ها) را برای چرخه‌گذاری دمای مدول اندازه‌گیری شده بین دمای $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و دمای $85 \pm 2^{\circ}\text{C}$ قرار دهید.

نرخ تغییر دما بین دو نقطه پایین و بالا نباید از 100°C/h فراتر رود و دمای مدول در هر نقطه باید برای دوره دست‌کم ۱۰ min ثابت بماند. زمان چرخه نباید از ۶ h فراتر رود مگر اینکه مدول دارای ظرفیت حرارتی بالایی باشد که در این صورت چرخه دیگری مورد نیاز است. تعداد چرخه‌ها باید به صورت نشان داده شده در توالی مربوط در شکل ۱ ملی ایران شماره ۱-۱۱۸۸۱ باشد. چرخش هوای

اطراف مدول باید شرایط هر مدول تحت آزمون را برآورده سازد و با نیم‌رخ چرخه دمایی آن انطباق داشته باشد.

ث- در طول آزمون، دمای مدول را ثبت کنید و شار جریان از طریق مدول(ها) را پایش کنید.

یادآوری- در یک مدول با مدارهای موازی، مدار باز در یک شاخه موجب ناپیوستگی در ولتاژ خواهد شد که موجب صفر شدن جریان نمی‌شود.

۴-۱۱-۴ اندازه‌گیری‌های نهایی

تحت شرایط مدار باز، پس از مدت زمان کمینه بازیابی ۱ h در $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ و رطوبت نسبی کمتر از ۷۵٪ آزمون‌های MQT 01 و MQT 15 را تکرار کنید.

۴-۱۱-۵ الزامات

الف- شار جریان در مدت آزمون بدون وقفه باشد؛ در حالت مدول با مدارهای موازی، ناپیوستگی در شار جریان بیانگر وقفه شار در یکی از مدارهای موازی می‌باشد.

ب- هیچ گونه شواهدی از نقص‌های عمده دیداری وجود نداشته باشد همان طوری که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است.

پ- جریان نشنی تر باید همان الزامات اندازه‌گیری‌های اولیه را برآورده کند.

۴-۱۲ آزمون یخ زدگی رطوبت (MQT 12)

۴-۱۲-۱ هدف

تعیین توانایی مدول برای تحمل تاثیرات دما و رطوبت بالا که با دمای زیر صفر دنبال می‌شود. این آزمون شوک دمایی نیست.

۴-۱۲-۲ دستگاه

الف- اتاقک آب و هوایی با کنترل خودکار دما و رطوبت که قادر به قرار گرفتن یک یا چند مدول برای چرخه یخ‌زدگی رطوبت مشخص شده در شکل ۱۰ باشد.

ب- وسیله‌ای برای نصب و نگهداری مدول(ها) در اتاقک، به گونه‌ای که اجازه دهد هوای اطراف به‌طور آزادانه گردش کند. هدایت حرارتی وسیله نصب و نگهداری باید کم باشد، طوری که، برای مقاصد عملی، مدول(ها) از نظر حرارتی جدا باشند.

پ- ابزار اندازه‌گیری با درستی $\pm 0.2^\circ\text{C}$ و تکرارپذیری $\pm 0.5^\circ\text{C}$ برای اندازه‌گیری و ثبت دمای مدول(ها).

ت - وسیله‌ای برای پایش پیوستگی مدار داخلی هر مدول در مدت آزمون.

۴-۱۲-۳ روش اجرایی

الف - حسگر دمای مناسب را در نزدیکی مرکز سطح جلویی و عقبی مدول(ها) متصل کنید. اگر بیش از یک مدول با نوع یکسان به طور همزمان آزمون می‌شوند، پایش دمای یک نمونه نماینده کافی است.

ب - مدول(ها) را در دمای اتاق در اتاقک نصب کنید.

پ - تجهیز پایش دما را به حسگر(های) دما متصل کنید. هر مدول را با اتصال پایانه مثبت مدول به پایانه مثبت منبع تغذیه و پایانه دوم را نیز به همین صورت به منبع جریان مناسب متصل کنید. در طی آزمون آزمون یخ‌زدگی رطوبت مجموع شار جریان مداوم، به کمتر از 0.5% جریان توان اوج STC اندازه‌گیری شده کاهش یابد.

ت - بعد از بستن اتاقک، مدول(ها) را به تعداد چرخه‌های تعریف شده در توالی پ شکل ۱ استاندارد IEC 61215-1:2016 به صورت نشان داده شده در شکل ۱۰ قرار دهید. بیشینه و کمینه دماها باید در $20^{\circ}\text{C} \pm$ سطوح مشخص شده باشد و وقتی که دما در مقدار بیشینه 85°C است رطوبت نسبی باید در محدوده $5\% \pm$ مقدار مشخص شده باشد. چرخش هوای اطراف مدول باید شرایط هر مدول تحت آزمون را برآورده سازد و با نیم‌رخ چرخه دمایی آن انطباق داشته باشد.

ث - در طول آزمون، دمای مدول را ثبت کنید و جریان و ولتاژ عبوری از مدول(ها) را پایش کنید.

۴-۱۲-۴ اندازه‌گیری‌های نهایی

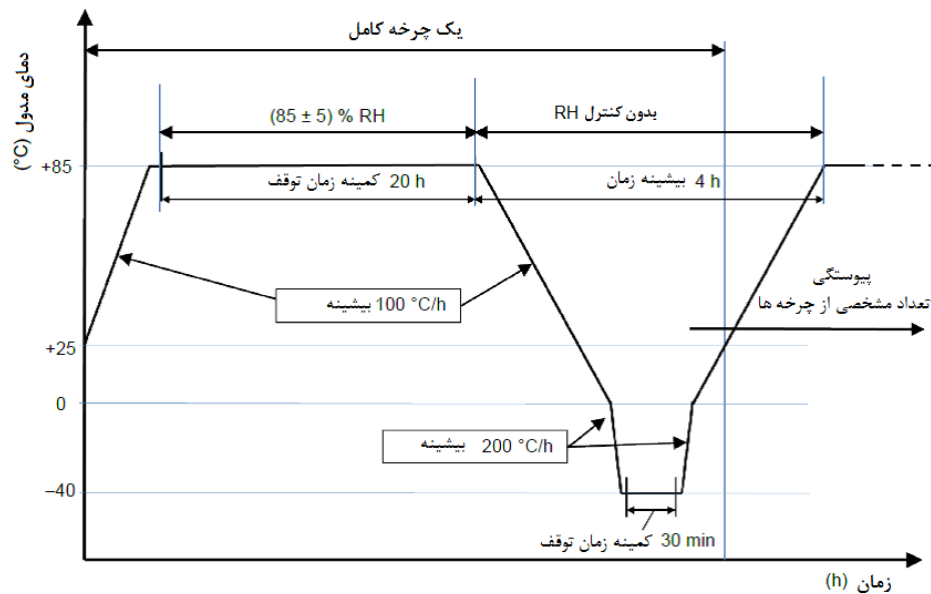
تحت شرایط مدار باز، بعد از مدت زمان بازیابی بین ۲ h و ۴ h در $20^{\circ}\text{C} (\pm 2)$ و رطوبت نسبی کمتر از 75% آزمون‌های MQT 01 و MQT 15 را تکرار کنید.

۴-۱۲-۵ الزامات

الف - شار جریان در مدت آزمون بدون وقفه باشد؛ در حالت مدول با مدارهای موازی، ناپیوستگی در شار جریان بیانگر وقفه شار در یکی از مدارهای موازی می‌باشد.

ب - هیچ گونه شواهدی از نقص‌های عمده دیداری وجود نداشته باشد همان طوری که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است.

پ - جریان نشتی تر باید همان الزامات اندازه‌گیری‌های اولیه را برآورده کند.



شکل ۱۰- چرخه یخ زدگی رطوبت - نیم رخ دما و رطوبت

۱۳-۴ آزمون گرمانم (MQT 13)

۱-۱۳-۴ هدف

تعیین توانایی مدول برای تحمل در برابر اثرات نفوذ طولانی مدت رطوبت است.

۲-۱۳-۴ روش اجرایی

آزمون باید مطابق با استاندارد IEC 60068-2-78 با ملاحظات زیر انجام شود:

سخت گیری ها:

سخت گیری های زیر اعمال می شود:

دمای آزمون: $(85 \pm 2) ^\circ\text{C}$

رطوبت نسبی: $(85 \pm 5) \%$

مدت آزمون: $\left(1000 \dots 10000 \right) \text{ h}$

۳-۱۳-۴ اندازه گیری های نهایی

تحت شرایط مدار باز، بعد از مدت زمان بازیابی بین ۲ h و ۴ h در $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ و رطوبت نسبی کمتر از ۷۵٪ آزمون های MQT 01 و MQT 15 را تکرار کنید.

۴-۱۳-۴ الزامات

الف- هیچ گونه شواهدی از نقص های عمده دیداری وجود نداشته باشد همان طوری که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است.

ب- جریان نشتی تر باید همان الزامات اندازه گیری های اولیه را برآورده کند.

۴-۱۴-۴ استحکام پایان دهی ها^۱ (MQT 14)

۴-۱۴-۴ هدف

تعیین این که پایان دهی ها، متعلقات پایان دهی ها و متعلقات کابل های متصل به بدنه مدول، تنش هایی را که احتمال دارد به هنگام هم گذاری^۲ عادی یا عملیات جابه جایی اعمال شود تحمل خواهند کرد. آزمون زیربند ۴-۱۴-۴ (MQT 14-1) و آزمون زیربند ۴-۱۴-۳ (MQT 14-2) بعد از MQT 12 در توالی پ که توسط نمودار آزمون استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است انجام می شود.

۴-۱۴-۴ نگهداری جعبه اتصال بر روی سطح نصب

۴-۱۴-۴-۱-۲ دستگاه

وسیله ای برای اعمال نیروی N ۴۰ به مرکز شیء آزمون. از اعمال گشتاور به جعبه اتصال جلوگیری کنید. الصاق وسیله ای برای اعمال نیرو به جعبه اتصال نباید به کارکرد آن آسیب برساند.

۴-۱۴-۴-۲ روش اجرایی

آزمون باید ۲ h تا ۴ h بعد از اتمام MQT 12 انجام شود.

نیروی N ۴۰ باید به تدریج به مدت $s (1 \pm 10)$ (مطابق با استاندارد IEC 60068-2-21) در جهات موازی سطح نصب با گام های 90° به موازات لبه های مدول اعمال شود.

نیروی N ۴۰ باید به تدریج به مدت $s (1 \pm 10)$ بدون تکان ناگهانی، در جهت عمود بر سطح نصب اعمال شود.

نیروی کشش بهتر است در نقطه مرکزی جعبه اعمال شود.

۴-۱۴-۴-۳ اندازه گیری های نهایی

آزمون های MQT 01 و MQT 15 را تکرار کنید.

1- Terminations
2- Assembly

۴-۱۴-۲-۴ الزامات

در طول آزمون، نباید جابه‌جایی جعبه اتصال در سطح نصب رخ دهد که منجر به آسیب مشخصه‌های جداسازی شود.

الف - هیچ گونه شواهدی از نقص‌های عمده دیداری وجود نداشته باشد همان طوری که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است.

ب - جریان ناشی تر باید همان الزامات اندازه‌گیری‌های اولیه را برآورده سازد.

۴-۱۴-۳ آزمون تکیه‌گاه کابل رابط (MQT 14-2)

۴-۱۴-۳-۱ کلیات

اگر جعبه اتصال مطابق با استاندارد IEC 62790 احراز شرایط شده باشد، این آزمون می‌تواند حذف شود.

۴-۱۴-۳-۲ روش اجرایی و دستگاه‌ها

۴-۱۴-۳-۲-۱ جعبه‌های اتصال مورد نظر برای استفاده با کابل‌های مشخص شده توسط سازنده

برای جعبه‌های اتصال مورد نظر برای استفاده با کابل‌های مشخص شده توسط سازنده، آزمون‌ها باید با کابل‌های ارائه شده توسط سازنده انجام شود.

الف - آزمون کشش

کابل بدون بار باید طوری نشانه‌گذاری شود که هر جابه‌جایی نسبت به گلند بتواند به آسانی شناسایی شود. کابل به مدت ۱ s، به تعداد ۵۰ بار بدون تکان‌های ناگهانی در جهت محور با نیروی مربوط مشخص شده در جدول ۱ کشیده می‌شود. به شکل ۱۱ مراجعه شود.

در پایان آزمون کشش، نیرو را از سنبه آزمون^۱ حذف کنید. سپس جابه‌جایی کابل را در خروجی جعبه اتصال اندازه‌گیری کنید.

ب - آزمون گشتاور

بعد از آزمون کشش، اقلام مورد آزمون باید در دستگاه آزمون برای آزمون گشتاور نصب شود. به شکل ۱۲ مراجعه شود.

کابل بدون بار باید طوری نشانه‌گذاری شود که هر پیچش نسبت به گلند بتواند به آسانی شناسایی شود، و سپس گشتاور مشخص شده در جدول ۲ باید به مدت ۱ min اعمال شود.

1- Test Mandrel

در مدت آزمون، تابیدگی یا پیچشی که در داخل گلند کابل یا سایر تکیه‌گاه‌های کابل رابط رخ می‌دهد، نباید از ۴۵° بیشتر شود. کابل باید در موقعیت خود توسط تکیه‌گاه کابل رابط نگه داشته شود.

جدول ۱- نیروهای کشش برای آزمون تکیه‌گاه کابل رابط

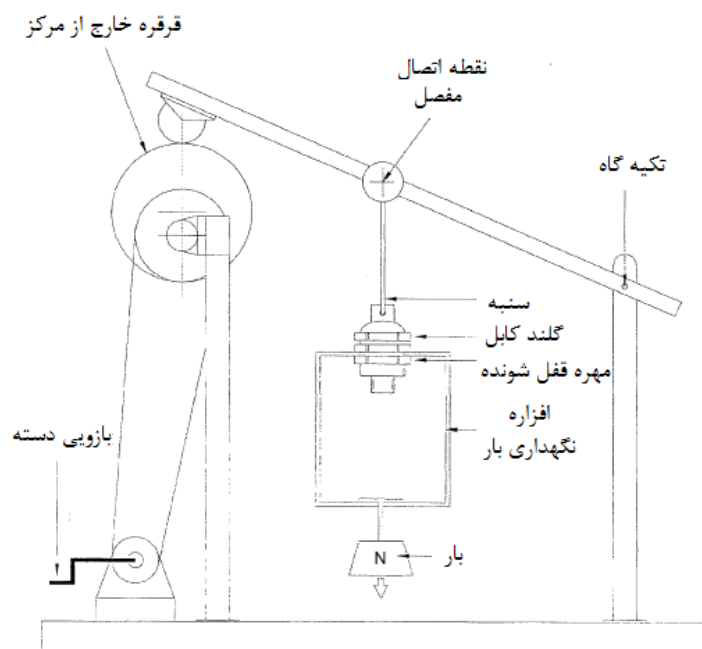
قطر کابل با عایق در صورت کاربرد mm	نیروی کشش N	کمینه ضخامت روکش سنجه آزمون mm
بزرگتر از ۴	۳۰	۱ ^a
بزرگتر از ۴ تا ۸	۳۰	۱
بزرگتر از ۸ تا ۱۱	۴۲	۲
بزرگتر از ۱۱ تا ۱۶	۵۵	۲
بزرگتر از ۱۶ تا ۲۳	۷۰	۲
بزرگتر از ۲۳ تا ۳۱	۸۰	۲
بزرگتر از ۳۱ تا ۴۳	۹۰	۲
بزرگتر از ۴۳ تا ۵۵	۱۰۰	۲
بزرگتر از ۵۵	۱۱۵	۲

^a برای قطرهای کابل تا ۴ mm، سنجه غیر فلزی مناسب می‌تواند استفاده شود.

جدول ۲- مقادیر آزمون پیچش

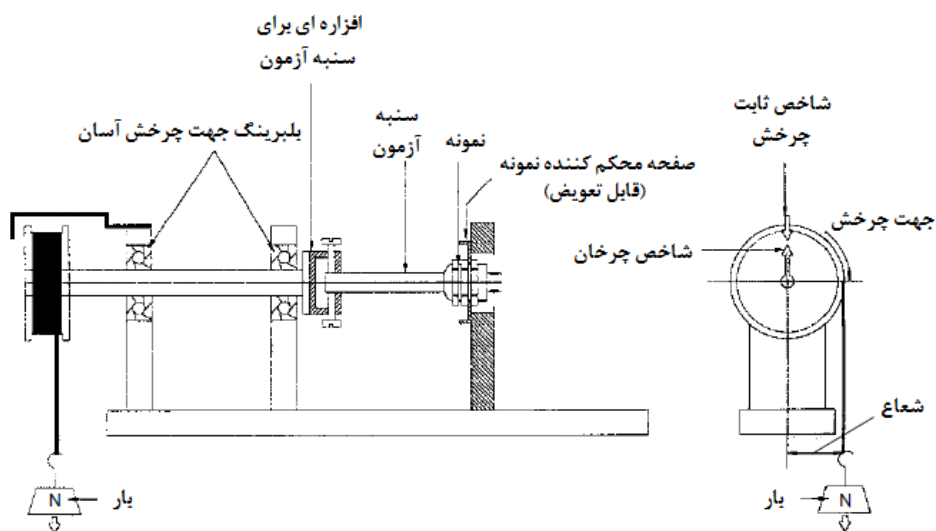
قطر کابل با عایق در صورت کاربرد mm	گشتاور Nm	کمینه ضخامت روکش سنجه آزمون mm
بزرگتر از ۴	۰٫۱۰	۱
بزرگتر از ۴ تا ۸	۰٫۱۰	۱
بزرگتر از ۸ تا ۱۱	۰٫۱۵	۲
بزرگتر از ۱۱ تا ۱۶	۰٫۳۵	۲
بزرگتر از ۱۶ تا ۲۳	۰٫۶۰	۲
بزرگتر از ۲۳ تا ۳۱	۰٫۸۰	۲
بزرگتر از ۳۱ تا ۴۳	۰٫۹۰	۲

۲	۱/۰۰	بزرگتر از ۴۳ تا ۵۵
۲	۱/۲۰	بزرگتر از ۵۵



یادآوری - چیدمان آزمون مدول، بستگی به ساختمان مدول دارد.

شکل ۱۱- چیدمان نوعی برای آزمون کشش تکیه گاه کابل رابط برای آزمون کردن اجزاء



شکل ۱۲- چیدمان نوعی برای آزمون پیچش

۴-۱۴-۳-۲ جعبه‌های اتصال مورد نظر برای استفاده با کابل‌های عمومی

برای کمینه کردن مقدار گستره تکیه‌گاه گلند کابل مشخص شده توسط سازنده یا تامین کننده، سنبه آزمونی معادل با ضخامت روکش مشخص شده در جدول ۱ باید به نمونه بسته شود.

کابل بدون بار باید طوری نشانه‌گذاری شود که هر جابه‌جایی نسبت به گلند بتواند به آسانی شناسایی شود. کابل به مدت ۱ s، به تعداد ۵۰ بار بدون تکان‌های ناگهانی در جهت محور با نیروی مربوط مشخص شده در جدول ۱ کشیده می‌شود. به شکل ۱۱ مراجعه شود.

در پایان آزمون کشش، نیرو را از سنبه آزمون حذف کنید. سپس جابه‌جایی کابل را در خروجی جعبه اتصال اندازه‌گیری کنید.

سنبه‌های آزمون باید شامل میله فلزی با روکش الاستومری با درجه سختی $10 \pm \text{Shore D}$ مطابق با استاندارد ISO 868 و ضخامت روکش مشخص شده در جدول ۱ یا جدول ۲ باشد، مگر این که طور دیگری مشخص شده باشد. سنبه کامل آزمون باید دارای رواداری $0.2 \pm \text{mm}$ برای سنبه‌های با قطر تا ۱۶ mm و $0.3 \pm$ برای سنبه‌های با قطر بزرگ‌تر از ۱۶ mm باشد. شکل آن باید دایره‌ای یا نیم‌رخ شبیه‌سازی شده بعد بیرونی کابل همان طوری که توسط سازنده یا تامین کننده مشخص شده است، باشد.

بعد از آزمون کشش، اقلام مورد آزمون باید در دستگاه آزمون برای آزمون گشتاور نصب شود. به شکل ۱۲ مراجعه شود.

کابل بدون بار باید طوری نشانه‌گذاری شود که هر پیچش نسبت به گلند بتواند به آسانی شناسایی شود، و سپس گشتاور مشخص شده در جدول ۲ باید به مدت ۱ min اعمال شود.

در مدت آزمون، تابیدگی یا پیچشی که در داخل گلند کابل یا سایر تکیه‌گاه‌های کابل رابط رخ می‌دهد، نباید از 45° بیشتر شود. کابل باید در موقعیت خود توسط تکیه‌گاه کابل رابط نگه داشته شود.

آزمون پیچش باید با استفاده از سنبه آزمون معادل با بیشینه مقدار گستره تکیه‌گاه گلند کابل که توسط سازنده یا تامین کننده مشخص شده است، با گشتاوری مناسب با بیشینه قطر کابل مشخص شده در جدول ۲ انجام شود.

۴-۱۴-۳-۳ اندازه‌گیری‌های نهایی

آزمون‌های MQT 01، MQT 03 و MQT 15 را تکرار کنید.

۴-۱۴-۳-۴ الزامات

الف- همان طوری که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است هیچ گونه شواهدی از نقص‌های عمده دیداری وجود نداشته باشد.

- ب- آزمون عایقی باید همان الزامات اندازه‌گیری‌های اولیه را برآورده نماید.
- پ- جریان نشتی تر باید همان الزامات اندازه‌گیری‌های اولیه را برآورده نماید.
- ت- جابه‌جایی کابل در خروجی جعبه اتصال نباید از ۲ mm بیشتر باشد.

۴-۱۵ آزمون جریان نشتی تر (MQT 15)

۴-۱۵-۱ هدف

ارزیابی عایق مدول تحت آزمون شرایط عملیاتی تر است و تصدیق اینکه رطوبت ناشی از باران، مه، شبنم یا برف ذوب شده به قسمت‌های برق‌دار مدار مدول وارد نمی‌شود که موجب خوردگی، خطای اتصال زمین یا خطر ایمنی شود.

۴-۱۵-۲ دستگاه

الف- تشتک یا مخزن کم عمق با اندازه مناسب برای اینکه قادر سازد مدول با قاب به صورت تخت و افقی در محلول قرار داده شود. تشتک یا مخزن کم عمق باید حاوی محلول آب/ ماده تر کننده کافی برای تر کردن سطوح مدول تحت آزمون باشد و الزامات زیر را برآورده نماید:

رسانایی: $3500 \Omega/\text{cm}$ یا کمتر

دمای محلول: $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$

عمق محلول باید به اندازه‌ای باشد که کل سطوح به‌جز ورودی‌های جعبه اتصال که برای غوطه‌وری طراحی نشده است را پوشش دهد.

ب- افشانه حاوی همان محلول، چنانچه سراسر جعبه اتصال غوطه‌ور نشود.

پ- منبع ولتاژ DC، با جریان محدود، قادر به اعمال 500 V یا بیشینه ولتاژ اسمی سامانه مدول، هر کدام که بیشتر است.

ت- ابزاری برای اندازه‌گیری مقاومت عایقی.

۴-۱۵-۳ روش اجرایی

تمام اتصالات باید بیان‌گر نصب سیم‌کشی میدانی توصیه شده باشد و اقدامات احتیاطی باید انجام شود تا اطمینان حاصل شود که جریان‌های نشتی، ناشی از سیم‌کشی ابزار دقیق متصل شده به مدول نیست.

الف- مدول را در مخزن محلول مورد نیاز تا عمق مناسب غوطه‌ور کنید تا تمام سطوح به‌جز ورودی‌های جعبه اتصال که برای غوطه‌وری طراحی نشده است را پوشش دهد. چنانچه غوطه‌ور نشود، ورودی‌های

کابل باید به طور کامل با محلول پاشش^۱ شود. اگر مدول با اتصال دهنده جفت شونده ارائه شده است، بهتر است اتصال دهنده در طول آزمون مورد پاشش قرار گیرد.

ب- پایانه‌های خروجی اتصال کوتاه شده مدول را به پایانه مثبت تجهیز آزمون متصل کنید. محلول آزمون مایع را با استفاده از اتصال دهنده فلزی مناسب به پایانه منفی تجهیز آزمون متصل کنید.

بعضی از فناوری‌های مدول ممکن است حساس به قطبش ایستا باشند، چنانچه مدول در ولتاژ مثبت نسبت به قاب نگه داشته شود. در این حالت، اتصال دستگاه آزمون کننده باید برعکس این مطلب انجام شود. در صورت کاربرد، اطلاعات با توجه به حساسیت به قطبش ایستا باید توسط سازنده ارائه شود.

پ- ولتاژ اعمال شده به تجهیز آزمون را با نرخ کمتر از 500 V/s تا 500 V یا بیشینه ولتاژ سامانه مدول، هر کدام که بزرگ‌تر است افزایش دهید. ولتاژ را به مدت 2 min در این سطح نگه دارید. سپس مقاومت عایقی را تعیین کنید.

ت- ولتاژ اعمال شده را به صفر کاهش دهید و پایانه‌های تجهیز آزمون را برای تخلیه ولتاژ ایجاد شده در مدول اتصال کوتاه کنید.

ث- اطمینان حاصل کنید که مدول مورد استفاده قبل از ادامه آزمون، به خوبی با محلول شسته شده است.

۴-۱۵-۴ الزامات

- برای مدول‌های با سطح کمتر از 0.1 m^2 ، مقاومت عایقی نباید کمتر از $400 \text{ M}\Omega$ باشد.
- برای مدول‌های با سطح بیشتر از 0.1 m^2 ، دفعات مقاومت عایقی اندازه‌گیری شده ضرب در مدول نباید کمتر از $40 \text{ M}\Omega \cdot \text{m}^2$ باشد.

۴-۱۶ آزمون بار مکانیکی ایستا (MQT 16)

۴-۱۶-۱ هدف

هدف از این آزمون تعیین توانایی مدول برای تحمل کمینه بار ایستا است.

الزامات اضافی ممکن است برای تاسیسات و آب و هوای خاص اعمال شود.

MQT 16 کمینه بارهای آزمون را تایید می‌کند. تعیین کمینه بار طراحی ممکن، به عنوان مثال برای آزمون-تا-خرابی ساختمان، بخشی از این استاندارد نیست. کمینه بار طراحی مورد نیاز وابسته به ساختمان، استانداردهای کاربردی و مکان/آب و هوا خواهد بود و ممکن است نیاز به نمونه‌برداری بیشتر و عوامل ایمنی γ_m باشد.

¹ - Spray

MQT 16 بار طراحی تعریف شده سازنده را تایید می کند. بار آزمون به صورت زیر تعیین می شود:

$$\text{بار طراحی} \times \gamma_m = \text{بار آزمون}$$

که γ_m دست کم بزرگتر یا مساوی ۱٫۵ است. کمینه بار طرح مورد نیاز در این استاندارد، Pa ۶۰۰ است که منجر به کمینه بار آزمون Pa ۴۰۰ می شود.

سازنده ممکن است بار(های) طراحی بزرگتری را برای مثبت (رو به پایین) و منفی (رو به بالا) و نیز γ_m بزرگتری برای کاربردهای خاص مشخص کند. برای هر روش نصب، بار(های) طراحی و γ_m در مستندات سازنده مشخص می شود.

مثال: سازنده بارهای طراحی زیر را مشخص می کند: Pa ۳۶۰۰ مثبت و Pa ۲۴۰۰ منفی با $\gamma_m = ۱٫۵$. توالی آزمون شامل سه چرخه که هر کدام در بارگذاری Pa ۵۴۰۰ مثبت و Pa ۳۶۰۰ منفی اجرا خواهد شد.

هر مدول تحت آزمون MQT 16 باید با توالی ث استاندارد IEC 61215-1 پیش آزمون شود.

یادآوری- بارهای برفی ناهمگن توسط این آزمون پوشش داده نمی شوند. استاندارد برای این گونه بارها (IEC 62938) در دست تدوین است.

۴-۱۶-۲ دستگاه

الف- پایه آزمون صلب که مدول ها را قادر می سازد تا رو به بالا یا رو به پایین نصب شوند. پایه آزمون باید مدول را قادر سازد به طور آزادانه در مدت اعمال بار با توجه به محدوده بازه روش نصب پیشنهاد شده سازندگان منحرف شود.

ب- ابزار دقیق برای پایش پیوستگی الکتریکی مدول در مدت آزمون.

پ- وزنه ها یا وسایل فشار مناسب که قادر می سازد تا بار به طور تدریجی به طور یکنواخت اعمال شود.

ت- شرایط محیطی برای انجام آزمون ها دمای $^{\circ}\text{C} (5 \pm 25)$ است.

یادآوری- از آنجا که اغلب چسب ها با بالا بردن دما بدتر عمل خواهند کرد، دمای اتاق بهترین شرایط برای آزمون در نظر گرفته می شود.

۴-۱۶-۳ روش اجرایی

الف- مدول را طوری تجهیز کنید که پیوستگی الکتریکی مدار داخلی را بتوان در طول آزمون به طور مداوم پایش کرد.

ب- مدول را با استفاده از روش پیشنهاد شده توسط سازنده شامل وسایل نصب (گیره ها/بستها و هر نوع محکم کننده) و ریل های نگهدارنده زیرین، بر روی ساختار صلب نصب کنید. اگر احتمالات نصب مختلفی وجود دارد، هر یک از روش نصب مورد نیاز را به طور جداگانه ارزیابی کنید. برای تمام

روش‌های آزمون، مدول را به شیوه‌ای نصب کنید که در آن فاصله بین نقاط ثابت بدترین حالت باشد، که بدترین حالت معمولاً در بیشینه فاصله است. قبل از اعمال بار اجازه دهید مدول‌ها به مدت کمینه ۲ h بعد از MQT 13 به تعادل برسند.

پ- بار آزمون را بر روی سطح جلویی، به‌طور تدریجی و به‌طور یکنواخت اعمال کنید. با توجه به بار آزمون، یکنواختی بار بهتر است $\pm 5\%$ سراسر مدول باشد. این بار را به مدت ۱ h حفظ کنید.

یادآوری- بار آزمون می‌تواند به‌طور پنوماتیکی یا با استفاده از وزنه‌هایی که تمام سطح را پوشش می‌دهند اعمال شود.

ت- همان روش اجرایی مرحله پ را به سطح عقبی مدول یا به‌صورت بار بالا رونده به سطح جلویی اعمال کنید.

ث- مرحله پ و ت را برای تمام این سه چرخه تکرار کنید.

۴-۱۶-۴ اندازه‌گیری‌های نهایی

آزمون‌های MQT 01 و MQT 15 را تکرار کنید.

۴-۱۶-۵ الزامات

الف- در طول آزمون هیچ خطای مدار باز تناوبی آشکار نشود.

ب- همان طوری که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است هیچ گونه شواهدی از نقص‌های عمده دیداری وجود نداشته باشد.

پ- جریان ناشی تر باید همان الزامات اندازه‌گیری‌های اولیه را برآورده نماید.

۴-۱۷-۱۷ آزمون تگرگ (MQT 17)

۴-۱۷-۱ هدف

تایید توانایی تحمل مدول در برابر ضربه تگرگ است.

۴-۱۷-۲ دستگاه

الف- قالب‌هایی از مواد مناسب برای پرتاب توپ‌های یخی کروی با قطر مورد نیاز. کمینه قطر مورد نیاز ۲۵ mm است. برای مکان‌های مستعد تگرگ، توپ‌های یخی بزرگ‌تر برای آزمون فهرست شده در جدول ۳ ممکن است مورد نیاز باشد.

ب- فریزر کنترل شده در دمای $C^{\circ} (5 \pm 10)$.

پ- مخزن برای نگهداری توپ‌های یخی در دمای $C^{\circ} (2 \pm 4)$.

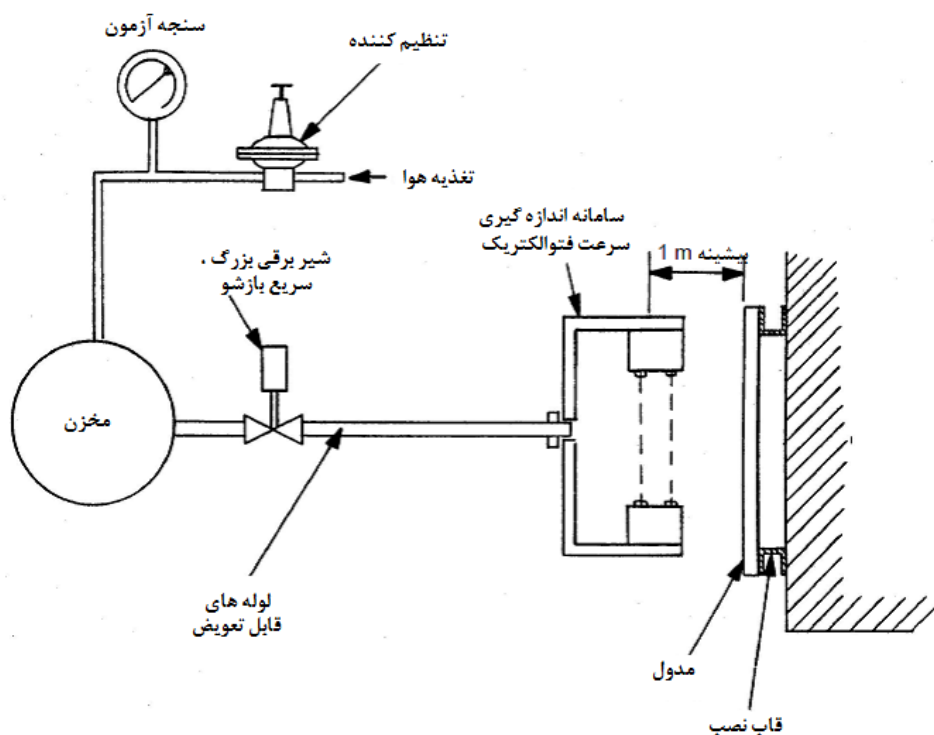
ت- پرتاب‌گر که قادر به پرتاب توپ یخی در سرعت مشخص، در محدوده $\pm 5\%$ طوری که در مکان اصابت مشخص شده به مدول ضربه بزند. مسیر توپ یخی پرتاب‌گر تا مدول ممکن است افقی، عمودی یا در هر زاویه حد واسط باشد، تا الزامات آزمون برآورده شود.

ث- پایه صلب برای نگهداری مدول آزمون توسط روش پیشنهاد شده سازنده، با سطح ضربه عمود بر مسیر توپ یخی برنامه‌ریزی شده.

ج- ترازو برای تعیین جرم توپ یخی با درستی $\pm 2\%$

چ- ابزاری برای اندازه‌گیری سرعت توپ یخی با درستی $\pm 2\%$ حسگر سرعت نباید بیشتر از ۱ m از سطح مدول آزمون فاصله داشته باشد.

به عنوان مثال، شکل ۱۳ به شکل طرح‌واره دستگاه مناسب شامل پرتاب‌گر پنوماتیکی افقی، نصب عمودی مدول و سرعت‌سنج را نشان می‌دهد که مدت زمان لازم توپ یخی برای طی کردن فاصله بین دو پرتو نور را به‌طور الکترونیکی اندازه‌گیری می‌کند. این فقط مثالی از انواع دیگر دستگاه از جمله آزمون‌کننده‌های فلاخن^۱ و فنر^۲ که با موفقیت استفاده شده است، می‌باشد.



شکل ۱۳- تجهیز آزمون تگرگ

1- Slingshots
2- Spring-driven

جدول ۳- جرم‌های توپ یخی و سرعت‌های آزمون

سرعت آزمون m/s	جرم g	قطر mm	سرعت آزمون m/s	جرم g	قطر mm
۳۳٫۹	۸۰٫۲	۵۵	۲۳٫۰	۷٫۵۳	۲۵
۳۶٫۷	۱۳۲٫۰	۶۵	۲۷٫۲	۲۰٫۷	۳۵
۳۹٫۵	۲۰۳٫۰	۷۵	۳۰٫۷	۴۳٫۹	۴۵

۳-۱۷-۴ روش اجرایی

الف- با استفاده از قالب‌ها و فریزر به تعداد کافی توپ‌های یخی به اندازه مورد نیاز برای آزمون، از جمله چند عدد برای تنظیم اولیه پرتاب‌گر بسازید.

ب- ترک‌خوردگی‌ها، اندازه و جرم هر یک از توپ‌ها را بازبینی کنید. یک توپ قابل قبول باید معیارهای زیر را برآورده نماید:

- هیچ ترک‌خوردگی با چشم غیر مسلح مشاهده نشود؛

- قطر در محدوده $\pm 5\%$ مورد نیاز است؛

- جرم در محدوده $\pm 5\%$ مقدار اسمی مناسب در جدول ۳ باشد.

پ- توپ‌ها را در مخزن قرار دهید و قبل از استفاده اجازه دهید توپ‌ها برای دست کم ۱ h در مخزن بماند.

ت- مطمئن شوید که تمام سطوح پرتاب‌گر در تماس با توپ‌های یخی نزدیک دمای اتاق باشد.

ث- تعدادی از گلوله‌های آزمایشی را مطابق با مرحله ح زیر به هدف شبیه‌سازی شده شلیک کنید و واحد سرعت پرتاب‌گر توپ یخی را چنان‌که با حسگر سرعت در محدوده $\pm 5\%$ سرعت آزمون تگرگ مناسب در جدول ۴ اندازه‌گیری شده است، تنظیم کنید.

ج- مدول را در دمای اتاق در پایه پیشنهاد شده، با سطح ضربه عمود بر مسیر توپ یخی نصب کنید.

چ- یک توپ یخی از مخزن بردارید و در پرتاب‌گر قرار دهید. هدف در اولین مکان ضربه مشخص شده در جدول ۴ را بردارید و شلیک کنید. مدت زمان جابجایی توپ یخی از مخزن و ضربه به مدول نباید از ۶۰ s بیشتر باشد.

ح- علائم خرابی سطح مدول ناشی از ضربه را بازبینی کنید و به تمام نقص‌های دیداری پرتاب توجه داشته باشید. خطاهای تا ۱۰ mm مکان مشخص شده قابل قبول هستند.

خ- اگر مدول سالم است، مراحل چ و ح را برای سایر مکان‌های ضربه جدول ۴ را به‌صورت نشان داده شده در شکل ۱۴ تکرار کنید.

جدول ۴- مکان‌های ضربه

تعداد پرتاب	مکان
۱	هر گوشه پنجره مدول، کمتر از یک شعاع توپ یخی از لبه مدول.
۲	هر لبه مدول، کمتر از یک شعاع توپ یخی از لبه مدول.
۳، ۴	تمام لبه‌های مدار (برای مثال سلول‌های تکی).
۵، ۶	تمام اتصالات داخلی نزدیک مدار (برای مثال اتصالات داخلی سلول و نوارهای گذرگاه ^۱).
۷، ۸	بر روی پنجره مدول، کمتر از نصف قطر توپ یخی از یکی از نقاط که مدول بر روی ساختار نگهداری نصب شده است.
۹، ۱۰	بر روی پنجره مدول، در نقاط دورتر از نقاط انتخاب شده بالایی.
۱۱	هر نقطه‌ای که ممکن است ثابت شود، به‌ویژه آسیب‌پذیر بودن به ضربه تگرگ مانند روی جعبه اتصال.

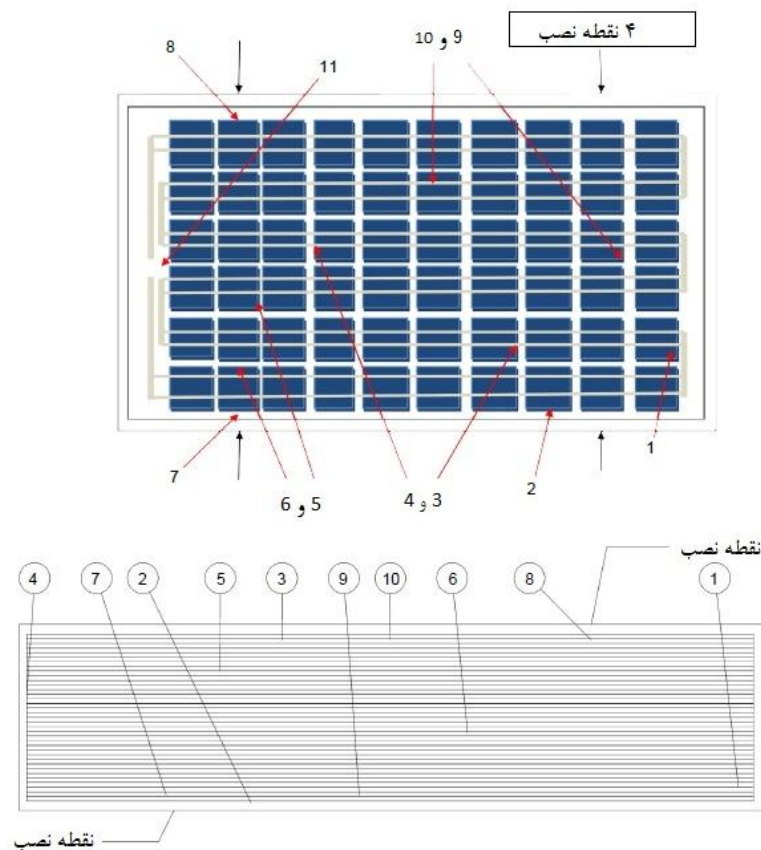
۴-۱۷-۴ آزمون‌های نهایی

آزمون‌های MQT 01 و MQT 15 را تکرار کنید.

۴-۱۷-۵ الزامات

الف- همان طوری که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است هیچ گونه شواهدی از نقص‌های عمده دیداری وجود نداشته باشد.

ب- جریان نشتی تر باید همان الزامات اندازه‌گیری‌های اولیه را برآورده نماید.



شکل ۱۴- مکان‌های ضربه آزمون تگرگ: بالا برای فن‌آوری‌های مبتنی بر پولک/سلول، پایین برای فن‌آوری‌های فیلم کاغذ پردازش شده یکپارچه

۱۸-۴ آزمون دیود کنارگذر (MQT 18)

۱-۱۸-۴ آزمون حرارتی دیود کنارگذر (MQT 18-1)

۱-۱-۱۸-۴ هدف

تشخیص کفایت طراحی حرارتی و قابلیت اطمینان طولانی مدت نسبی دیودهای کنارگذر مورد استفاده برای محدود کردن اثرات مخرب مستعد نقطه داغ مدول است.

آزمون تعیین مشخصه دمایی دیودها و بیشینه دمای اتصال دیود T_J تحت عملکرد پیوسته طراحی شده است. اگر دیودهای کنارگذر در مدول نوعی تحت آزمون در دسترس نباشند، نمونه خاصی می‌تواند برای این آزمون آماده شود. این نمونه باید برای فراهم کردن همان محیط حرارتی دیود، به صورت تولید استاندارد مدول ساخته شود و یک مدول فتوولتاییک برق‌دار مورد نیاز نیست. سپس آزمون باید به صورت عادی ادامه یابد. این نمونه مشخص باید فقط برای اندازه‌گیری دمای دیود کنارگذر مطابق با بخش‌های پ تا ش زیربند ۱۸-۴-۱-۳ استفاده شود. قرارگیری در معرض جریان ۱/۲۵ برابر جریان اتصال کوتاه STC باید بر روی

مدول کاملاً کاربردی که پس از آن برای اندازه‌گیری نهایی ساختمان زیربند ۴-۱۸-۱-۴ استفاده می‌شود، انجام شود.

۴-۱۸-۲ دستگاه

الف- وسیله‌ای برای گرمایش مدول تا دمای $C \pm 5 (90)$.

ب- وسیله‌ای برای پایش دمای مدول با درستی $C \pm 0.2$ و قابلیت تکرارپذیری $C \pm 0.5$.

پ- وسیله‌ای برای اندازه‌گیری ولتاژ اتصال V_D دیودهای کنارگذر با درستی $\% 2$.

ت- وسیله‌ای برای اعمال جریان معادل $1/25$ برابر جریان اتصال کوتاه STC مدول تحت آزمون با پهنای پالس کمتر از 1 ms و وسیله‌ای برای پایش شار جریان از میان مدول، در طول آزمون.

۴-۱۸-۳ روش اجرایی

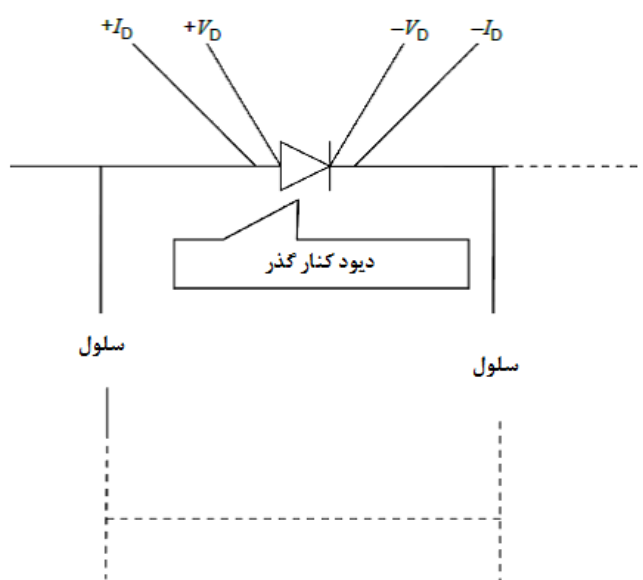
الف- به‌طور الکتریکی تمام دیودهای مسدود کننده قرار داده شده در مدول را اتصال کوتاه کنید.

ب- جریان اتصال کوتاه STC اسمی مدول را از روی برچسب یا برگ دستورالعمل تعیین کنید.

پ- سرسیم V_D و I_D را بر روی هر پایانه دیود بصورت نشان داده شده در شکل ۱۵ متصل کنید.

اگر دیودها در قوطی باشند باید قبل از تحویل مدول توسط سازنده، اتصالات مدول ایجاد شود.

باید مراقب باشید، که سرسیم‌ها سبب اتلاف حرارت جعبه پایانه نشود که منجر به تعبیر نادرست نتایج آزمون می‌شود.



شکل ۱۵- آزمون حرارتی دیود کنارگذر

- ت- مدول و جعبه اتصال را تا دمای $C^{\circ} (2 \pm 30)$ گرم کنید.
- ث- جریان پالس (پهنای پالس ۱ ms) را برابر با جریان اتصال کوتاه STC مدول اعمال کنید، ولتاژ مستقیم V_{D1} دیود را اندازه‌گیری کنید.
- ج- با استفاده از همان روش اجرایی، V_{D2} را در دمای $C^{\circ} (2 \pm 50)$ اندازه‌گیری کنید.
- چ- با استفاده از همان روش اجرایی، V_{D3} را در دمای $C^{\circ} (2 \pm 70)$ اندازه‌گیری کنید.
- ح- با استفاده از همان روش اجرایی، V_{D4} را در دمای $C^{\circ} (2 \pm 90)$ اندازه‌گیری کنید.
- خ- سپس، V_D را برحسب مشخصه T_J توسط منحنی برازش حداقل مربعات V_{D1}, V_{D2}, V_{D3} و V_{D4} بدست آورید.
- T_J دمای محیط جعبه اتصال پیش‌بینی شده برای مراحل ت تا خ است.
- د- مدول را تا دمای $C^{\circ} (5 \pm 75)$ حرارت دهید. جریان برابر با $I_{SC} \pm 2\%$ جریان اتصال کوتاه اندازه‌گیری شده مدول در STC را به مدول اعمال کنید. بعد از مدت ۱ h ولتاژ مستقیم هر یک از دیودها را اندازه‌گیری کنید.
- اگر مدول حاوی رادیاتور حرارتی^۱ به‌طور خاص طراحی شده برای کاهش دمای عملکردی دیود باشد، این آزمون می‌تواند در دمای رادیاتور حرارتی تحت شرایط تابش دهی 1000 W/m^2 ، دمای $C^{\circ} (3 \pm 43)$ محیط بدون باد به جای دمای $C^{\circ} 75$ انجام شود.
- ذ- با استفاده از V_D به‌دست آمده برحسب مشخصه T_J در بخش خ، T_J را از V_D در $C^{\circ} 75 = T_{amb}$ ، $I_D = I_{SC}$ دیود در مدت آزمون بخش د بدست آورید.
- ر- جریان اعمال شده را در حالی که دمای مدول در دمای $C^{\circ} (5 \pm 75)$ نگه داشته شده است را تا ۱٫۲۵ برابر جریان اتصال کوتاه مدول اندازه‌گیری شده در STC افزایش دهید.
- ز- شار جریان را به مدت ۱ h حفظ کنید.

۴-۱۸-۴ اندازه‌گیری‌های نهایی

آزمون‌های MQT 01، MQT 15 و MQT 18-2 را تکرار کنید.

۴-۱۸-۵ الزامات

الف- دمای اتصال دیود T_J همان‌گونه که در مرحله ر زیربند ۴-۱۸-۳ تعیین شده است نباید از بیشینه دمای اتصال اسمی سازنده برای عملکرد پیوسته فراتر رود.

1- Heat sink

ب- همان طوری که در استاندارد IEC 61215-1 تعیین شده است هیچ گونه شواهدی از نقص‌های عمده دیداری وجود نداشته باشد.

پ- جریان نشتی تر باید همان الزامات اندازه‌گیری‌های اولیه را برآورده نماید.

ت- دیود بعد از پایان آزمون MQT 18-2 هنوز باید به عنوان دیود عمل کند.

۴-۱۸-۲ آزمون قابلیت دیود کنارگذر (MQT 18-2)

۴-۱۸-۲-۱ هدف

هدف از این آزمون تایید این است که کارآمدی دیود(های) کنارگذر نمونه‌های آزمون مطابق با MQT 09 و MQT 18-1 برقرار است. در حالتی که مدول‌های فتوولتاییک، فاقد دیودهای کنارگذر باشند، این آزمون می‌تواند حذف شود.

۴-۱۸-۲-۲ دستگاه

وسیله‌ای برای اندازه‌گیری منحنی جریان - ولتاژ در مدت ۱ s؛ به‌عنوان مثال ردیاب منحنی I-V با درستی اندازه‌گیری ولتاژ - جریان باید دست‌کم ۱٪ مقدار خوانده شده باشد.

۴-۱۸-۲-۳ روش اجرایی

۴-۱۸-۲-۳-۱ کلیات

آزمون می‌تواند مطابق با یکی از روش‌های زیر انجام شود:

۴-۱۸-۲-۳-۲ روش الف

این روش اجرایی باید در دمای $C^{(10 \pm 25)}$ انجام شود. در مدت آزمون، نمونه نباید در برابر نوردهی قرار گیرد.

الف- تمام دیودهای مسدود کننده قرار داده شده در مدول را اتصال کوتاه کنید.

بعضی از مدول‌ها دارای مدارهای دیود کنارگذر هم‌پوشان هستند. در این حالت ممکن است لازم باشد سیم‌پل^۱ نصب شود تا اطمینان حاصل شود که تمام جریان از طریق دیود کنارگذر عبور می‌کند.

ب- جریان اتصال کوتاه STC اسمی نمونه را از روی پلاک مشخصات تعیین کنید.

^۱ - Jumper

پ- خروجی مثبت ردیاب منحنی I-V منبع تغذیه DC را به ترتیب، به پایانه منفی نمونه و خروجی منفی ردیاب منحنی I-V منبع تغذیه DC را به پایانه مثبت نمونه متصل کنید. با این پیکربندی جریان باید از سلول‌های خورشیدی در جهت معکوس و از دیود(های) کنارگذر در جهت مستقیم عبور کند.

ت- جریان با جاروب A تا $0.25 \times I_{SC}$ A را روشن کنید و ولتاژ را ثبت کنید.

۴-۱۸-۲-۳ روش ب

اندازه‌گیری‌های متوالی I-V مدول فتوولتاییک می‌تواند همراه با تعیین توان بیشینه (MQT 02) با بخش‌هایی از رشته مدار اتصالات داخلی به‌منظور «روشن شدن» دیود که به‌طور کامل سایه شده است، انجام شود.

۴-۱۸-۲-۴ الزامات

۴-۱۸-۲-۴-۱ روش الف

ولتاژ مستقیم دیود(ها) (VFM)^۱ اندازه‌گیری شود:

$$VFM = (N \times V_{FMrated}) \pm 10\%$$

که در آن:

N تعداد دیودهای کنارگذر؛

$V_{FMrated}$ ولتاژ مستقیم دیود تعیین شده در داده برگ‌های دیود در دمای 25°C است.

۴-۱۸-۲-۴-۲ روش ب

اگر مشخصه خم در منحنی I-V مشاهده شود، دیود کنارگذر متعلق به رشته سایه شده به‌درستی کار می‌کند.

مثال: مدول فتوولتاییک سیلیکون کریستالی با ۶۰ سلول و سه رشته که هر کدام توسط یک دیود حفاظت شده است، اگر سلول‌های یک رشته سایه شده باشند افت توان به اندازه $\frac{2}{3}$ خواهد بود.

۴-۱۹ تثبیت (MQT 19)

۴-۱۹-۱ کلیات

^۱ - Measured Diode(s) Forward Voltage

تمام مدول‌های PV نیازمند این هستند که به صورت الکتریکی تثبیت شوند. به این منظور، تمام مدول‌ها باید در معرض روش اجرایی تعریف شده قرار گیرند، و توان خروجی باید به طور مستقیم اندازه‌گیری شود. این روش اجرایی و اندازه‌گیری توان خروجی باید تکرار شود تا ارزیابی شود که مدول می‌تواند به یک سطح توان خروجی پایدار برسد. در صورتی که از نور برای تثبیت استفاده شود، تابش خورشیدی شبیه‌سازی شده به نور طبیعی ارجحیت دارد.

۴-۱۹-۲ تعریف معیار تثبیت

رابطه زیر باید به عنوان معیاری برای این که مدول به توان خروجی الکتریکی تثبیت شده می‌رسد، در نظر گرفته شود.

$$(P_{max} - P_{min}) / P_{average} < x$$

که در آن x در قسمت‌های خاص فن‌آوری این استاندارد تعریف می‌شود.

در اینجا، P_{max} ، P_{min} و $P_{average}$ به عنوان بیشترین مقادیر حدی سه اندازه‌گیری توان خروجی متوالی P_1 ، P_2 و P_3 گرفته شده از توالی تثبیت جایگزین است و اندازه‌گیری با استفاده از MQT 02 تعریف می‌شود. توان خروجی STC با استفاده از روش اجرایی MQT 06-1 تعیین می‌شود.

۴-۱۹-۳ روش اجرای تثبیت القای نوری

۴-۱۹-۳-۱ دستگاه برای تثبیت در فضای بسته

الف - شبیه‌ساز خورشیدی رده CCC یا بهتر، مطابق با استاندارد IEC 60904-6.

ب - افزاره مرجع مناسب، با یکپارچه‌سازی، برای پایش تابش.

پ - همان‌طور که توسط سازنده توصیه شده است، وسیله‌ای برای نصب مدول‌ها هم سطح با افزاره مرجع.

ت - افزاره مرجع را برای تنظیم تابش‌دهی بین 800 W/m^2 و 1000 W/m^2 استفاده کنید.

ث - در مدتی که شبیه‌ساز در معرض نوردهی است، دماهای مدول باید در گستره دمایی $(50 \pm 10)^\circ\text{C}$ باقی بماند. تمام توالی تثبیت‌های متوالی بهتر است در همان دمایی اولیه در $2^\circ\text{C} \pm$ انجام شود.

ج - وسیله‌ای برای پایش دمایی مدول با درستی $2^\circ\text{C} \pm$ و تکرارپذیری $0.5^\circ\text{C} \pm$ حسگر دمایی که بیانگر وضعیت متوسط دمایی مدول است باید نصب شود.

چ - بار مقاومتی به اندازه‌ای که مدول در نزدیکی نقطه توان بیشینه خود یا یک ردیاب الکترونیکی نقطه توان بیشینه کار خواهد کرد.

۴-۱۹-۳ الزامات تثبیت در معرض فضای باز

- الف - افزاره مرجع مناسب، با یکپارچه‌سازی، برای پایش تابش.
- ب - همان‌طور که توسط سازنده توصیه شده است، وسیله‌ای برای نصب مدول‌ها هم سطح با افزاره مرجع.
- پ - برای تابش کل فقط سطوح تابش‌دهی بزرگتر از 500 W/m^2 خواهد شد، که برای بررسی تثبیت مورد نیاز است. حدود دمایی در قسمت‌های خاص فن‌آوری مشخص شده است.
- ت - وسیله‌ای برای پایش دمای مدول با درستی $\pm 2^\circ\text{C}$ و تکرارپذیری $\pm 0.5^\circ\text{C}$ حسگر دمایی که بیانگر وضعیت متوسط دمای مدول است باید نصب شود.
- ج - بار مقاومتی به اندازه‌ای که مدول در نزدیکی نقطه توان بیشینه خود یا یک ردیاب الکترونیکی نقطه توان بیشینه کار خواهد کرد.
- افزاره ردیاب نقطه توان بیشینه توصیه می‌شود، برای مثال میکرو اینورتر.

۴-۱۹-۳ روش اجرایی

- الف - توان خروجی هر مدول را با استفاده از روش تعیین توان بیشینه (MQT 02) در هر دمای مناسب مدول در گستره مجاز اندازه‌گیری کنید که می‌تواند در $\pm 2^\circ\text{C}$ برای اندازه‌گیری‌های میانی آتی مجدداً ایجاد شود.
- ب - بار را به مدول‌ها وصل کنید و همان‌گونه که توسط سازنده توصیه شده است آنها را با افزاره مرجع در صفحه آزمون شبیه‌ساز نصب کنید.
- پ - سطوح تابش، تابش‌دهی یکپارچه، دما و بار مقاومتی استفاده شده در مدول را ثبت کنید.
- ت - همان‌گونه که در قسمت‌های مشخص فن‌آوری MQT 19 این استاندارد تعریف شده است هر مدول را دست‌کم در دو فاصله تابش‌دهی قرار دهید تا مقدار توان بیشینه آن تثبیت شود. تثبیت در زیربند ۴-۱۹-۲ تعریف شده است.
- ث - توان خروجی باید با استفاده از MQT 02 اندازه‌گیری شود. مدت زمان بین قرارگیری در معرض نور از جمله اندازه‌گیری‌های MQT 02 و تعیین نهایی توان بیشینه مطابق با ۱-۰۶ MQT مشخص شده در قسمت خاص فن‌آوری است.
- ج - اندازه‌گیری‌های میانی MQT 02 باید در فواصلی انجام شود که مقدار تابش‌دهی یکپارچه تقریباً برابر باشد. کمینه مقدارها در قسمت‌های خاص فن‌آوری این استاندارد تعریف می‌شوند. تمام اندازه‌گیری‌های توان بیشینه میانی باید در تمام دمای مدول مناسب که در $\pm 2^\circ\text{C}$ بازتولید می‌شود، انجام شود.

چ - تابش‌دهی یکپارچه و تمام عواملی که در آن، این ثبات حاصل می‌شود را گزارش کنید. برای روش اجرایی فضای باز، در صورت کاربرد، نوع بار استفاده شده را بیان کنید و نیم‌رخ دما و تابش را نشان دهید.

۴-۱۹-۴ سایر روش‌های اجرایی تثبیت

سایر فن‌آوری‌های تثبیت بعد از تصدیق می‌تواند استفاده شود. بدیهی است که کاربرد بایاس جریان و ولتاژ می‌تواند منجر به اثرات مشابهی شود که در سلول‌های خورشیدی در معرض نور اتفاق می‌افتد. چنین روش‌های اجرایی تثبیت جایگزین شده توسط سازنده ارائه خواهد شد.

این زیربند فرآیند تصدیق روش اجرایی تثبیت جایگزین را تعریف می‌کند.

روش‌های اجرایی جایگزین می‌تواند به جای قرارگیری در معرض نور استفاده شود، در صورتی که مطابق با این روش اجرایی تصدیق شود. تصدیق باید با سه مدول انجام شود. تصدیق باید در توالی الف به‌عنوان تثبیت اولیه انجام شود. برای تصدیق روش‌های اجرایی جایگزین موارد زیر را انجام دهید:

الف - روش اجرایی جایگزین را انجام دهید.

ب - MQT 06-1 را بعد از کمینه زمان کمتر یا مساوی بیشینه زمان مشخص شده در قسمت‌های خاص فن‌آوری اندازه‌گیری کنید.

پ - روش تثبیت القای نوری فضای بسته (زیربند ۴-۱۹-۳-۱) را مطابق با الزامات خاص فن‌آوری انجام دهید.

ت - MQT 06-1 را بعد از کمینه زمان کمتر یا مساوی بیشینه زمان مشخص شده در قسمت‌های خاص فن‌آوری اندازه‌گیری کنید.

یک روش جایگزین، معتبر در نظر گرفته می‌شود در صورتی که دو اندازه‌گیری MQT 06-1 از بخش ب و ت بالا در محدوده ۲٪ هر سه مدول ارزیابی باشد. چنانچه یک مدول معیارهای قبولی را برآورده نکند، روش تصدیق نمی‌شود.

۴-۱۹-۵ تثبیت اولیه (MQT 19-1)

تثبیت اولیه با دنبال کردن روش اجرایی و الزامات تعریف شده در MQT 19 انجام می‌شود. اگر زیربند ۴-۱۹-۲ برآورده شود، تثبیت برآورده شده است.

تثبیت اولیه به‌منظور تایید مقادیر برچسب سازنده همان طوری که در معیارهای قبولی بند ۷ (Gate No.1) ملی ایران شماره ۱-۱۱۸۸۱ تعریف شده است، انجام می‌شود.

تعداد مدول‌های در معرض MQT 19-1 در قسمت‌های خاص فن‌آوری این استاندارد تعریف شده است.

۴-۱۹-۶ تثبیت نهایی (MQT 19-2)

تثبیت نهایی با دنبال کردن روش اجرایی و الزامات تعریف شده MQT 19 انجام می‌شود. اگر زیربند ۴-۱۹-۲ برآورده شود، تثبیت برآورده شده است.

تثبیت نهایی برای تعیین افت کیفی مدول در مدت آزمون تعریف شده در قبولی معیارهای بند ۷ (Gate No.2) ملی ایران شماره ۱-۱۱۸۸۱ انجام می‌شود.

در صورتی که طور دیگری بیان نشده باشد، تمام مدول‌های توالی‌های الف، و پ تا ث باید تحت MQT 19-2 آزمون شوند.