



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۶۲۰۵

چاپ اول

اردیبهشت ۱۳۹۲

INSO

16205

1st. Edition

Apr.2013

افزارهای فتوولتائیک –  
رویه‌های تصحیح دما و تابش به مشخصه‌های  
I-V اندازه‌گیری شده

**Photovoltaic devices –  
Procedures for temperature and irradiance  
corrections to measured I-V characteristics**

ICS: 27.160

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی 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.

نام مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۰۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران 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 منصفانه‌ی صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته‌ی ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به‌عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

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

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به‌عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

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

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

### «افزارهای فتوولتائیک -

رویه‌های تصحیح دما و تابش به مشخصه‌های I-V اندازه‌گیری شده»

#### رئیس:

سمت و / یا نمایندگی

شریعتمدار، سید محمد

(دکترای مهندسی برق، قدرت)

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد نراق

#### دبیر:

کارشناس مؤسسه ارتباط پژوهان البرز

عبدی، جواد

(دکترای مهندسی برق، کنترل)

کارشناس شرکت کیاتل (سهامی خاص)

جزواحدی، محمدرضا

(لیسانس مهندسی برق، کنترل)

مسئول آزمایشگاه مرجع مخابرات پژوهشگاه نیرو (سهامی عام)

حافظ عقیلی، حمیدرضا

(فوق لیسانس مهندسی برق، مخابرات-سیستم)

شرکت مشاوران راه انرژی دنیا (سهامی خاص)

حقدادی، نوید

(فوق لیسانس مهندسی برق، قدرت)

مدیر پروژه‌های مخابراتی شرکت بهین ارتباط مهر (سهامی خاص)

عابدی، سعید

(لیسانس مهندسی برق، مخابرات)

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد کرج

عرفانی، علی

(فوق لیسانس مهندسی برق، مهندسی پزشکی)

کارشناس پژوهشکده برق پژوهشگاه نیرو (سهامی عام)

کمانکش، سیما

(فوق لیسانس مهندسی برق، قدرت)

فامیل خلیلی، اعظم  
(فوق لیسانس مهندسی کامپیوتر، فناوری اطلاعات)

کارشناس مؤسسه ارتباط پژوهان البرز

مسرور تهرانی، حسین  
(فوق لیسانس مهندسی برق، قدرت)

کارشناس ارشد تحقیق، شرکت برق منطقه‌ای استان تهران

مظفری، بهروز  
(فوق لیسانس مکترونیک)

مدیر تحقیق و توسعه شرکت نیمه هادی عماد (سهامی خاص)

یوسفزاده فعال دقتی، بهاره  
(لیسانس مهندسی برق، الکترونیک)

کارشناس سازمان ملی استاندارد ایران

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ رویه‌های تصحیح
۹	۴ تعیین ضرایب دمایی
۱۲	۵ تعیین مقاومت سری داخلی $R_S$ و $R'_S$
۱۵	۶ تعیین ضریب تصحیح منحنی $k$ و $k'$
۱۶	۷ گزارش
۱۸	کتاب‌نامه (اطلاعاتی)

## پیش‌گفتار

استاندارد "افزارهای فتوولتائیک - روبه‌های تصحیح دما و تابش به مشخصه‌های I-V اندازه‌گیری شده"، که توسط کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده و در ششصد و پنجاه و پنجمین اجلاس کمیته ملی استاندارد برق و الکترونیک مورخ ۱۳۹۱/۱۲/۰۶ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ بعنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر گونه پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ایران باید همواره از آخرین تجدید نظر آنها استفاده گردد. در تهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجود و نیازهای جامعه، در حد امکان بین این استاندارد و استاندارد ملی کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود. منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

IEC 60891: 2009, Photovoltaic devices – Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics

## افزارهای فتوولتائیک -

### رویه‌های تصحیح دما و تابش به مشخصه‌های I-V اندازه‌گیری شده

#### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین و تعریف رویه‌هایی است که جهت تصحیح دما و تابش به مشخصه‌های اندازه‌گیری شده I-V (جریان-ولتاژ) افزارهای فتوولتائیک، باید دنبال نمود. این استاندارد همچنین رویه‌های مورد استفاده برای تعیین عامل‌های<sup>۱</sup> مربوط به این تصحیح‌ها را تعریف می‌کند. الزامات برای اندازه‌گیری I-V افزارهای فتوولتائیک بر استاندارد بین‌المللی IEC 60904-1 تکیه دارد.

**یادآوری ۱-** افزارهای فتوولتائیک شامل یک تک سلول خورشیدی با یا بدون پوشش حفاظتی، زیرمجموعه‌ای از سلول‌های خورشیدی یا یک مدول<sup>۲</sup> می‌باشند. مجموعه متفاوتی از پارامترهای مربوطه به منظور تصحیح I-V برای هر نوع افزار به کار می‌رود. گرچه ممکن است تعیین ضرایب دما برای یک مدول (یا زیرمجموعه سلول‌ها) از اندازه‌گیری‌های یک تک سلول محاسبه شود، باید ذکر شود که مقاومت سری‌های داخلی و عامل تصحیح بهتر است به‌طور مجزا برای یک مدول یا زیر مجموعه سلول‌ها اندازه‌گیری شود.

**یادآوری ۲-** از اصطلاح "آزمونه آزمون" برای مشخص کردن هرگونه از این افزارها استفاده می‌شود.

**یادآوری ۳-** بهتر است درباره استفاده از پارامترهای تصحیح I-V مراقب بود. پارامترها برای افزار فتوولتائیکی که برای آن‌ها اندازه‌گیری شده‌اند، معتبر هستند. ممکن است تغییراتی درون یک بسته تولیدی یا طبقه نوعی وجود داشته باشد.

#### ۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

- 2-1 IEC 60904-1, Photovoltaic devices – Part 1: Measurements of photovoltaic current-voltage characteristics
- 2-2 IEC 60904-2, Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for reference solar devices
- 2-3 IEC 60904-7, Photovoltaic devices – Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices
- 2-4 IEC 60904-9, Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements
- 2-5 IEC 60904-10<sup>3</sup>, Photovoltaic devices – Part 10: Methods of linearity measurement

1- Factors

2- Module

۳- استاندارد ملی ایران شماره ۱۵-۱۴۱۵۵:۱۳۸۹، پودمان فتوولتائیک - قسمت ۱۰: روش‌های اندازه‌گیری خطی. مرجع این استاندارد ملی ایران، استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10: 2009 است.

## ۳ رویه‌های تصحیح

### ۱-۳ کلیات

از سه رویه می‌توان برای تصحیح مشخصه‌های جریان-ولتاژ اندازه‌گیری شده به سایر شرایط دمایی و تابشی (از جمله شرایط آزمون استاندارد (STC)<sup>۱</sup>) استفاده نمود. اولی مشابه رویه ارائه شده در ویرایش اول مرجع بین‌المللی این استاندارد بین‌المللی است، اما معادله آن برای درک بهتر بازنویسی شده است. رویه دوم، روش تصحیح جبری جایگزین است که منجر به نتایج بهتری برای تصحیح‌های تابش بزرگ (بزرگتر از ۲۰٪) ایجاد می‌شود. هر دو رویه نیاز دارند که پارامترهای تصحیح افزار PV معلوم باشند. اگر معلوم نباشند، لازم است که پیش از اجرای تصحیح، تعیین شوند. رویه سوم، روش درون‌یابی<sup>۲</sup> است که نیازی به پارامترهای تصحیح به‌عنوان ورودی ندارد: می‌تواند زمانی که کمینه سه منحنی جریان-ولتاژ برای افزار آزمون اندازه‌گیری شده، به‌کار برده شود. این سه منحنی جریان-ولتاژ، گستره دما و تابش را که برای آن‌ها روش تصحیح کاربرد دارد، اندازه‌گیری می‌کنند.

تمام روش‌ها برای افزارهای خطی، همان‌گونه که در استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10 تعریف شده، کاربرد دارند.

**یادآوری ۱-** برآورد درباره دقت تعبیر لازم است (به بند ۷ مراجعه شود).

**یادآوری ۲-** بهتر است تمام افزارهای PV در یک گستره محدود از تابش و دمای افزار، خطی باشند. جزئیات در استاندارد بین‌المللی IEC 61853-1 شرح داده شده است.

این که مشخصه‌های افزار فتوولتائیک باید مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC 60904-1 اندازه‌گیری شوند، برای تمام رویه‌ها مشترک است.

معمولاً تابش G باید از جریان اتصال کوتاه اندازه‌گیری شده (I<sub>RC</sub>) افزار مرجع PV، همان‌گونه که در استاندارد بین‌المللی IEC 60904-2 تعریف شده، و مقدار کالیبره کردن آن در شرایط آزمون استاندارد (STC) (I<sub>RC,STC</sub>) محاسبه شود. تصحیح برای برآورد دمای افزار مرجع T<sub>RC</sub> باید با استفاده از ضریب دمای نسبی مشخص شده افزار مرجع (1/°C) که در دمای ۲۵ °C و ۱۰۰۰ W/m<sup>2</sup> ارائه می‌شود، اعمال شود.

$$G = \frac{1000 \text{ Wm}^{-2} \cdot I_{RC}}{I_{RC,STC}} \cdot [1 - \alpha_{RC} \cdot (T_{RC} - 25^{\circ}C)]$$

افزار مرجع PV یا باید به‌طور طیفی با آزمون نمونه آزمون منطبق باشد، یا باید تصحیح عدم‌انطباقی مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC 60904-7 انجام شود. افزار مرجع باید از نظر جریان اتصال کوتاه، همان‌گونه که در استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10 روی گستره تابش دلخواه تعریف شده است، خطی باشد.

1- Standard Test Conditions

2- Interpolation



### ۲-۳ رویه‌های تصحیح

مشخصه جریان-ولتاژ اندازه‌گیری شده باید به شرایط آزمون استاندارد یا با به‌کارگیری معادله زیر، یا دیگر مقادیر تابش و دمای انتخاب شده تصحیح شود:

$$I_2 = I_1 + I_{SC} \cdot \left( \frac{G_2}{G_1} - 1 \right) + \alpha \cdot (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$V_2 = V_1 - R_s \cdot (I_2 - I_1) - \kappa \cdot I_2 \cdot (T_2 - T_1) + \beta \cdot (T_2 - T_1) \quad (2)$$

که در آن	
$I_1$ و $V_1$	مختصات نقاط روی مشخصه‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد؛
$I_2$ و $V_2$	مختصات نقاط متناظر روی مشخصه تصحیح شده می‌باشد؛
$G_1$	تابش اندازه‌گیری شده با افزار مرجع است؛
$G_2$	تابش در تابش استاندارد یا تابش دلخواه دیگر می‌باشد؛
$T_1$	دمای اندازه‌گیری شده آزمون آزمون است؛
$T_2$	دمای استاندارد یا دمای دلخواه دیگر می‌باشد؛
$I_{SC}$	جریان اتصال کوتاه اندازه‌گیری شده آزمون آزمون در $G_1$ و $T_1$ است؛
$\alpha, \beta$	ضرایب دمایی جریان و ولتاژ آزمون آزمون در تابش استاندارد یا هدف برای تصحیح و در گستره دمایی دلخواه می‌باشد؛
$R_s$	مقاومت سری داخلی آزمون آزمون می‌باشد؛
$\kappa$	عامل تصحیح منحنی است.

**یادآوری ۱-** از آنجایی که نقطه داده  $V_{OC1}$  هنگام ترجمه از تابش پایین‌تر به بالاتر، به سمت محور جریان جابه‌جا خواهد شد،  $V_{OC2}$  ترجمه شده باید به وسیله برون‌یابی<sup>۱</sup> خطی دست‌کم از سه نقطه نزدیک و زیر  $V_{OC1}$  تعیین شود یا منحنی I-V اصلی باید به‌طور مؤثر فراتر از  $V_{OC1}$  اندازه‌گیری شود.

**یادآوری ۲-** بهتر است یکاهای تمام پارامترهای تصحیح، سازگار باشند.

**یادآوری ۳-** اگر آزمون آزمون، یک مدول است، پارامترهای تصحیح I-V سلول می‌تواند از مدار میان‌اتصال<sup>۲</sup> به دست آورده شود. ممکن است این پارامترهای سلول برای محاسبه پارامترهای تصحیح I-V مدول برای سایر انواع مدول‌هایی که از همان سلول‌های استفاده می‌کنند، به‌کار برده شوند.

**یادآوری ۴-** برای افزارهای PV بلور سیلیکون،  $\alpha$  به‌طور عادی مثبت و  $\beta$  منفی است.

رویه‌های تعیین پارامترهای تصحیح I-V آزمون آزمون در بخش‌های ۴ تا ۶ شرح داده شده است. معادله (۱) فقط برای منحنی‌های I-V اندازه‌گیری شده‌ای قابل کاربرد است که در تابش‌هایی که در مدت جمع‌آوری منحنی کامل I-V تابش‌ها ثابت باشد. برای شبیه‌سازهای خورشیدی پالس‌دار با تابش میرا<sup>۳</sup> یا هر

1- Extrapolation  
2- Interconnection  
3- Decaying irradiance

نوع نوسانات تابشی دیگر حین اندازه‌گیری I-V، معادله (۱) این‌گونه کاربرد ندارد. در این حالت، هر منحنی I-V اندازه‌گیری شده باید به یک منحنی I-V معادل در تابش ثابت تصحیح شود که احتیاج به یک عامل مقیاس‌دهی<sup>۱</sup> دیگر در جلوی  $I_{SC}$  دارد. بنا به دلایل کاربردی، این ضریب مقیاس‌دهی با تابش متناظر با  $I_{SC}$  اندازه‌گیری شده مرتبط است. برای تابش غیرثابت، معادله (۱) معادله ترجمه زیر تبدیل خواهد شد:

$$I_2 = I_1 + \frac{G'_1}{G_{SC}} \cdot I_{SC} \cdot \left( \frac{G_2}{G'_1} - 1 \right) + \alpha \cdot (T_2 - T_1) \quad (3)$$

که در آن  $G_{SC}$ ، مقدار تابش در زمان اندازه‌گیری  $I_{SC}$ ،  $G'_1$  تابش اندازه‌گیری شده در زمان جمع‌آوری داده‌های<sup>۲</sup> نقاط داده I-V مجزا می‌باشد.

### ۳-۳ رویه تصحیح

این رویه، بر پایه مدل تک دیودی<sup>۳</sup> ساده شده افزارهای PV است. معادله‌های نیمه تجربی حاوی ۵ پارامتر تصحیح I-V می‌باشند که می‌توانند با اندازه‌گیری منحنی‌های I-V در شرایط تابش و دمای مختلف تعیین شود. در کنار ضرایب دما برای جریان اتصال کوتاه ( $\alpha$ ) و ولتاژ مدار باز ( $\beta$ ) معمولاً از یک ضریب دمایی دیگر ( $\kappa'$ ) استفاده می‌شود که برای تغییرات مقاومت سری داخلی (و عامل انباشت<sup>۴</sup>) با دما به حساب می‌آید. می‌آید.

رویه تصحیح به وسیله معادله‌های زیر برای جریان و ولتاژ تعریف می‌شود:

$$I_2 = I_1 \cdot (1 + \alpha_{rel} \cdot (T_2 - T_1)) \cdot \frac{G_2}{G_1} \quad (4)$$

$$V_2 = V_1 + V_{OC1} \cdot \left( \beta_{rel} \cdot (T_2 - T_1) + a \ln \left( \frac{G_2}{G_1} \right) \right) - R'_S \cdot (I_2 - I_1) - \kappa'_2 \cdot I_2 \cdot (T_2 - T_1) \quad (5)$$

که در آن:

مختصات نقاط روی مشخصه I-V اندازه‌گیری شده می‌باشد؛	$V_1, I_1$
مختصات نقاط متناظر روی منحنی I-V تصحیح شده می‌باشد؛	$V_2, I_2$
تابش می‌باشد، همان‌گونه که با افزار مرجع اندازه‌گیری شده است؛	$G_1$
تابش هدف برای مشخصه I-V تصحیح شده می‌باشد؛	$G_2$
دمای اندازه‌گیری شده آزمونه آزمون است؛	$T_1$
دمای هدف آزمونه آزمون است؛	$T_2$
ولتاژ مدار باز در شرایط آزمون می‌باشد؛	$V_{OC1}$

1- Scaling factor  
2- Data acquisition  
3- One- diode model  
4- Fill factor

ضرایب دمایی جریان و ولتاژ نسبی آزمون می‌باشد که در  $1000 \text{ W/m}^2$   $\beta_{rel}$  و  $\alpha_{rel}$  اندازه‌گیری می‌شود. این ضرایب به جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز در STC مرتبط می‌باشند؛

a عامل تصحیح تابش برای ولتاژ مدار باز است که با ولتاژ حرارتی دیود D از پیوند<sup>۱</sup> pn و تعدادی از سلول‌های،  $n_s$ ، به‌طور سری متصل در مدول در ارتباط است؛

$R'_S$  مقاومت سری داخلی آزمون است؛

$\kappa'$  به‌عنوان ضریب دمایی مقاومت سری‌های داخلی  $R'_S$  تفسیر می‌شود.

یادآوری ۱- مقدار نوعی برای ضریب تصحیح تابش  $\alpha$ ، ۰/۰۶ است.

یادآوری ۲- باید مراقب بود که مقادیر عددی  $R'_S$  برای رویه ۲ ممکن است با  $R'_S$  رویه ۱ متفاوت باشد.

### ۳-۴ رویه تصحیح ۳

#### ۳-۴-۱ کلیات

این رویه بر پایه درون‌یابی یا برون‌یابی خطی از دو مشخصه I-V اندازه‌گیری شده، می‌باشد. این رویه از کمینه دو مشخصه I-V استفاده می‌کند، و نیازی به هیچ پارامتر تصحیح یا پارامتر برازش<sup>۲</sup> ندارد. مشخصه‌های جریان- ولتاژ اندازه‌گیری شده باید با اعمال معادله زیر به شرایط آزمون استاندارد یا سایر مقادیر تابش و دمای انتخابی تصحیح شوند.

$$V_3 = V_1 + a \cdot (V_2 - V_1) \quad (6)$$

$$I_3 = I_1 + a \cdot (I_2 - I_1) \quad (7)$$

توصیه می‌شود زوج‌های  $(I_1, V_1)$  و  $(I_2, V_2)$  باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که  $I_2 - I_1 = I_{sc2} - I_{sc1}$  باشد؛ که در آن:

مختصات نقاط روی مشخصه‌های اندازه‌گیری شده در تابش  $G_1$  و دمای  $T_1$  است؛  $V_1, I_1$

مختصات نقاط روی مشخصه‌های اندازه‌گیری شده در تابش  $G_2$  و دمای  $T_2$  است؛  $V_2, I_2$

مختصات نقاط متناظر روی مشخصه‌های تصحیح شده در تابش  $G_3$  و دمای  $T_3$  است؛  $V_3, I_3$

جریان‌های اتصال کوتاه اندازه‌گیری شده آزمون هستند؛  $I_{sc2}$  و  $I_{sc1}$

ثابتی برای درون‌یابی است که به‌صورت زیر با تابش و دما در ارتباط است:  $a$

$$G_3 = G_1 + a \cdot (G_2 - G_1) \quad (8)$$

$$T_3 = T_1 + a \cdot (T_2 - T_1) \quad (9)$$

این روش باید برای اکثر فناوری‌های PV کاربرد داشته باشد. می‌توان از معادله‌های (۶) تا (۹) برای تصحیح تابش، تصحیح دما و تصحیح همزمان تابش و دما استفاده کرد.

### ۳-۴-۲ تصحیح تابش و دما از دو مشخصه I-V اندازه‌گیری شده

1- Junction

2- Fitting

رویه تصحیح مشخصه‌های I-V به تابش و دمای ( $G_3, T_3$ ) از دو مشخصه I-V اندازه‌گیری شده در تابش‌ها و دماهای ( $G_1, T_1$ ) و ( $G_2, T_2$ ) به صورت زیر می‌باشد (شکل‌های ۱-الف و ۱-ب).

الف- دو مشخصه I-V را به ترتیب در تابش‌ها و دماهای  $T_1, G_1$  و  $T_2, G_2$  اندازه‌گیری کنید (خطوط پررنگ در شکل ۱-الف)، مقادیر  $I_{SC1}$  و  $I_{SC2}$  را پیدا کنید.

ب-  $a$  را به وسیله معادله (۸) یا (۹) محاسبه کنید. برای مثال، زمانی که دو منحنی I-V اندازه‌گیری شده در مقادیر زیر ایجاد شدند:

$$T_1 = 50 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ و } G_1 = 1000 \text{ W/m}^2$$

$$T_2 = 40 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ و } G_2 = 500 \text{ W/m}^2$$

و تابش دلخواه برابر با  $G_3 = 800 \text{ W/m}^2$  می‌باشد:

$$a = 0.4 \text{ داریم: (۸) معادله}$$

$$\text{و با استفاده از معادله (۹) داریم: } T_3 = 46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

پ- نقطه ( $V_1, I_1$ ) را روی مشخصه I-V، ۱ انتخاب کنید. نقطه ( $V_2, I_2$ ) روی مشخصه I-V، ۲ را پیدا کنید، به گونه‌ای که رابطه  $I_2 - I_1 = I_{SC2} - I_{SC1}$  برآورده شود (شکل ۱-ب).

ت-  $V_3$  و  $I_3$  را به وسیله معادله‌های (۶) و (۷) محاسبه نمایید.

ث- چند مجموعه از نقاط داده ( $V_1, I_1$ ) روی مشخصه‌های I-V، را انتخاب کنید و ( $I_3, V_3$ ) را برای هر یک به وسیله رویه‌های (پ) و (ت) محاسبه نمایید.

ج- مشخصه‌های I-V ۳ در تابش  $G_3$  و دمای  $T_3$  به وسیله مجموع نقاط داده ( $V_3, I_3$ ) داده می‌شود (خط چین در شکل ۱-ب).

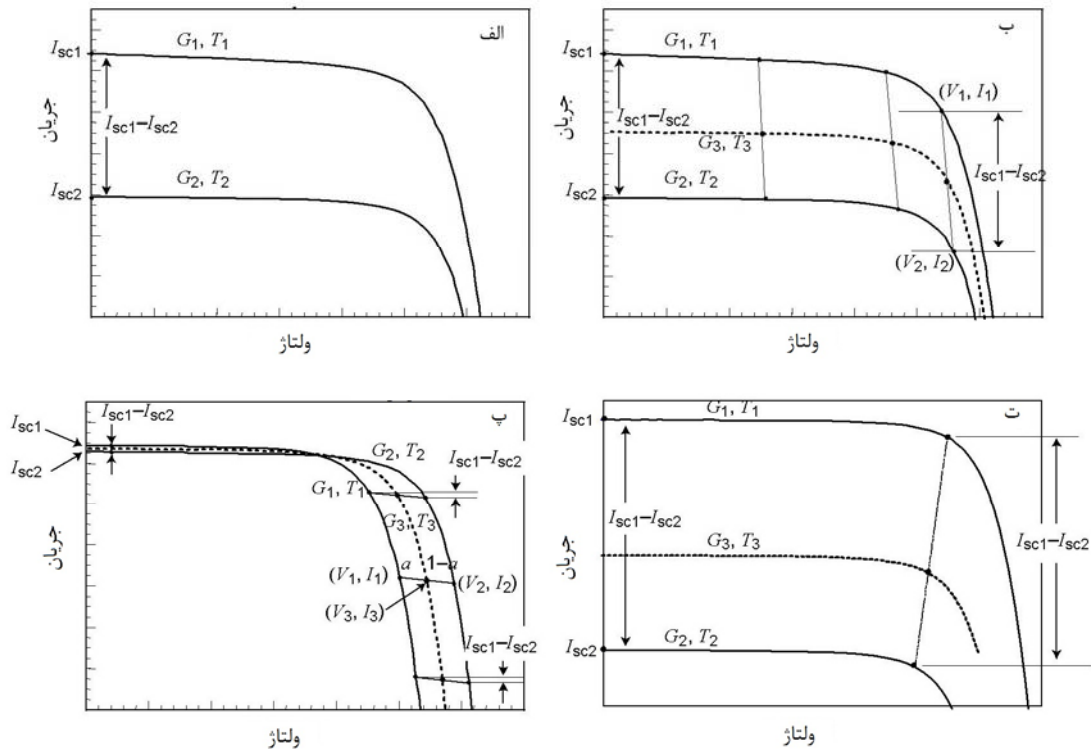
شکل‌های ۱-الف و ۱-ب نمونه‌ای از تصحیح تابش را نشان می‌دهند. شکل ۱-پ، نمونه‌ای از تصحیح دما را نشان می‌دهد. شکل ۱-ت، تصحیح همزمان تابش و دما را نشان می‌دهد. زمانی که  $0 < a < 1$  است، از رویه درون‌یابی استفاده می‌شود. در غیر این صورت، رویه برون‌یابی است.

باید ذکر شود که در صورت ثابت بودن  $G_1, G_2, T_1$  و  $T_2$ ، نمی‌توان  $G_3$  و  $T_3$  را به طور مستقل انتخاب کرد، زیرا طبق معادله‌های (۸) و (۹)، با هم رابطه دارند (به شکل ۲ مراجعه شود). برای مثال، زمانی که  $G_1 = 1000 \text{ W/m}^2$ ،  $T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ،  $G_2 = 0 \text{ W/m}^2$  و  $T_2 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$  (منحنی تیره I-V در  $60 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) و این تمایل وجود دارد که منحنی جدید در  $G_3 = 750 \text{ W/m}^2$  باشد،  $a$  به وسیله معادله (۸) به صورت  $0.25$  محاسبه می‌شود. بنابراین،  $T_3$  از معادله (۹) باید برابر با  $30 \text{ } ^\circ\text{C}$  باشد.

**یادآوری ۱-** درون‌یابی معمولاً نتایج بهتری نسبت به برون‌یابی دارد.

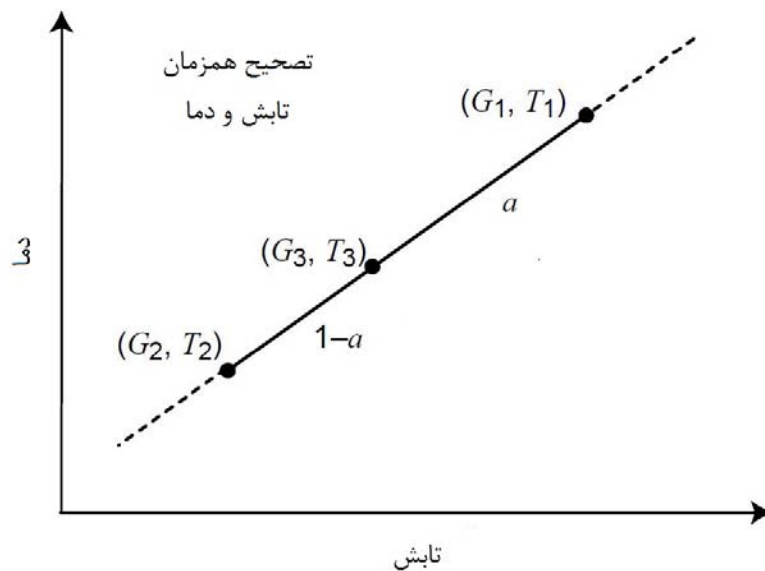
**یادآوری ۲-** زمانی که  $I_{SC2} \neq I_{SC1}$  و مشخصه‌های I-V تصحیح شده حول ولتاژ مدار باز نیاز می‌باشند، مشخصه‌های اندازه‌گیری شده باید فراتر از  $V_{OC}$  گسترش یابند.

**یادآوری ۳-** زمانی که هیچ نقاط داده اندازه‌گیری شده‌ای که دقیقاً  $I_2 = I_1 + (I_{SC2} - I_{SC1})$  را برآورده کند وجود ندارد،  $I_1$  و  $V_2$  می‌تواند از درون‌یابی نقاط داده در منحنی I-V ۲ محاسبه شوند.



شکل‌های (الف) و (ب) تصحیح‌های تابش را نشان می‌دهند. شکل (پ) تصحیح دما و شکل (ت) تصحیح همزمان تابش و دما را نشان می‌دهد.

شکل ۱- مثالی از تصحیح مشخصه‌های I-V به وسیله معادله‌های (۶) و (۷)



خط پرنگ و خط چین، گستره  $G_3$  و  $T_3$  را نشان می‌دهند که به ترتیب به وسیله درون‌یابی و برون‌یابی محاسبه می‌شوند.

شکل ۲- نمودار شماتیک رابطه  $G_3$  و  $T_3$  که می‌تواند در تصحیح همزمان تابش و دما برای مجموعه ثابتی از  $G_2, T_2$ ،  $G_1, T_1$  به وسیله معادله‌های (۸) و (۹) انتخاب شوند.

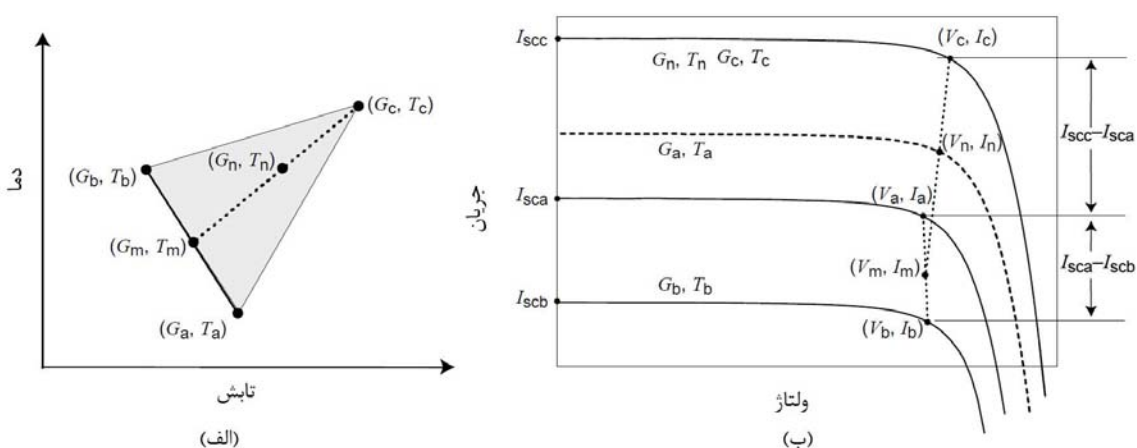
### ۳-۴-۳ تصحیح دماها و تابش‌های گوناگون از سه مشخصه I-V

تصحیح مشخصه‌های I-V به گستره‌های گوناگون دما و تابش، با ترکیب رویه‌های شرح داده شده در بند ۳-۴-۲ امکان‌پذیر می‌باشد. برای مثال، زمانی که سه مشخصه اندازه‌گیری شده در تابش‌ها و دماهای  $(G_a, T_a)$ ،  $(G_b, T_b)$  و  $(G_c, T_c)$ ، همان‌گونه که در شکل ۳-الف نشان داده شده، موجود می‌باشند، مشخصه‌های I-V در هر تابش و دمای  $(G_n, T_n)$  می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود:

الف- مشخصه‌ها در  $(G_m, T_m)$  از مشخصه‌هایی در  $(G_a, T_a)$  و  $(G_b, T_b)$  محاسبه می‌شوند.

ب- مشخصه‌ها در  $(G_n, T_n)$  از مشخصه‌ها در  $(G_m, T_m)$  و  $(G_c, T_c)$  محاسبه می‌شوند.

برای مثال، زمانی که  $(G_n, T_n)$  و  $(G_c, T_c)$ ،  $(G_b, T_b)$ ،  $(G_a, T_a)$  به ترتیب  $(15^\circ\text{C}, 950\text{ W/m}^2)$ ،  $(25^\circ\text{C}, 1100\text{ W/m}^2)$  و  $(30^\circ\text{C}, 850\text{ W/m}^2)$  هستند، آن‌گاه  $(G_m, T_m)$  برابر است با  $(20^\circ\text{C}, 900\text{ W/m}^2)$ .



ناحیه سایه‌دار (الف)، گستره‌ای را نشان می‌دهد که تنها می‌تواند با درون‌یابی محاسبه شود. شکل (ب)، نقطه‌ای از مشخصه‌های I-V که متناظر (الف) هستند را نشان می‌دهد.

شکل ۳- نمودار شماتیک فرآیندهای تصحیح مشخصه‌های I-V به گستره‌های گوناگون تابش و دما براساس سه مشخصه‌های اندازه‌گیری شده

### ۳-۴-۴ تصحیح دماها و تابش‌های گوناگون از چهار منحنی I-V اندازه‌گیری شده

زمانی که چهار مشخصه I-V اندازه‌گیری شده در تابش‌ها و دماهای گوناگون  $(G_a, T_a)$ ،  $(G_b, T_b)$ ،  $(G_c, T_c)$  و  $(G_d, T_d)$ ، همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده، موجود می‌باشند، مشخصه‌های I-V در هر تابش و دمای  $(G_n, T_n)$  می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود. این فرآیند برای تصحیح مشخصه‌ها در گستره وسیعی از تابش و دما مفید می‌باشد. با این که زوج  $(G_l, T_l)$  و  $(G_m, T_m)$  برای محاسبه مشخصه‌های  $(G_n, T_n)$  منحصر به فرد نمی‌باشد، نتایج خوب برای تصحیح معمولاً زمانی به وجود می‌آید که

$$(G_a - G_l) / (G_a - G_b) = (G_c - G_m) / (G_c - G_d)$$

برآورده شود.

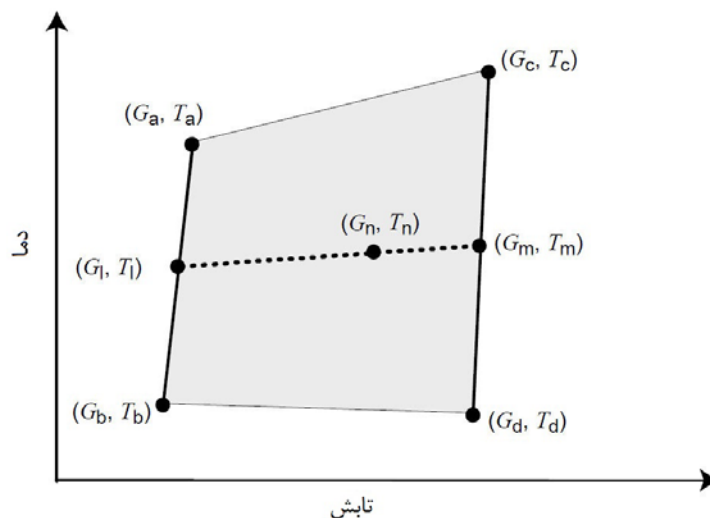
الف- مشخصه‌ها در  $(G_l, T_l)$  از مشخصه‌ها در  $(G_a, T_a)$  و  $(G_b, T_b)$  محاسبه می‌شوند.

ب- مشخصه‌ها در  $(G_m, T_m)$  از مشخصه‌ها در  $(G_c, T_c)$  و  $(G_d, T_d)$  محاسبه می‌شوند.

پ- مشخصه‌ها در  $(G_n, T_n)$  از مشخصه‌ها در  $(G_l, T_l)$  و  $(G_m, T_m)$  محاسبه می‌شوند.

برای مثال، زمانی که  $(G_a, T_a)$ ،  $(G_b, T_b)$ ،  $(G_c, T_c)$ ،  $(G_d, T_d)$  و  $(G_n, T_n)$  به ترتیب  $(55 \text{ }^\circ\text{C}, 500 \text{ W/m}^2)$ ،  $(31 \text{ }^\circ\text{C}, 400 \text{ W/m}^2)$ ،  $(60 \text{ }^\circ\text{C}, 1000 \text{ W/m}^2)$ ،  $(32 \text{ }^\circ\text{C}, 950 \text{ W/m}^2)$  و  $(45 \text{ }^\circ\text{C}, 800 \text{ W/m}^2)$  هستند، آن گاه  $(G_l, T_l)$  و  $(G_m, T_m)$  به ترتیب برابر است با  $(43 \text{ }^\circ\text{C}, 450 \text{ W/m}^2)$  و  $(46 \text{ }^\circ\text{C}, 975 \text{ W/m}^2)$  می باشند.

مشخصه‌های I-V در گستره تابش و دمای نشان داده شده به وسیله ناحیه سایه دار شکل ۴ می توانند به وسیله درون یابی محاسبه شوند. مشخصه‌ها در گستره غیر از ناحیه سایه دار می توانند با استفاده از برون یابی محاسبه شوند. هرچند باید مراقب بود که برون یابی وسیع به نتایج تصحیح نامناسب و دقت تصحیح ضعیف منتهی نشود.



ناحیه سایه دار، گستره‌ای را نشان می دهد که تنها می تواند به وسیله درون یابی محاسبه شود.  
 شکل ۴- نمودار شماتیک فرآیندهای تصحیح مشخصه‌های I-V به گستره‌های گوناگون تابش و دما براساس چهار مشخصه اندازه گیری شده

#### ۴ تعیین ضرایب دمایی

##### ۱-۴ کلیات

برای افزارهای PV، معمولاً از ضرایب دمایی برای پارامترهای زیر استفاده می شود:  
 جریان اتصال کوتاه ( $\alpha$ )، ولتاژ مدار باز ( $\beta$ ) و قله توان ( $\delta$ ).  
 این پارامترها می توانند از اندازه گیری‌ها در نور آفتاب طبیعی یا نور آفتاب شبیه سازی شده تعیین شوند. ضرایبی که این گونه تعیین شده اند، در تابشی که اندازه گیری‌ها در آن انجام می شوند، معتبر هستند. برای افزارهای PV خطی، این ضرایب روی گستره تابش  $\pm 30\%$  این سطح، معتبر می باشند.  
 ضرایب دمایی مدول با لایه نازک<sup>۱</sup> ممکن است به تابش، تابش طیفی و تاریخچه حرارتی مدول بستگی داشته باشد. زمانی که به ضرایب دمایی ارجاع می شود، باید به تاریخچه مربوط به شرایط و نتایج تابش همراه با تاریخچه حرارتی اشاره شود.

1- Thin-film module

برای ارزیابی ضرایب دمایی مدول در سطوح تابش مختلف، به استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10 مراجعه شود.

#### ۲-۴ دستگاه‌ها

دستگاه‌های اندازه‌گیری باید مطابق موارد زیر باشند:

الف- دستگاه‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری باید با الزامات استاندارد بین‌المللی IEC 60904-1 مطابقت داشته باشند.

ب- اگر از شبیه‌ساز خورشیدی به‌عنوان منبع تابش استفاده می‌شود، این شبیه‌ساز باید با طبقه BBB یا بهتر از آن طبق استاندارد بین‌المللی IEC 60904-9، مطابقت داشته باشد.

پ- دستگاه شامل تجهیزات ضروری برای تغییر دمای نمونه آزمون در گستره دلخواه می‌باشد.

یادآوری- از تجهیزات زیر با موفقیت استفاده شده است:

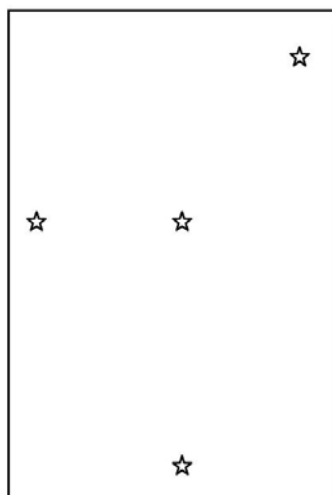
- دمنده‌ها<sup>۱</sup> که امکان خنک‌سازی و گرم کردن نمونه با جریان هوا را فراهم می‌آورند؛

- بلوک‌هایی نصب شونده دارای دمای متغیر در تماس مستقیم با یک تک سلول یا کل مدول؛

- اتاقک‌های با پنجره شفاف، که دمای داخلی آن می‌تواند کنترل شود؛

- یک سایه‌بان قابل برداشتن، زمانی که از نور آفتاب طبیعی استفاده می‌شود.

ت- اگر افزار آزمون، یک مدول است، دمای مدول باید در تقریباً چهار موقعیت نشان داده شده در شکل ۵، اندازه‌گیری شود (با اطمینان از این‌که هر موقعیت مستقیماً پشت یک سلول قرار دارد) و میانگین مقادیر آن‌ها به‌دست آورده شود.



شکل ۵- موقعیت‌های اندازه‌گیری دمای مدول آزمون پشت سلول‌ها

#### ۳-۴ روبه در نور آفتاب طبیعی

اندازه‌گیری در نور آفتاب طبیعی باید تنها زمانی انجام شود که:

- تابش کل، دست‌کم به اندازه حد بالایی گستره دلخواه، باشد؛

1- Blowers



- تغییر تابش ناشی از نوسانات کوتاه مدت (ابرها، ریزگرد<sup>۱</sup> یا دود) کمتر از  $\pm 2\%$  تابش کل اندازه‌گیری شده به وسیلهٔ افزار مرجع، می‌باشد؛
- سرعت باد، کمتر از  $2 \text{ m.s}^{-1}$  است.

**یادآوری ۱-** اندازه‌گیری‌ها در نور آفتاب طبیعی باید تا حد امکان به‌طور عجله‌ای در چند ساعت در یک روز انجام شوند تا تأثیر تغییرات در شرایط طیفی کمینه گردد. در غیر این صورت، ممکن است نیاز به تصحیح‌های طیفی باشد.

الف- اگر آزمونهٔ آزمون و افزار مرجع (استاندارد بین‌المللی IEC 60904-2) مجهز به کنترل‌های دما می‌باشند، کنترل‌ها را روی سطح دلخواه تنظیم کنید.

ب- اگر از کنترل‌های دما استفاده نمی‌شود، آزمونه و افزار مرجع را نسبت به خورشید و باد در سایه قرار دهید تا دماهای آن‌ها در حدود  $\pm 2^\circ\text{C}$  دمای هوای محیط یکنواخت شود. متناوباً، به آزمونهٔ آزمون اجازه دهید که تا دمای تثبیت شده خود متعادل شود یا آزمونهٔ آزمون را تا نقطه‌ای زیر دمای مورد نیاز آزمون خنک نمایید و سپس اجازه دهید که مدول به‌طور طبیعی گرم شود. قبل از ادامه دادن باید افزار مرجع نیز در حدود  $\pm 2^\circ\text{C}$  دمای تعادلی خود تثبیت شود.

**یادآوری ۲-** برای مدول‌های با سطح وسیع، در صورتی که الزامات دمایی برآورده نمی‌شود، رویکرد جایگزین این است که از دمای معادل سلول (ECT)<sup>۲</sup>، مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC 60904-5 استفاده شود.

پ- مشخصهٔ I-V و دمای آزمونه را همزمان با ثبت جریان اتصال کوتاه و دمای افزار مرجع در دماهای دلخواه، ثبت کنید. در صورت لزوم، اندازه‌گیری‌ها را بلافاصله پس از برداشتن سایه‌بان انجام دهید. مقادیر  $V_{oc}$ ،  $I_{sc}$  و  $P_{max}$  را اندازه‌گیری نمایید.

ت- دمای افزار را به وسیلهٔ کنترل دما یا به تناوب با برداشتن حفاظ و در سایه قرار دادن مدول آزمون، که برای دستیابی و حفظ دمای دلخواه لازم می‌باشد، تنظیم کنید. به‌طور جایگزین، می‌توان اجازه داد که افزار آزمون به‌طور طبیعی گرم شود، در حالی که رویهٔ ثبت دادهٔ آیت‌م (ب) به‌طور دوره‌ای حین گرم شدن<sup>۳</sup> انجام شود.

ث- اطمینان حاصل نمایید که دمای افزار آزمون و افزار مرجع پایدار شده باشد و در محدودهٔ  $\pm 2^\circ\text{C}$  ثابت باقی بماند و این که تابش که به وسیلهٔ افزار مرجع اندازه‌گیری شده، حین دورهٔ ثبت برای هر مجموعهٔ داده در محدودهٔ  $\pm 1\%$  ثابت باقی بماند.

ج- در صورت لزوم، داده را به سطح تابشی که برای آن ضرایب دمایی باید با استفاده از یکی از رویه‌های این استاندارد گزارش گردد، ترجمه نمایید. ترجمه تنها می‌تواند در گسترهٔ تابشی انجام شود که در آن مدول، همان‌گونه که در استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10 تعریف شده، خطی باشد.

چ- مراحل (ت) تا (ج) را تکرار کنید. دماهای مدول باید به گونه‌ای باشند که گسترهٔ دلخواه دست کم  $30^\circ\text{C}$  باشد و این که در دست کم چهار افزایش تقریباً مساوی اندازه‌گیری شود.

---

1- Haze  
2- Equivalent Cell Temperature  
3- Warm-up

#### ۴-۴ رویه با شبیه‌ساز خورشیدی

رویه با استفاده از شبیه‌ساز خورشیدی به صورت زیر است:

الف- مدول را تا دمای دلخواه گرم یا خنک نمایید، تا زمانی که دمای آن در محدوده  $\pm 2^\circ\text{C}$  یکنواخت باشد. زمانی که دمای مدول پایدار شد، تابش را با استفاده از افزار مرجع روی سطح دلخواه تنظیم کنید (استاندارد بین‌المللی IEC 60904-2).

ب- دما و مشخصه جریان - ولتاژ آزمون را ثبت نمایید و مقادیر  $I_{SC}$ ،  $V_{OC}$  و  $P_{max}$  را به دست آورید.  
پ- دمای مدول را در مراحل تقریباً  $5^\circ\text{C}$  در یک گستره دلخواه دست کم  $30^\circ\text{C}$  تغییر دهید و مراحل (الف) و (ب) را تکرار نمایید.

#### ۵-۴ محاسبه ضرایب دما

۴-۵-۱ مقادیر  $I_{SC}$ ،  $V_{OC}$  و  $P_{max}$  را به صورت تابعی از دمای افزار رسم کنید و بهترین منحنی حداقل مربعات برازش<sup>۱</sup> هر مجموعه داده ایجاد نمایید.

۴-۵-۲ از شیب‌های حداقل مربعات برازش، خطوط صافی را برای جریان، ولتاژ و  $P_{max}$  رسم نمایید.  $\alpha$ ، ضریب دمایی جریان اتصال کوتاه،  $\beta$ ، ضریب دمایی ولتاژ مدار باز و  $\delta$ ، ضریب دمایی  $P_{max}$  را برای مدول محاسبه نمایید.

یادآوری ۱- برای تعیین این که آیا مدول‌های آزمون می‌توانند به عنوان افزارهای خطی در نظر گرفته شوند، به استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10 مراجعه شود.

یادآوری ۲- ضرایب دمایی تنها در طیف و سطح تابشی که در آن اندازه‌گیری شده‌اند، معتبر می‌باشد.

یادآوری ۳- ضرایب دمایی نسبی بر حسب درصد می‌توانند با تقسیم مقدار محاسبه شده  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\delta$  بر مقادیر جریان، ولتاژ و قله توان در  $25^\circ\text{C}$  تعیین شوند.

یادآوری ۴- از آنجایی که عامل انباشت مدول، تابعی از دما است، استفاده از حاصل ضرب  $\alpha$  و  $\beta$  به عنوان ضریب دمای قله توان مناسب نیست.

#### ۵ تعیین مقاومت سری داخلی $R_S$ و $R'_S$

##### ۱-۵ کلیات

روش تجربی برای تعیین  $R_S$  یا  $R'_S$ ، برای رویه‌های تصحیح ۱ و ۲ متفاوت است، هرچند هر دو از مجموعه داده‌های یکسان منحنی‌های I-V شروع می‌شوند. این پارامترها ممکن است در نور آفتاب طبیعی یا نور آفتاب شبیه‌سازی شده با رویه زیر تعیین شوند.

مشخصه‌های جریان- ولتاژ آزمون را در دمای ثابت و در سه یا بیش از سه تابش متفاوت ( $G_1 \dots G_N$ ) که گستره دلخواهی که در آن ترجمه منحنی باید انجام شود را پوشش می‌دهد، ترسیم نمایید. نیازی نیست

1- Least squares fit

که مقادیر دقیق تابش‌ها معلوم باشند. برای افزارهای خطی، این مقادیر می‌توانند طبق  $G_N = \frac{I_{SC,N}}{I_{SC1}} \times G_1$  محاسبه شود. حین اندازه‌گیری‌های I-V، دمای افزار باید در محدوده  $\pm 2^\circ\text{C}$  پایدار باشد. منحنی‌های I-V را در یک نمودار رسم نمایید (به شکل ۶-الف مراجعه شود).

یادآوری - برای تغییر دادن تابش می‌توان از توری‌های با سطح وسیع<sup>۱</sup> با انتقال یکنواخت استفاده نمود. در مورد تابش طیفی، می‌تواند به صورت صافی‌های<sup>۲</sup> مش خنثی‌کننده در نظر گرفته شوند.

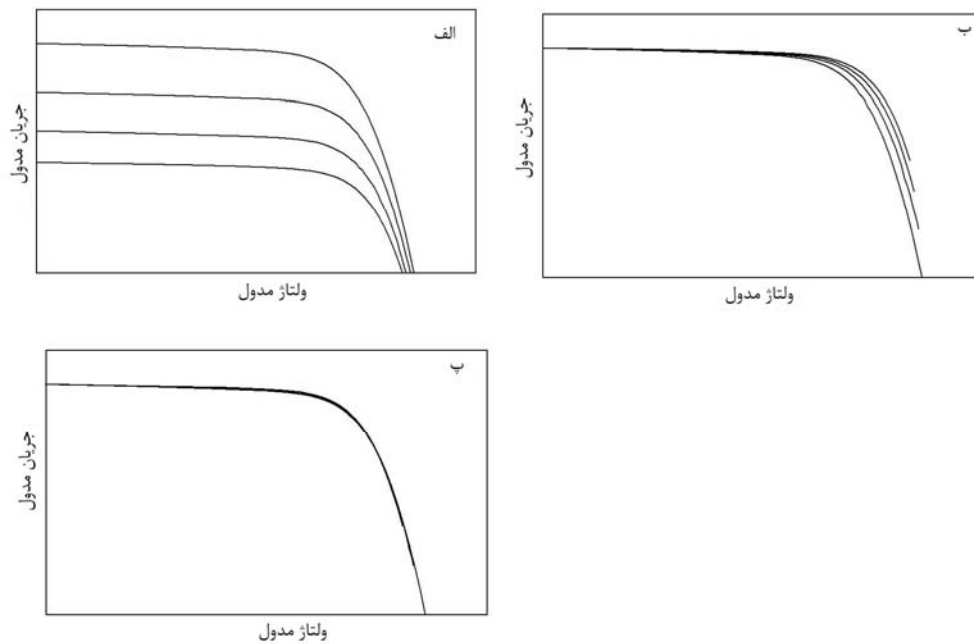
## ۲-۵ رویه تصحیح ۱

۱-۲-۵ فرض کنید که  $I_{SC1}$ ، جریان اتصال کوتاه مشخصه I-V ثبت شده در بالاترین تابش  $G_1$  باشد، به ترتیب تمام  $(N-1)$  منحنی‌های دیگر ثبت شده در تابش پایین‌تر ( $G_2 \dots G_N$ ) تا  $G_1$  را با استفاده از  $R_S = 0\Omega$ ، ترجمه کنید.

۲-۲-۵ منحنی‌های I-V تصحیح شده را در یک نمودار رسم کنید (به شکل ۶-ب مراجعه شود).

۳-۲-۵  $R_S$  را با گام‌های  $10\text{ m}\Omega$  در جهت مثبت و منفی تغییر دهید.

مقدار مناسب " $R_S$ " در صورتی تعیین شده می‌باشد که انحراف از بیشینه مقادیر توان خروجی مشخصه I-V ترانزده<sup>۳</sup> در محدوده  $\pm 0.5\%$  یا بهتر اتفاق افتد (به شکل ۶-پ مراجعه شود).



الف- مشخصه‌های I-V اندازه‌گیری شده در تابش‌های مختلف و دمای ثابت.

ب- مشخصه‌های I-V تصحیح شده در  $R_S = 0\Omega$ .

پ- مشخصه‌های I-V تصحیح شده در بهینه  $R_S$ .

## شکل ۶- تعیین مقاومت سری داخلی

- 1- Large area meshes
- 2- Filters
- 3- Transposed

### ۳-۵ رویه تصحیح ۲

۳-۵-۱ فرض کنید که  $I_{SC1}$ ، جریان اتصال کوتاه مشخصه I-V ثبت شده در بالاترین تابش  $G_1$  باشد، به ترتیب تمام  $(N-1)$  منحنی‌های دیگر ثبت شده در پایین‌ترین تابش  $(G_2 \dots G_N)$  را به  $G_1$  با استفاده از  $a=0$ ،  $R'_S = 0\Omega$  به‌عنوان مقادیر شروع شونده با استفاده از معادله‌های (۴) و (۵)، ترجمه کنید.

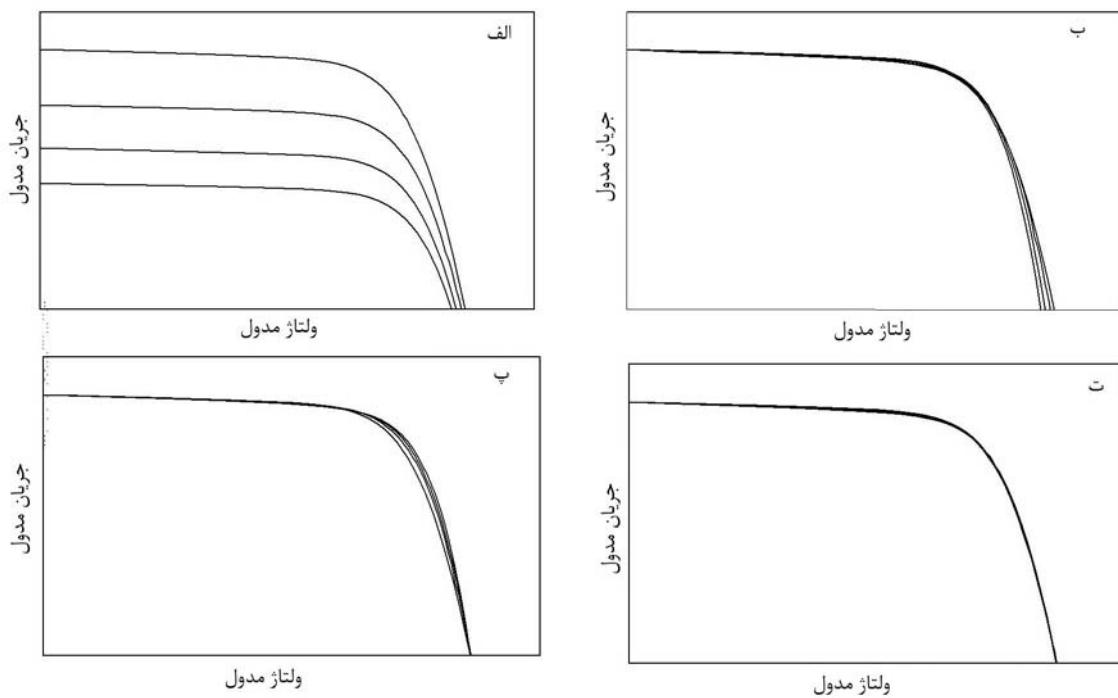
۳-۵-۲ منحنی‌های I-V تصحیح شده را در یک نمودار رسم کنید (به شکل ۷-ب مراجعه شود).

یادآوری- در مقادیر شروع ارائه شده  $a=0$  و  $R'_S = 0\Omega$  تنها جریان‌های اتصال کوتاه ترجمه شده، اتفاق خواهند افتاد.

۳-۵-۳ پارامتر "a" از معادله (۵) را در گام‌های  $0.1 \dots 0.1$  افزایش دهید و  $R'_S = 0\Omega$  را حفظ کنید. مقدار مناسب "a" زمانی تعیین شده می‌باشد که ولتاژهای مدار باز مشخصه‌های I-V ترانزده در محدوده  $\pm 0.5\%$  یا بهتر اتفاق افتد (به شکل ۷-پ مراجعه شود).

یادآوری ۱- در صورتی که پیدا کردن پارامتر مناسبی که به مطابقت  $V_{oc}$  ترجمه شده منتهی شود، امکان‌پذیر نمی‌باشد، رویه تصحیح برای این فناوری افزار PV مناسب نمی‌باشد.

یادآوری ۲- ضریب تصحیح تابش  $V_{oc}$  به‌طور نمونه عمدتاً برای افزارهای PV خطی، کوچکتر از  $0.1$  است.



الف- مشخصه‌های I-V اندازه‌گیری شده در تابش‌های مختلف و دمای ثابت

ب- مشخصه‌های I-V تصحیح شده در  $a=0$  و  $R'_S = 0\Omega$

پ- مشخصه‌های I-V تصحیح شده در بهینه  $a=0.1$  و  $R'_S = 0\Omega$

ت- مشخصه‌های I-V تصحیح شده در بهینه  $a=0.1$  و بهینه  $R'_S = 0.1$

شکل ۷- تعیین عامل تصحیح تابش  $V_{oc}$  و مقاومت سری داخلی

۳-۵-۴ "a" را روی مقدار تعیین شده در بند ۳-۵-۳ ثابت کنید. از رابطه  $(m\Omega) \times 10 \times n_s/n_p$  به‌عنوان

برآوردی برای مقاومت سری داخلی  $R'_S$  استفاده نمایید، که در آن  $n_s$  تعداد سلول‌های به‌طور سری متصل شده و  $n_p$  تعداد بلوک‌های به‌طور موازی متصل شده در افزار آزمون می‌باشد.

۵-۳-۵  $R'_S$  را با گام‌های  $10 \text{ m}\Omega$  در جهت مثبت و منفی تغییر دهید. مقدار مناسب " $R'_S$ " در صورتی تعیین شده می‌باشد که انحراف از بیشینه مقادیر توان خروجی مشخصه‌های I-V ترانهاده در محدوده  $\pm 0.5\%$  یا بهتر اتفاق افتد (به شکل ۷-ت مراجعه شود).

## ۶ تعیین عامل تصحیح منحنی $\kappa$ و $\kappa'$

### ۱-۶ کلیات

روش تجربی برای تعیین عوامل تصحیح منحنی  $\kappa$  و  $\kappa'$  مشابه هر دو رویه تصحیح ۱ و ۲ است. این عوامل می‌توانند با رویه زیر، در نور آفتاب طبیعی یا نور آفتاب شبیه‌سازی شده تعیین شوند. ضرایب دمایی  $\alpha$  و  $\beta$  باید هنگام استفاده به‌عنوان ورودی‌ها برای تعیین  $\kappa$  و  $\kappa'$  معلوم باشند.

### ۲-۶ رویه

۱-۲-۶ مشخصه‌های جریان-ولتاژ آزمون را در تابش ثابت و در دماهای مختلف ( $T_1 \dots T_N$ ) که گستره دلخواهی که در آن ترجمه منحنی باید انجام شود را پوشش می‌دهد، پیگیری نمایید. حین اندازه‌گیری‌های I-V، تابش نباید بیش از  $\pm 1\%$  تفاوت پیدا کند. مقدار تابش باید در گستره‌ای قرار گیرد که برای تعیین پارامترهای تصحیح تابش در بند ۵ مورد استفاده قرار گرفته است (به شکل ۸-الف مراجعه شود).

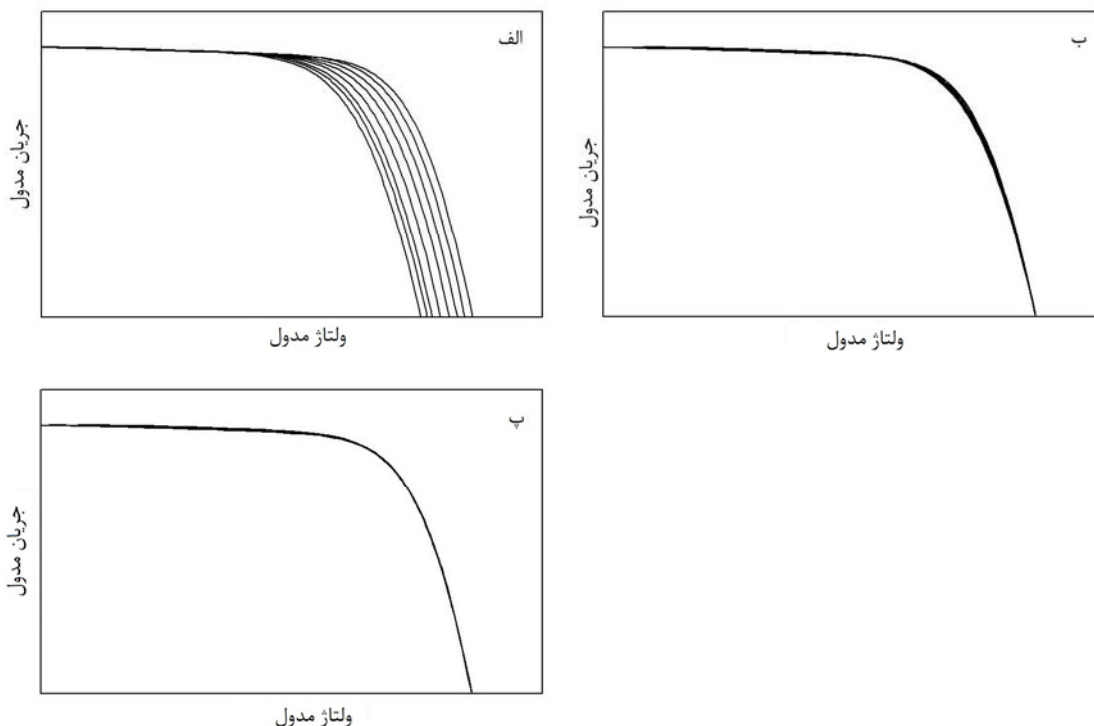
یادآوری ۱- برای کسب اطلاعات درباره تجهیزات و تکنیک‌های اندازه‌گیری کنترل دما، به بند ۴-۱ مراجعه شود.

یادآوری ۲- هنگام اندازه‌گیری مشخصه‌های I-V مدول، باید اقدامات احتیاطی به‌منظور اطمینان از غیریکنواختی دمای افزار در محدوده  $\pm 2^\circ\text{C}$  سطح مورد نظر، اتخاذ گردد.

۲-۲-۶ فرض کنید که  $T_1$ ، پایین‌ترین دمای افزار است، به ترتیب تمام  $(N-I)$  منحنی‌های دیگر ثبت شده در دماهای بالاتر ( $T_2 \dots T_N$ ) را با استفاده از  $\kappa = 0$  ( $\Omega/k$ ) در معادله (۲) یا  $\kappa' = 0$  ( $\Omega/k$ ) در معادله (۵)، به  $T_1$  ترجمه کنید.

۳-۲-۶ منحنی‌های I-V تصحیح شده را در یک نمودار رسم نمایید (به شکل ۸-ب مراجعه شود).

۴-۲-۶ با شروع از  $0$  ( $\text{m}\Omega/k$ )،  $\kappa$  یا  $\kappa'$  را با گام‌های  $1 \text{ m}\Omega/K$  در جهت مثبت یا منفی تغییر دهید. مقدار مناسب  $\kappa$  یا  $\kappa'$  در صورتی تعیین شده می‌باشد که انحراف از بیشینه مقادیر توان خروجی مشخصه‌های I-V ترانهاده در محدوده  $\pm 0.5\%$  یا بهتر اتفاق افتد (به شکل ۸-پ مراجعه شود).



- الف- مشخصه‌های I-V اندازه‌گیری شده در دماهای مختلف افزار.  
 ب- مشخصه‌های تصحیح شده دمایی با  $\kappa = 0$  ( $\Omega/K$ ) یا  $\kappa' = 0$ .  
 پ- مشخصه‌های تصحیح شده با بهینه  $\kappa$  و بهینه  $\kappa'$ .

شکل ۸- تعیین عامل تصحیح منحنی

## ۷ گزارش

در صورت اعمال تصحیح‌های تابش و دمایی به مشخصه‌های I-V اندازه‌گیری شده، اطلاعات زیر باید ارائه شوند:

- الف- توصیف افزارهٔ آزمون؛
  - ب- شرایط اندازه‌گیری تابش و دمای افزار. در صورتی‌که از روش درونیابی خطی استفاده می‌شود، تمام مجموعه‌های  $(G_i, T_i)$  باید گزارش شوند؛
  - پ- معرفی رویهٔ تصحیح مورد استفاده؛
  - ت- مقادیر و مبدأ پارامترهای تصحیح I-V؛
  - ث- سطح تابشی که ضرایب دمایی به آن ارجاع داده‌اند؛
  - ج- بیان دقت ترجمهٔ برآورد شده.
- اگر پارامترهای تصحیح I-V اندازه‌گیری می‌شوند، اطلاعات زیر باید ارائه شوند:
- معرفی روش اندازه‌گیری استفاده شده؛
  - گستره‌های تابش و دمای افزار که به‌عنوان مبنا برای تعیین پارامترهای تصحیح I-V به‌کار برده شده‌اند؛
  - پروتکل اندازه‌گیری و نتایج به‌دست آمده که به‌طور مناسب با جداول، گراف‌ها، عکس‌ها ارائه شده‌اند؛

- توزیع تابش طیفی منبع نور؛
- بیان عدم قطعیت اندازه‌گیری برآورد شده برای پارامترهای تصحیح I-V؛
- بیان این که آیا افزار PV می‌تواند مطابق استاندارد بین‌المللی IEC 60904-10 به‌عنوان خطی در نظر گرفته شود و روی چه گستره‌ای از تابش‌ها و دماها، خطی است؛
- شرایط الکتریکی آزمونه با توجه به تاریخچه دما و رفتار نور قبل از اندازه‌گیری‌ها، در صورت کاربردی بودن؛
- هرگونه انحراف از، اضافه شده‌ها به و حذف شده‌ها از رویه‌های اندازه‌گیری برای تعیین پارامترهای تصحیح I-V.

## کتاب نامه

### (اطلاعاتی)

- 1** IEC 60904-5, Photovoltaic devices - Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method
- 2** IEC 61853-1, Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating - Part 1: Irradiance and temperature performance measurements and power rating