



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۱۴۱۱۸

چاپ اول

**ISIRI**

14118

1st. Edition

مدول فتوولتاییک - کالیبراسیون اولیه  
سلول های فتوولتاییک زمینی غیرمتمرکز با  
استفاده از یک طیف جدولی

**Photovoltaic module- Calibration of  
Primary Non-Concentrator Terrestrial  
Reference Cells Using a Tabular Spectrum**

ICS:27.160

## به نام خدا

### آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی 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.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه\* صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود 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، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود 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 می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup> کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفتهای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بینالمللی بهره گیری می شود.

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

\* مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

1- International organization for Standardization

2 - International Electro technical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«مدول فتوولتاییک – کالیبراسیون اولیه سلول های فتوولتاییک زمینی غیرمتمرکز با استفاده از یک طیف جدولی»

### رئیس:

احمدی بروغنی، سید یوسف  
(دکترای مکانیک)

### سمت و/یا نمایندگی

عضو هیات علمی دانشگاه بیرجند

### دبیران:

اکبری، مریم  
(لیسانس مهندسی برق مخابرات)

ناظر کیفی کارخانه پانل های خورشیدی  
آریا سولار

### بذری، مصطفی

(لیسانس مهندسی صنایع)

کارشناس اداره کل استاندارد تحقیقات  
صنعتی خراسان جنوبی

### اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

### اکبری، براتعلی

(فوق دیپلم مهندسی برق)

هیات مدیره شرکت ساختمانی تاسیساتی  
بیرجند آرک

### پویان، محمدرضا

(کارشناس ارشد مخابرات)

هیات مدیره شرکت ساختمانی تاسیساتی  
بیرجند آرک

### حسین آبادی، بهروز

(لیسانس مهندسی برق)

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد بیرجند

### دیانی، مهدی

(لیسانس مهندسی برق)

کارشناس آزمایشگاه شرکت کویر تایر  
بیرجند

مدیر کل اداره استاندارد و تحقیقات صنعتی  
خراسان جنوبی

سعادت، علی  
(کارشناس ارشد مهندسی برق)

عضو هیات علمی دانشگاه ملی بیرجند

فرهادی، مهدی  
(کارشناس ارشد مهندسی برق)

عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور واحد  
بیرجند

قاضی زاده، علی  
(کارشناس ارشد مهندسی شیمی)

عضو هیات علمی دانشگاه شهید باهنر  
کرمان

مرتضی پور، حمید  
(دکترای مکانیک ماشین آلات کشاورزی)

کارشناس ارشد تحقیقات شرکت توزیع برق  
خراسان جنوبی

وحیدی، تقی  
(لیسانس مهندسی برق)

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با مؤسسه استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۲	۲ مراجع الزامی
۳	۳ اصطلاحات و تعاریف
۳	۴ خلاصه ای از روش آزمون
۴	۵ اهمیت و استفاده
۴	۶ ابزار
۶	۷ توصیف خصوصیات
۶	۸ روش اجرایی
۷	۹ محاسبه نتایج
۷	۱۰ گزارش
۸	۱۱ درستی و انحراف
۱۰	۱۲ پیوست الف (الزامی) طراحی موازی ساز

## پیش گفتار

استاندارد " مدول فتوولتاییک - کالیبراسیون اولیه سلول های فتوولتاییک زمینی غیرمتمرکز با استفاده از یک طیف جدولی " که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تهیه و تدوین شده و در ششصد و چهل و ششمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مکانیک و فلزشناسی مورخ ۸۹/۱۲/۲۲ مورد تصویب قرار گرفته است .

اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود. برای حفظ و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع ، علوم و خدمات، استاندارد های ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارایه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت . بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

ASTM E 1125:2005 Photovoltaic moule- Calibration of Primary Non-Concentrator  
Terrestrial Reference Cells Using a Tabular Spectrum

## مدول فتوولتاییک – کالیبراسیون اولیه سلول های فتوولتاییک زمینی غیرمتمرکز با استفاده از یک طیف جدولی

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تعیین این استاندارد تعیین، روش آزمون برای استفاده در کالیبراسیون و نیز متمایز نمودن سلول های مرجع فتوولتاییک زمینی از توزیع تابشی و طیفی مرجع مورد نظر (همانند مندرجات جداول G173) می باشد. الزامات فیزیکی توصیه شده برای این سلول های مرجع، در مشخصات استاندارد Astm E 1040 توصیف می شوند. سلول های مرجع اصولاً برای تعیین عملکرد الکتریکی وسایل فتوولتاییک استفاده می شوند.

۲-۱ سلول های مرجع فتوولتاییک اولیه، در نور طبیعی آفتاب، با استفاده از پاسخ طیفی و نسبی سلول، نسبی طیف نور خورشید، و یک توزیع تابشی به صورت طیف یکسان، کالیبره می شوند.

۳-۱ این روش آزمون مستلزم استفاده از یک پیرانومتر است که مطابق با روش آزمون استاندارد Astm E816 کالیبره شده است، که مستلزم استفاده از یک گرماسنج خورشیدی است که برای مرجع رادیومتری جهانی قابل ردیابی است. بنابراین، سلول های مرجع و کالیبره شده طبق این روش آزمون، برای WRR<sup>1</sup> قابل ردیابی هستند.

۴-۱ این روش آزمون، تکنیکی است که می تواند ب جای شیوه های ذکر شده در روش آزمون استاندارد Astm E1362 مورد استفاده قرار گیرد. این روش آزمون، در هر طیفی به سهولت توانایی لازم برای متمایز نمودن یک سلول مرجع را ارائه می دهد که برای آن داده های جدولی در دسترس هستند. انتخاب طیف مرجع مخصوص نیز، به کاربر واگذار می شود.

۵-۱ این روش آزمون، فقط برای کالیبره نمودن یک سلول فتوولتاییک بکار می رود که یک وابستگی خطی از جریان اتصال کوتاه را بر تابش روی گستره ای از کاربرد را نشان می دهد. همچنان که در روش آزمون استاندارد Astm E 1143 تعریف شده است.

---

<sup>1</sup>- world Radiometric Reference(WRR)

۶-۱ این روش آزمون فقط برای کالیبراسیون سلول مرجع ساخته شده با یک تک اتصال فتوولتاییک به کار می رود.

۷-۱ این استاندارد، به هر حال، مدعی مطرح کردن تمام مسائل ایمنی مربوط به موارد کاربرد استاندارد فوق نیست. برقراری موارد ایمنی، بهداشتی مناسب و تعیین عملی بودن محدودیت های نظارتی قبل از استفاده از این استاندارد، بر عهده کاربر می باشد.

## ۲ مراجع الزامی

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

- 2-1 ASTM E 772 : Terminology Relating to Solar Energy Conversion
- 2-2 ASTM E 816: Test Method for Calibration of Pyrheliometers by Comparison to Reference Pyrheliometers
- 2-3 ASTM E 948: Test Methods for Electrical Performance of Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Cells Using Reference Cells
- 2-4 ASTM E 973: Test Method for Determination of the Spectral Mismatch Between a Photovoltaic Device and a Photovoltaic Reference Cell
- 2-5 ASTM E 1021: Test Methods for Measuring the Spectral Response of Photovoltaic Cells
- 2-6 ASTM E1039 Test Method for Calibration and Characterization of Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Reference Cells Under Global Irradiation
- 2-7 ASTM E 1040: Specification for Physical Characteristics of Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Reference Cells
- 2-8 ASTM E 1328: Terminology Relating to Photovoltaic Solar Energy Conversion
- 2-9 ASTM E 1362: Test Method for Calibration of Non-Concentrator Photovoltaic Secondary Reference Cells
- 2-10 ASTM G 173: Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface



### ۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها، اختصارات و یگاها

۱-۳ در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد ملی ایران به شماره ۸۴۹۳: سال ۱۳۸۴ و ASTM E 772، به کار می‌رود.

۲-۳ نمادها - در این روش آزمون نمادها و واحدهای زیر به کار می‌روند:

$\lambda$  - طول موج، نانومتر یا میکرومتر

$I_{sc}$  - جریان اتصال کوتاه،  $A$

$E$  - تابش (تشنش)،  $W/m^2$

$Et$  - تابش کل  $W/m^2$

$E(\lambda)$  - تابش طیفی  $Wm^{-2}\mu m^{-1}$

$R(\lambda)$  - پاسخ طیفی  $AW^{-1}$

$Rr(\lambda)$  - پاسخ طیفی سلول مرجع  $AW^{-1}$

$T$  - دما -  $^{\circ}C$

$\alpha$  - ضریب حرارت سلول مرجع  $I_{sc}$ ،  $^{\circ}C^{-1}$

$N$  - تعداد کل نقاط داده‌ها

$C$  - ثابت کالیبراسیون  $Am^2W^{-1}$

$M$  - پارامتر عدم تطبیق طیفی

$F$  - فاکتور تصحیح طیفی، و

$S$  - انحراف استاندارد

### ۴ خلاصه ای از روش آزمون

۱-۴ کالیبراسیون یک سلول مرجع فتوولتاییک اولیه، وقتی با نور طبیعی آفتاب روشن شود، شامل اندازه‌گیری جریان اتصال کوتاه سلول همراه با کل تابش خورشیدی با استفاده از یک گرماسنج خورشیدی است.

نسبت جریان اتصال کوتاه سلول به تابش، تقسیم بر ضریب تصحیح، شبیه به پارامتر عدم تطبیق کیفی تعریف شده در روش آزمون استاندارد Astm E973، همان ثابت درجه بندی برای سلول مرجع است. همچنین، اگر دمای سلول  $25 \pm 1^{\circ}C$  نباشد، جریان مدار کوتاه باید به  $25^{\circ}C$  تصحیح شود.

۱-۱-۴ تابش طیفی مناسب نور خورشید، با استفاده از یک ابزار اندازه‌گیری تابش طیفی اندازه‌گیری تابش طیفی اندازه‌گیری می‌شود، همانطور که در روش آزمون استاندارد Astm E973 مشخص شد.

۲-۴ در ادامه فهرستی از اندازه گیری هایی که برای متمایز ساختن سلول های مرجع استفاده می شوند و با داده های درجه بندی گزارش می شوند .

۱-۲-۴ پاسخ طیفی سلول ، مطابق با روش آزمون استاندارد Astm E1021 تعیین می شود .

۲-۲-۴ ضریب دمای جریان مدار کوتاه سلول، از لحاظ آزمایشی با اندازه گیری جریان مدار کوتاه در دماهای مختلف و محاسبه ی ضریب دما، تعیین می شود. ( به بند ۲-۲-۷ رجوع کنید)

۳-۲-۴ خطی بودن جریان در مقابل تابش، بر طبق روش آزمون استاندارد Astm E1143 تعیین می شود .

۴-۲-۴ فاکتور پرشدگی<sup>۱</sup> سلول مرجع، با استفاده از روش آزمون استاندارد Astm E948 تعیین می شود. تأمین فاکتور با داده های درجه بندی سلول مرجع امکان می دهد که در آینده برای تجزیه یا آسیب الکتریکی کنترل شود.

## ۵ اهمیت و استفاده

۱-۵ بازده الکتریکی یک ابزار فتوولتاییک، به مقدار طیفی منبع تابش، شدت آن و دمای ابزار بستگی دارد. برای استاندارد سازی، اندازه گیری های دقیق عملکرد ابزارهای فتوولتاییک، تحت انواع منابع نور، ضروری است تا علت خطا در مدار اتصال کوتاه طیفی را توجیه کند، که در حالتی اتفاق می افتد که پاسخ طیفی نسبی سلول مرجع، شبیه پاسخ طیفی وسیله مورد آزمون نباشد. یک خطای مشابه دیگر در صورتی اتفاق می افتد که توزیع تابش طیفی منبع نور آزمایش، شبیه تابش طیفی مرجع دلخواه نباشد. این خطاها به وسیله ی پارامتر عدم تطبیق طیفی (توصیف شده در روش آزمون استاندارد Astm E973) یک اندازه گیری طیفی خطا در اندازه گیری جریان مدار اتصال کوتاه توجیه می شوند. هدف از این روش آزمون ارائه یک روش مشخص برای درجه بندی، تمایز و گزارش داده های درجه بندی برای سلول های مرجع فتوولتاییک اولیه، با استفاده از یک طیف مرجع جدولی است.

۲-۵ کالیبراسیون یک سلول فتوولتاییک مرجع، مخصوص یک توزیع تابش طیفی خاص است. مشخص کردن تابش عملی برای مثال، جداول G173 ، مسئولیت کاربر است. بین روش آزمون، درجه بندی را در رابطه با هر طیف جدولی فراهم می سازد .

۳-۵ یک سلول مرجع، بهتر است در وقفه های سالانه، یا اگر سلول به صورت مداوم در بیرون استفاده شود هر ۶ ماه درجه بندی شود.

۴-۵ خصوصیات فیزیکی توصیه شده ی سلول مرجع، می تواند در استاندارد Astm E1040 یافت شود .

۵-۵ چون سلول های خورشیدی ساخته شده با زیر لایه ی نوع P، نسبت به افت  $I_{sc}$ ، با قرار گرفتن اولیه در معرض نور حساس هستند، لازم است که سلول های مرجع جدید ساخته شده، در یک سطح تابش بزرگتر از  $850 \text{ W/m}^2$  بمدت ۲ ساعت قبل از تمایز اولیه در بخش ۷، قرار گیرند.

<sup>۱</sup> - fill factor

## ۶ ابزار

۱-۶ گرماسنج خورشیدی - یک گرماسنج مرجع ثانویه که مطابق با روش آزمون استاندارد Astm E816 درجه بندی می شود. یک پرتو سنج رسوبی مطلق نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. چون گرما سنج های خورشیدی مرجع ثانویه در مقابل یک پرتوسنج رسوبی مطلق درجه بندی می شوند، عدم قطعیت کلی در ثابت درجه بندی سلول مرجع اولیه کاهش خواهد یافت در صورتی که یک پرتوسنج کاواکی مطلق استفاده شود.

۲-۶ موازی سازی - یک موازی ساز متناسب با سلول مرجع در طی کالیبراسیون که همان میدان دید گرماسنج خورشیدی را دارد. یک طرح موازی ساز قابل قبول در پیوست الف توصیف می شود.

۳-۶ تجهیزات اندازه گیری تابش طیفی، همانند تجهیزات مورد نیاز در روش آزمون استاندارد Astm E973 لازم است.

۱-۳-۶ گستره ی طیفی اندازه گیری تابش طیفی، باید به قدر کافی وسیع باشد تا شامل پاسخ طیفی سلول کالیبره شود.

۲-۳-۶ گستره ی طیفی اندازه گیری های تابش، شامل ۹۸٪ تابش کلی خواهد بود که گرماسنج خورشیدی به آن حساس است.

۳-۳-۶ اگر اندازه گیری تابش طیفی نتواند گستره ی طول موج کافی مورد نیاز بوسیله ی ۲-۳-۶ را اندازه گیری کند، استفاده از یک طیف مرجع همچون جدول G173 قابل قبول است، تا طول موج های مفقود را تامین کند. طیف مرجع درجه بندی می شود تا با داده های طیفی اندازه گیری شده در یک وقفه ی طول موج سازگار در چارچوب رنج طول موج تجهیزات اندازه گیری تابش طیفی، جور در آید. محاسبه ی داده های تابش طیفی مفقود نیز با استفاده از یک مدل عددی، قابل قبول است.

۴-۳-۶ وسیله ی اندازه گیری تابش طیفی، همان میدان دید گرماسنج خورشیدی و موازی ساز سلول مرجع را خواهد داشت.

۴-۶ پایه های ردیابی تابش عمودی - پایه های ردیابی مورد استفاده قرار گرفتند تا آفتاب را در طی کالیبراسیون دنبال کنند. و سلول مرجعی که باید کالیبره شود، گرماسنج خورشیدی و موازی ساز باید در چارچوب  $\pm 25^\circ$  موازی باشند. پایه ها باید بتوانند آفتاب را در  $\pm 0.5^\circ$  طی مراحل کالیبراسیون ردیابی کنند.

۵-۶ وسیله ی اندازه گیری دما - ابزار یا ابزار های به کار رفته برای اندازه گیری دمای سلول مرجع که باید کالیبره شود، که یک تفکیک حداقل  $0.1^\circ\text{C}$  و یک خطای کل کمتر از  $1^\circ\text{C}$  خواندن داشته باشند.

۱-۵-۶ حسگرهایی همچون ترموکوپل ها یا تریستورهای به کار رفته برای اندازه گیری دما باید در وضعیتی قرار گیرند که هر گرادیان (شیب) دمای بین اتصال ابزار فتوولتاییک و حسگر را به حداقل برسانند.

۶-۶ وسیله اندازه گیری الکتریکی - ولت سنج ها، آمپرسنج ها یا دیگر ابزارهای الکتریکی مناسب، برای اندازه گیری  $I_{sc}$  سلولی که باید کالیبره شود و بازده گرماسنج خورشیدی، بکار می روند و تفکیک حداقل

۰/۰۲٪ جریان بیشینه یا ولتاژ مواجه شده و همچنین خطای کل کمتر از ۰/۱٪ جریان بیشینه یا ولتاژ مواجه شده دارند.

۶-۷ تجهیزات اندازه گیری پاسخ طیفی ، در استاندارد Astm E1021 داده شده است.

۶-۷-۱ طول موج ما بین نقاط داده شده ی پاسخ طیفی باید حداکثر ۵۰nm باشد.

۶-۸ بلوک کنترل دما (گزینشی) - ابزاری برای حفظ دمای سلول مرجع در  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  برای دوره ی درجه بندی می باشد.

## ۷ توصیف خصوصیات

۷-۱ قبل از توصیف خصوصیات اندازه گیری ها، سلول مرجع را که باید کالیبره شود، در  $1000 \text{ Wm}^{-2}$  به مدت ۲ ساعت روشن کنید. این برای ثابت ساختن هر تجزیه اعمال شده بوسیله نور سلول قبل از کالیبراسیون، ضروری است .

۷-۲ سلول مرجع به وسیله روش های زیر کالیبره می شود.

۷-۲-۱ پاسخ طیفی - تعیین پاسخ طیفی نسبی  $R(\lambda)$  (به طور اختیاری، پاسخ طیفی مطلق) سلولی که مطابق با روش های آزمون استاندارد Astm E1021 کالیبره می شود.

۷-۲-۲ ضریب گرما - تعیین ضریب دما،  $\alpha$ ، سلول که باید کالیبره شود، به وسیله روش های زیر است:

۷-۲-۲-۱ استفاده از تجهیزات اندازه گیری الکتریکی  $I_{sc}$  در چهاردرجه یا بیشتر، بالاتر از حداقل گستره ی دمایی  $50^\circ\text{C}$ ، در حدود  $35^\circ\text{C}$  متمرکز شده باشد. تابش باید حداقل  $750 \text{ Wm}^{-2}$  و کمتر از  $1100 \text{ Wm}^{-2}$  باشد، همچنان که با یک سلول مرجع ثانویه اندازه گیری شد. دمای کالیبراسیون در همان زمان اندازه گیری کنید.

۷-۲-۲-۲ مقدار سطح تابش فوری نرمال در زمان هر اندازه گیری تقسیم بر  $I_{sc}$  کنید.

یادآوری: تابش فوری نرمال می تواند با تقسیم سلول های مرجع ثانویه  $I_{sc}$  بر ثابت کالیبراسیون اش تعیین شود.

۷-۲-۲-۳ ضریب دما با انجام تناسب کمترین مجذور  $I_{sc}$  به داده های  $T$  در یک خط مستقیم تعیین می شود. شیب خط تقسیم بر ارزش جریان حاصل از تناسب مجذورهای حداقل در  $25^\circ\text{C}$ ، همان ضریب دمای  $\alpha$  است.

۷-۲-۳ خطی بودن - تعیین جریان اتصال کوتاه در مقابل خطی بودن تابش سلول مورد کالیبره، که مطابق با روش آزمون استاندارد Astm E 1143 برای گستره ی تابش  $750-1100 \text{ Wm}^{-2}$  درجه بندی می شود.

۷-۲-۳-۱ برای سلول های مرجع که از سلول های خورشیدی سیلیکون تک کریستالی استفاده می کنند و یا سلول های مرجع که قبلا متمایز شده اند ، جریان اتصال کوتاه در مقابل تعیین خطی بودن، اختیاری است.

۷-۲-۴ فاکتور - تعیین فاکتور سلولی که باید کالیبره شود با استفاده از منحنی I-V ابزار، همچنان که مطابق با روش های آزمون استاندارد Astm E 948 اندازه گیری شد.

## ۸ روش اجرایی

۱-۸ سلول مرجعی که باید کالیبره شود، موازی ساز، گرماسنج خورشیدی و تجهیزات اندازه گیری تابش طیفی را بر روی پایه های ردیابی سوار کنید.

۲-۸ اندازه گیری تابش طیفی نسبی خورشید،  $E(\lambda)$  با استفاده از ابزار اندازه گیری تابش طیفی و روش آزمون استاندارد Astm E 973، در طی تابش اندازه گیری طیفی، مراحل زیر را انجام دهید:  
۱-۲-۸ اندازه گیری بازده (خروجی) گرماسنج خورشیدی،  $E_t$ ، و تایید اینکه تابش کل بین  $750 \text{ Wm}^{-2}$  و  $1100 \text{ Wm}^{-2}$  است.

۲-۲-۸ جریان اتصال کوتاه سلول مرجع،  $I_{sc}$  را اندازه گیری کنید.

۳-۲-۸ دمای سلول مرجع،  $T$  را اندازه گیری کنید.

۴-۲-۸ مراحل ۱-۲-۸ و ۲-۲-۸ حداقل ۴ بار تکرار نمایید. این تکرار ها باید به موقع در طی اندازه گیری تابش طیفی توزیع شود. برای تضمین ثبات موقتی، جریان اتصال کوتاه سلول مرجع نباید تا بیش از  $\pm 0.2\%$  در طی تکرار ها تغییر داشته باشد.

۵-۲-۸ جریان اتصال کوتاه و ارزش های تابش بدست آمده از بند ۴-۲-۸ برای کسب  $I_{sc}$  و  $E_t$  که مطابق است با اندازه گیری تابش طیفی را معدل گیری کنید.

۳-۸ حداقل ۵ تکرار از بند ۲-۸ انجام دهید.

۱-۳-۸ این ۵ تکرار باید حداقل در ۳ روز جداگانه انجام شود. بنابراین کل ۵ تکرار انجام شده در همان روز، یک مجموعه داده قابل قبول برای کالیبراسیون نخواهد بود.

۲-۳-۸ به منظور کاهش خطاهای دقیق از طریق معدل گیری، توصیه می شود که از بند ۲-۸ حداقل ۳۰ تکرار انجام شود.

## ۹ محاسبه نتایج

۱-۹ هر اندازه گیری تابش طیفی بدست آمده در بند ۲-۸ یک نقطه ی داده تعریف می کند. تعداد کل این نقاط داده بصورت  $n$  نشان داده می شود.

۱-۱-۹ برای هر نقطه ی داده، فاکتور تصحیح کیفی  $F$  را با استفاده از محاسبه ی پارامتر عدم تطبیق طیفی، بند ۱-۸ روش آزمون استاندارد Astm E973 محاسبه کنید. برای انجام این محاسبه، پاسخ طیفی سلول مرجع  $R_r(\lambda)$  با یک (این معرف پاسخ طیفی گرماسنج خورشیدی) و  $M$  را با  $F$  جایگزین نمایید.

۲-۹ ضریب کالیبراسیون برای هر نقطه داده، با استفاده از معادله ی زیر:

$$C_i = \frac{I_{sc}}{E_t} \frac{1}{F} \frac{1}{1 - \alpha(25 - T)} \quad (1)$$

یادآوری: جمله ی تصحیح در صورتی حذف می شود که دمای سلول مرجع اندازه گیری شده،  $25 \pm 1^\circ \text{C}$  باشد.  
۳-۹ ضریب کالیبراسیون میانگین را با استفاده از معادله زیر محاسبه کنید:

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (2)$$

۴-۹ انحراف استاندارد ضریب کالیبراسیون را با استفاده از معادله زیر محاسبه کنید:

$$S = \left[ \frac{n}{\sum_{i=1}^n [(C_i)^2]} \right] - nC^2n - 1^{1/2} \quad (3)$$

۱-۴-۹ مقدار S، باید ۱٪ یا کمتر از ضریب کالیبراسیون C باشد.

## ۱۰ گزارش

۱-۱۰ گزارش باید حداقل دارای اطلاعات زیر باشد:

۱-۱-۱۰ شماره سریال سلول مرجع

۲-۱-۱۰ داده های کالیبراسیون

۳-۱-۱۰ ضریب کالیبراسیون از بند ۹-۲

۴-۱-۱۰ انحراف استاندارد از بند ۹-۴

۵-۱-۱۰ فاکتور از بند ۷-۲-۴

۶-۱-۱۰ تایید خطی بودن از بند ۷-۲-۳

۷-۱-۱۰ پاسخ طیفی از بند ۷-۲-۱

۸-۱-۱۰ ضریب دما از بند ۷-۲-۲

۹-۱-۱۰ گرماسنج خورشیدی (نوع، کارخانه سازنده، شماره ی سریال، ضریب کالیبراسیون، آخرین داده های کالیبره)

۱۰-۱-۱۰ توصیف کامل سیستم اندازه گیری

۱۱-۱-۱۰ هر انحراف حاصل از روش کالیبراسیون استاندارد

۱۲-۱-۱۰ هر اتفاق غیر عادی طی کالیبراسیون

۱۳-۱-۱۰ داده های برای هر نقطه در کالیبراسیون، که شامل موارد زیر خواهد بود:

۱-۱۳-۱-۱۰ دمای سلول

۲-۱۳-۱-۱۰ تابش کل

۳-۱۳-۱-۱۰ جریان اتصال کوتاه

۴-۱۳-۱-۱۰ فاکتور تصحیح کیفی

## ۱۱ دقت و انحرافی

۱-۱۱ درستی - مشخص کردن درستی روش آزمون کالیبراسیون سلول مرجع با استفاده از نتایج یک مطالعه ی بین آزمایشگاهی ممکن نیست، چون هیچ آزمایشگاهی مایل نبود در چنین مطالعه ای شرکت کند. محدودیت های اعمال شده بر ابزار و شرایط کالیبراسیون انتخاب شده اند تا خطاهای درستی را در ضریب کالیبراسیون سلول مرجع به حداقل برسانند. فاکتورهایی که در خطای درستی کل نقش دارند عبارتند از:

۱-۱-۱۱ تغییرات موقتی تابش طیفی خورشیدی و کل در طی اندازه گیری تابش طیفی (بند ۸-۲) باعث ایجاد خطاهایی در دوره ی کالیبراسیون خواهد شد. برای به حداقل رساندن این خطاها، باید دوره های

کالیبراسیون انتخاب شوند که در آنجا، تغییرات در جریان اتصال کوتاه سلول مرجع و بازده گرماسنج خورشیدی تا حد امکان کوچک هستند.

۱-۱۱-۲ بحث درستی اندازه گیری های طیفی در بند ۹-۱ روش آزمون استاندارد Astm E 973 برای روش آزمون کالیبراسیون سلول مرجع، عملی است.

۱-۱۱-۳ تغییرات دمای سلول مرجع که در چارچوب  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  کالیبره می شوند، معرف خطاهای کوچک در ضریب کالیبراسیون خواهند بود، اگر تصحیح های دما اعمال نگردند، ضریب دما بزرگی این خطا را تعیین خواهد کرد.

۱-۱۱-۴ ابزار بندی الکترونیک به کار رفته برای اندازه گیری جریان اتصال کوتاه سلول مرجع، تابش کل و دمای سلول، در خطاهای درستی نسبت به ضریب کالیبراسیون نقش خواهند داشت.

۱-۱۱-۲ انحراف - نقش انحراف به خطای کل، بستگی به انحراف هر فاکتور به کار برده شده برای تعیین ضریب کالیبراسیون خواهد داشت. نقش های ممکن انحراف عبارتند از:

۱-۱۱-۲-۱ شیب منحنی I-V سلول نزدیک به ولتاژ صفر و بارگذاری سلول به وسیله ی ابزار اندازه گیری جریان ناشی از امپدانس ورودی غیر صفر می تواند به مقدار مختصری جریان اتصال کوتاه منجر گردد. این وضعیت می تواند با نیروی ولتاژ سلول مرجع تا حد امکان نزدیک به صفر در طی اندازه گیری جریان اتصال کوتاه به حداقل برسد.

۱-۱۱-۲-۲ اندازه گیری دمای سلول در قسمت عقب وسیله مقداری را نشان می دهد که کمتر از دمای جانکشن باکس در خلال مدتی است که سلول در معرض نور خورشید می باشد. این موضوع ممکن است به یک مقدار نسبتاً زیاد به جریان اتصال کوتاه منجر شود. به دلیل اینکه ضریب دمایی اتصال کوتاه معمولاً کوچک است این منبع تمایل به سمت کوچک شدن دارد.

۱-۱۱-۲-۳ هر ابزار اندازه گیری انحراف را به شکل درجه بندی نهایی در مقادیر متغیر معرفی خواهد کرد. فرض می شود که تمام ابزار ها در وقفه های منظم کالیبره شده باشند. اما انحراف هنوز هر مجموعه ی ابزاری را حتی پس از کالیبراسیون دقیق تحت تاثیر قرار خواهد داد.

۱-۱۱-۲-۴ درستی مطلق ۰/۲۵٪ برای اندازه گیری های تابش سنجی خورشیدی زمینی برای تابش سنج های رسوبی مطلق که با مرجع تابش سنجی جهانی مقایسه شده اند، ثبت گردیده است. اگر یک گرماسنج خورشیدی مرجع ثانویه استفاده شود، یک خطای انتقال ۱٪ ی از تابش سنج رسوبی هنگام کاربرد شیوه های روش استاندارد Astm E 816 می تواند قابل انتظار باشد.

۱-۱۱-۲-۵ بحث انحراف اندازه گیری طیفی در بند ۹-۲ روش آزمون استاندارد Astm E 973 برای روش آزمون کالیبراسیون سلول مرجع قابل کاربرد است.

## پیوست الف

### طراحی موازی ساز

الف-۱ یک موازی ساز همتراز با پرتو خورشید برای محدود کردن زمینه دید یک سلول خورشیدی به اشعه مستقیم نور خورشید به اضافه مقداری از تشعشع دورخورشید استفاده می شود.

شکل الف-۱ طراحی یک تیوپ موازی ساز را به صورت شماتیک نشان می دهد. مقدار تشعشع دورخورشید در یک روزنه دریافت کننده با شعاع  $I$  و زاویه  $\Theta_0$  که می تواند به صورت نسبت  $L/2R$  تعریف شود، مشخص می شود (طول تقسیم بر قطر تیوپ موازی ساز).

مقدار  $L/2R$  بین ۱۰ تا ۱۲ می تواند باشد در صورتیکه در موازی سازی دقت ۵٪ برقرار باشد. مقدار  $L/2R = 10$  مقداری است که برای گرماسنج و نیروسنج خورشیدی استاندارد بر اساس زاویه باز مخروط به میزان  $\Theta_0 = 5/72^\circ$  استفاده می شود.

الف-۱-۲ زاویه شیب  $\Theta_s$  شامل طراحی موازی ساز به منظور اجازه نقطه یابی، ردیابی خطا و زاویه ی وتر خورشید می باشد. صفحه ی خورشید شامل نصف زاویه  $0/26^\circ$  از مرکز به لبه است.

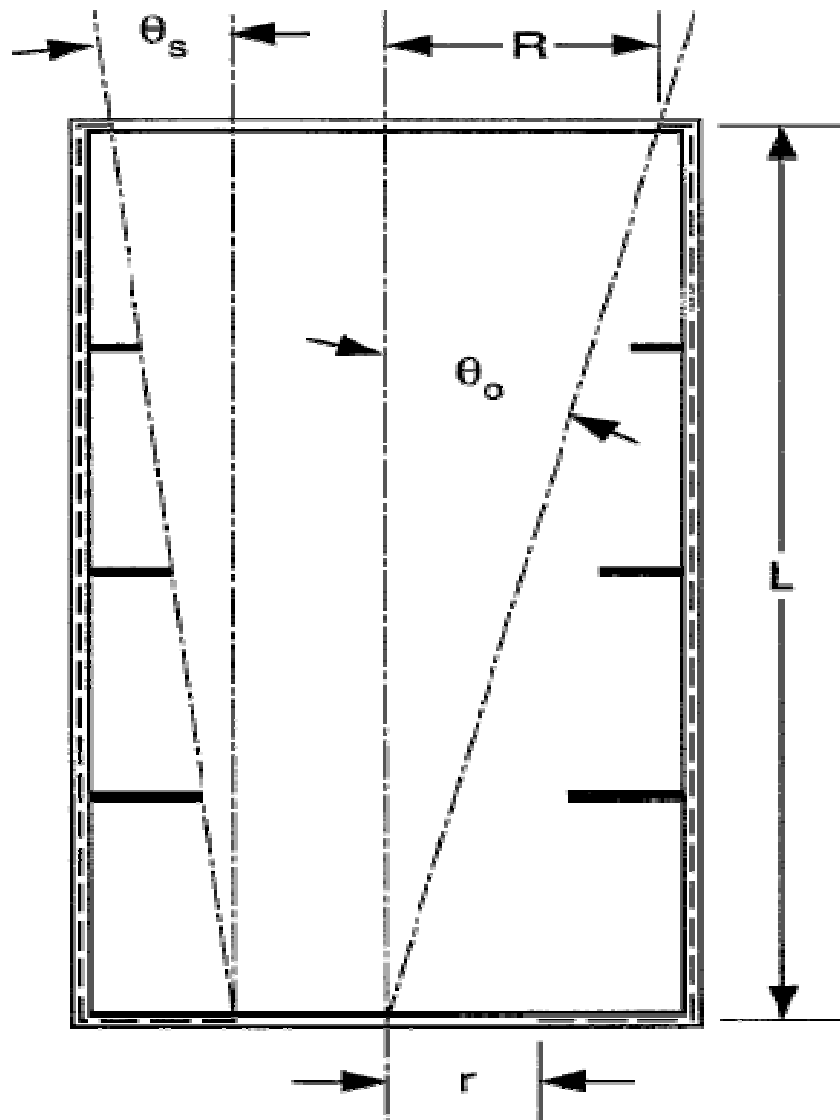
خطاهای ردیابی شده ممکن است تا مقدار نیم درجه باشد. بنابراین مقدار طراحی برای زاویه شیب حداقل  $0/26^\circ$  خواهد بود. زاویه های شیب بزرگ تر دامنه تغییرات بزرگتر را در ردیابی خطاها اجازه می دهند. اما به تیوپ موازی سازی بزرگتر منتج می شود.

حد بالایی کاربردی برای زاویه شیب ۲ درجه می باشد. شعاع روزنه دریافت کننده  $I$  بستگی دارد به اندازه ی سلول خورشیدی که در موازی ساز استفاده می شود. برای سلول مربعی یا مستطیلی  $I$  به اندازه نصف قطر سلول انتخاب می شود.

الف-۲ خلاصه ی طراحی - با زاویه شیب، نسبت طول به قطر و روزنه ی دریافت کننده، ابعاد موازی ساز با ملاحظات هندسی تعیین می شود.

سطح داخلی موازی ساز باید سیاه و مات باشد تا انعکاس دیوارهای داخلی را کاهش دهد.





شكل الف-١