

بسمه تعالی

# مرور نقایص موجود در ماژول‌های فتوولتائیک

گردآوری و ترجمه

ابراهیم خیری اصل

۱۳۹۹

مؤسسه آموزشی تألیفی ارشدان

|                     |                                                                                                                                    |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| عنوان و نام پدیدآور | مرور نقایص موجود در ماژول‌های فتوولتائیک/ نویسندگان اصلی مارک کنتگس... [و دیگران]؛ گردآوری و تألیف [صحیح: ترجمه] ابراهیم خیری اصل. |
| مشخصات نشر          | تهران: موسسه آموزشی تألیفی ارشدان، ۱۳۹۹.                                                                                           |
| مشخصات ظاهری        | ۲۱۴ص.                                                                                                                              |
| شابک                | ۹۷۸-۶۲۲-۲۷۵-۱۴۵-۶                                                                                                                  |
| وضعیت فهرست نویسی   | فیپا                                                                                                                               |
| یادداشت             | عنوان اصلی: Review of failures of photovoltaic modules, ....                                                                       |
| موضوع               | سیستم‌های فتوولتایی یکپارچه ساختمان                                                                                                |
| موضوع               | Building-integrated photovoltaic systems                                                                                           |
| موضوع               | سیستم‌های فتوولتایی یکپارچه ساختمان -- عیب‌یابی                                                                                    |
| موضوع               | Building-integrated photovoltaic systems -- Fault location                                                                         |
| شناسه افزوده        | کونتگس، مارک                                                                                                                       |
| شناسه افزوده        | خیری اصل، ابراهیم، ۱۳۶۵-، مترجم                                                                                                    |
| رده بندی کنگره      | TK۱۰۸۷                                                                                                                             |
| رده بندی دیویی      | ۶۲۱/۳۱۲۴۴                                                                                                                          |
| شماره کتابشناسی ملی | ۷۳۱۰۴۷۸                                                                                                                            |



## مؤسسه آموزشی تألیفی ارشدان

مرور نقایص موجود در ماژول‌های فتوولتائیک

ابراهیم خیری اصل

آموزشی تألیفی ارشدان

اول

اول ۱۳۹۹

www.irantypist.com

۹۷۸-۶۲۲-۲۷۵-۱۴۵-۶

۱۰۰۰

www.arshadan.com

www.arshadan.net

۰۲۱۴۷۶۲۵۵

تومان

■ نام کتاب:

■ گردآوری و ترجمه:

■ ناشر:

■ ویرایش:

■ نوبت چاپ:

■ حروفچینی و صفحه آرایی:

■ طراح و گرافیکست:

■ شابک:

■ شمارگان:

■ مرکز خرید آنلاین:

■ مرکز پخش و توزیع:

■ قیمت:

آژانس بین المللی انرژی

برنامه سیستم‌های قدرت فتوولتائیک

## عملکرد و قابلیت اطمینان سیستم‌های فتوولتائیک

زیر وظیفه ۳-۲:

مرور نقایص موجود در ماژول‌های فتوولتائیک

IEA PVPS Task 13

خروجی گزارش نهایی IEA-PVPS

مارس ۲۰۱۴

شاپک ۹-۱۶-۴۲۰۶۰۴-۳-۹۷۸

نویسندگان اصلی:

مارک کنتکس،

مؤسسه پژوهشی انرژی خورشیدی هملین، امبرتال، آلمان

سارا کورتز، کارین پاکارد،

آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر، گلدن، CO، ایالات متحده امریکا

اولریک جان،

TOV Rheinland Energie und Umwelt GmbH، کلن، آلمان

کارل آ. برگر،

مؤسسه فناوری GmbH اتریش، گروه انرژی، وین، اتریش

کازوهیکو کاتو،

مؤسسه ملی علوم و فناوری پیشرفته صنعتی، Tsukuba، ژاپن

توماس فرایزن،

SUPSI ISAAC، کانوبیو، سوئیس

هایتائو لیو،

مؤسسه مهندسی برق، آکادمی علوم چین، پکن، چین

مایک ون ایسگم،

EDF R&D، Electricite de France، Moret-sur-Loing، فرانسه

## نویسندگان سهیم:

جان وهلگموث، دیوید میلر، مایکل کمپ، پیترو هک

آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر، گلدن، CO، ایالات متحده امریکا

فلورین ریل، نیکلاس بوگدانسکی، ورنر هرمان

TOV Rheinland Energie und Umwelt GmbH، کلن، آلمان

کلودیا بوئر هوپ – لوتز

مرکز تحقیقات انرژی کاربردی باواریا، وورزبورگ، آلمان

گویلام رازونگلس

Le Bourget-du-Lac، INES-CEA، Institut National de l'Energie Solaire

فرانسه

گابی فریسن

SUPSI ISAAC، کانابیو، سوئیس

این گزارش تحت پشتیبانی نهادهای ذیل می باشد:

وزارت حمل و نقل، نوآوری و فناوری فدرال اتریش (BMVIT) تحت قرارداد شماره

۸۲۸۱۰۵، FFG

آکادمی علوم چین (CAS)،

وزارت امور اقتصادی و انرژی فدرال آلمان تحت قرارداد شماره (BMWi) 0325194A&C

با پشتیبانی:

وزارت امور اقتصادی و انرژی فدرال

براساس تصمیم بوندستاگ آلمان

دفتر انرژی فدرال سوئیس (SFOE)

و

وزارت انرژی ایالات متحده تحت قرارداد شماره DE-AC36-08-G028308 با آزمایشگاه

ملی انرژی تجدیدپذیر (NREL)

## پیشگفتار مترجم

همزمان با رشد صنعت فتوولتائیک در جهان و رشد روزافزون استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس‌های خانگی، پشت‌بامی و مزارع خورشیدی، در کشور عزیزمان ایران هم این صنعت در حال توسعه است. امروزه نیروگاه‌های خورشیدی زیادی در مقیاس‌های خانگی و صنعتی در کشورمان احداث شده است و روزبه‌روز بر تعداد این سامانه‌ها افزوده می‌شود. در این شرایط لازم است که متخصصین این رشته پرورش داده شوند به دلیل همین احساس نیاز امروزه مؤسسات متعددی اقدام به برگزاری دوره‌های آموزشی در زمینه طراحی و نصب سامانه‌های فتوولتائیک کرده‌اند، همچنین کتاب‌های متعددی در این زمینه تألیف، ترجمه و به چاپ رسیده‌اند. با این حال در داخل کشور و بین محققین و مولفین این حوزه، تحقیق و بررسی چندان بر روی مشکلات احتمالی سامانه‌های خورشیدی، تجهیزات مورد استفاده در آن‌ها و به‌ویژه ماژول‌های خورشیدی انجام نشده است. این در حالی است ماژول‌های فتوولتائیک یکی از اجزاء اصلی نیروگاه‌های خورشیدی هستند و طول عمر و سلامت آن‌ها بر عملکرد و بازدهی نیروگاه‌های خورشیدی تأثیر مستقیم دارد؛ بنابراین شناخت انواع خرابی‌های احتمالی ماژول‌های خورشیدی و خرابی‌ها و اثراتی که در پی خواهند داشت و تشخیص درست و به‌موقع آن‌ها می‌تواند قابلیت اطمینان، ایمنی و بازدهی نیروگاه‌های خورشیدی را افزایش دهد.

کتاب حاضر ترجمه گزارشی با عنوان «مرور نقایص موجود در ماژول‌های فتوولتائیک» از مجموعه گزارش‌های کارگروه Task 13 آژانس بین‌المللی انرژی است که در آن به بررسی انواع خرابی‌ها و روش‌های تست و تشخیص آن‌ها پرداخته شده است. متخصصین و فعالین حوزه انرژی‌های خورشیدی فتوولتائیک با مطالعه این کتاب با روش‌های بازرسی ماژول‌های فتوولتائیک و راه‌های تشخیص نقایص و خرابی آن‌ها آشنا می‌شوند. امید است با ترجمه و انتشار این کتاب بتوانیم به پیشرفت صنعت خورشیدی کشور کمکی هرچند کوچک کرده باشیم. همچنین امیدواریم کار تحقیق و توسعه در زمینه عیب‌یابی و تعمیر و نگهداری سامانه‌های خورشیدی روز به روز گسترش یابد.

عزیزانی که این کتاب را مطالعه می‌کنند و مایل هستند در مورد آن به اینجانب بازخورد دهند می‌توانند از طریق آدرس [e.kheiriasl@gmail.com](mailto:e.kheiriasl@gmail.com) دیدگاه‌های خود را مطرح کنند.

ابراهیم خیری اصل

کارشناس ارشد برق و فعال انرژی‌های تجدیدپذیر

## فهرست مطالب

|        |                                                        |    |
|--------|--------------------------------------------------------|----|
| ۱      | پیشگفتار                                               | ۱  |
| ۲      | چکیده (خلاصه اجرایی)                                   | ۳  |
| ۶      | مقدمه                                                  | ۶  |
| ۱۴     | تعاریف                                                 | ۱۴ |
| ۱۴-۴   | تعریف نقص و خرابی ماژول فتوولتائیک                     | ۱۴ |
| ۱۴-۴   | نقص ماژول فتوولتائیک مستثنی شده براساس تعریف           | ۱۴ |
| ۱۷-۴   | نقایص و خرابیهای مهم ماژول فتوولتائیک به دلایل خارجی   | ۱۷ |
| ۱۷-۳-۴ | بستن ماژول با گیره                                     | ۱۷ |
| ۱۸-۳-۴ | حمل و نصب                                              | ۱۸ |
| ۱۹-۳-۴ | نقص اتصالات سریع                                       | ۱۹ |
| ۲۰-۳-۴ | صاعقه                                                  | ۲۰ |
| ۲۲-۴   | تعریف نقص ایمنی و دسته‌بندی‌های ایمنی                  | ۲۲ |
| ۲۳-۴   | تعریف نقص اتلاف توان و دسته‌بندی‌های اتلاف توان        | ۲۳ |
| ۲۵-۴   | تعریف نقص                                              | ۲۵ |
| ۲۵-۴   | تعریف بخش‌های ماژول فتوولتائیک                         | ۲۵ |
| ۲۸-۵   | مبانی روشهای اندازه‌گیری برای شناسایی نقایص و خرابی‌ها | ۲۸ |
| ۲۸-۵   | ۱-۵ بازرسی ظاهری                                       | ۲۸ |
| ۲۸-۱-۵ | بازرسی ظاهری مطابق با استانداردهای IEC فتوولتائیک      | ۲۸ |
| ۳۱-۱-۵ | مستندسازی نقایص بصری در ماژول‌ها                       | ۳۱ |
| ۳۵-۲-۵ | ۱-۷ منحنی                                              | ۳۵ |
| ۳۶-۲-۵ | معرفی پارامترهای مهم منحنی ۱-۷                         | ۳۶ |
| ۳۷-۲-۵ | مقاومت سری و مقاومت موازی                              | ۳۷ |
| ۳۹-۲-۵ | دقت ۳-۲-۵                                              | ۳۹ |
| ۴۰-۲-۵ | تأثیر خرابی‌ها بر منحنی ۱-۷                            | ۴۰ |



- ۳-۵ دمانگاری \_\_\_\_\_ ۴۵
- ۱-۳-۵ دمانگاری تحت شرایط پایدار \_\_\_\_\_ ۴۵
- ۲-۳-۵ دمانگاری پالسی \_\_\_\_\_ ۵۰
- ۳-۳-۵ دمانگاری یا ترموگرافی قفل شده (lock-in) \_\_\_\_\_ ۵۲
- ۴-۵ الکترو لومینسانس \_\_\_\_\_ ۵۷
- ۵-۵ فلوئورسانس ماورا بنفش \_\_\_\_\_ ۶۴
- ۶-۵ روش انتقال سیگنال \_\_\_\_\_ ۶۸
- ۶ نقایص و خرابی‌های مربوط به ماژول‌های فتوولتائیک \_\_\_\_\_ ۷۳
- ۱-۶ بررسی نقایص موجود در همه ماژول‌های فتوولتائیک \_\_\_\_\_ ۷۴
- ۱-۱-۶ تورق یا باز شدن لمینیت \_\_\_\_\_ ۷۴
- ۲-۱-۶ از دست دادن چسبندگی ورق پشتی \_\_\_\_\_ ۷۶
- ۳-۱-۶ نقص و خرابی جعبه اتصال \_\_\_\_\_ ۷۸
- ۴-۱-۶ شکست قاب یا فریم \_\_\_\_\_ ۷۹
- ۲-۶ بررسی نقایص و خرابی‌های موجود در ماژول‌های PV ویفر سیلیکون \_\_\_\_\_ ۸۲
- ۱-۲-۶ تغییر رنگ EVA \_\_\_\_\_ ۸۲
- ۲-۲-۶ ترک‌های سلول \_\_\_\_\_ ۸۴
- ۳-۲-۶ شیارهای حلزونی \_\_\_\_\_ ۹۲
- ۴-۲-۶ علائم سوختگی \_\_\_\_\_ ۹۵
- ۵-۲-۶ افت توان ناشی از پتانسیل \_\_\_\_\_ ۹۸
- ۶-۲-۶ نوارهای اتصال سلول و آرایه جدا شده \_\_\_\_\_ ۱۰۸
- ۷-۲-۶ دیود بایپس معیوب \_\_\_\_\_ ۱۱۳
- ۳-۶ بررسی نقایص موجود در ماژول‌های لایه نازک \_\_\_\_\_ ۱۱۵
- ۱-۳-۶ میکرو قوس‌های الکتریکی در کانکتورهای چسبیده شده \_\_\_\_\_ ۱۱۶
- ۲-۳-۶ نقاط داغ شانت \_\_\_\_\_ ۱۱۷
- ۴-۶ بررسی نقایص خاص موجود در ماژول‌های فیلم نازک CdTe \_\_\_\_\_ ۱۲۱
- ۱-۴-۶ شکستگی شیشه جلو \_\_\_\_\_ ۱۲۲
- ۲-۴-۶ تخریب اتصال پشتی \_\_\_\_\_ ۱۲۳
- ۷ تطبیق روش‌های تست با مکانیزم خرابی ماژول‌های فتوولتائیک \_\_\_\_\_ ۱۲۷

۱-۷ بارهای مکانیکی ناشی از حمل و نقل \_\_\_\_\_ ۱۲۷

۱-۱-۷ تعیین فرکانسهای رزونانس ماژولهای فتوولتائیک واحد \_\_\_\_\_ ۱۲۷

۱-۱-۷ تست حمل و نقل و محیطی ماژولهای فتوولتائیک سیلیکونی در یک پشته حمل و نقل \_\_\_\_\_ ۱۲۸

3-7-1 تست حمل و نقل ماژولهای فتوولتائیک سیلیکونی \_\_\_\_\_ ۱۳۰

۲-۷ بارهای مکانیکی ناشی از برف \_\_\_\_\_ ۱۳۶

۳-۷ تست تخریب ماژولهای فتوولتائیک تحت تأثیر اشعه ماورا بنفش \_\_\_\_\_ ۱۳۹

۱-۳-۷ پیش شرطی کردن اشعه ماورا بنفش برای ماژولهای فتوولتائیک \_\_\_\_\_ ۱۴۰

۲-۳-۷ تخریب عملکرد ماژولهای فتوولتائیک \_\_\_\_\_ ۱۴۱

۴-۷ تست آمونیاک \_\_\_\_\_ ۱۴۴

۱-۴-۷ تستهای انجام شده روی فویل / شیشه ماژولهای فتوولتائیک کریستال سیلیکونی \_\_\_\_\_ ۱۴۷

۲-۴-۷ تستهای انجام شده بر روی ماژولهای غیر شیشه‌ای \_\_\_\_\_ ۱۴۸

۵-۷ تست افت توان ناشی از پتانسیل بالا در ماژولهای فتوولتائیک سیلیکونی \_\_\_\_\_ ۱۵۱

۶-۷ تست IEC تعمیم یافته در آزمایشگاه \_\_\_\_\_ ۱۵۵

۱-۶-۷ نتایج آزمایش حاصل از تست تعمیم یافته \_\_\_\_\_ ۱۵۶

۲-۶-۷ تست تسریع شده و تجربه میدانی \_\_\_\_\_ ۱۵۹

۸ نتیجه گیری \_\_\_\_\_ ۱۶۲

۹ ضمیمه A: چک لیست شرایط ماژول \_\_\_\_\_ ۱۶۸

۱۰ ضمیمه B: تصاویر رنگی \_\_\_\_\_ ۱۸۱

۱۱ ضمیمه C: جدول رنگی \_\_\_\_\_ ۱۸۸

## ۱ پیشگفتار

آژانس بین‌المللی انرژی (IEA<sup>۱</sup>)، در نوامبر سال ۱۹۷۴ تأسیس شده است، یک نهاد مستقل در چارچوب سازمان همکاری توسعه اقتصادی (OECD) است که برنامه جامع همکاری انرژی را در میان کشورهای عضو اجرا می‌کند. اتحادیه اروپا نیز در کار آژانس مشارکت می‌کند. همکاری در تحقیق، توسعه و نمایش تجربی فناوری‌های جدید، بخش مهمی از برنامه این آژانس بوده است.

برنامه سیستم‌های قدرت فتوولتائیک (PVPS) آژانس بین‌المللی انرژی یکی از توافقنامه‌های تحقیق و توسعه مشارکتی مطرح شده در IEA است. از سال ۱۹۹۳، مشارکت‌کنندگان برنامه PVPS پروژه‌های مشترک متنوعی را در زمینه کاربرد تبدیل فتوولتائیک انرژی خورشیدی به الکتریسیته انجام داده‌اند.

مأموریت برنامه PVPS آژانس بین‌المللی انرژی عبارت است از: تقویت تلاش‌های مشترک بین‌المللی که نقش انرژی خورشیدی فتوولتائیک را به عنوان سنگ بنای گذار به سیستم‌های انرژی پایدار تسهیل می‌کند.

فرض اساسی این است که بازار سیستم‌های فتوولتائیک به سرعت در حال گسترش نفوذ قابل توجه به بازار نیروگاه‌های متصل به شبکه در تعداد زیادی از کشورها و در هر دو سطح شبکه توزیع<sup>۲</sup> و شبکه انتقال است.

این گسترش قدرتمند بازار مستلزم دسترسی به اطلاعات معتبر و قابل استفاده در خصوص عملکرد و پایداری سیستم‌های فتوولتائیک، دستورالعمل‌های فنی و طراحی، روش‌های برنامه‌ریزی، تأمین مالی و غیره است که باید با بازیگران و عوامل مختلف به اشتراک گذاشته شوند. به‌ویژه، نفوذ بالای فتوولتائیک به شبکه‌های اصلی مستلزم توسعه استراتژی‌های جدید مدیریت شبکه و اینورترهای فتوولتائیک، تمرکز بیشتر بر پیش‌بینی و ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی، و همچنین بررسی تأثیر اقتصادی و فناوری بر کل سیستم انرژی است. مدل‌های جدید کسب‌وکار فتوولتائیک باید توسعه داده شوند، زیرا ویژگی غیرمتمرکز فتوولتائیک،

---

<sup>۱</sup> International Energy Agency

<sup>۲</sup> Distribution network

مسئولیت تولید انرژی را بیشتر به دست مالکین خصوصی، شهرداری‌ها، شهرها و مناطق منتقل می‌کند.

برنامه کلی تحت ریاست کمیته اجرایی متشکل از نمایندگان هر کشور و سازمان اجرا می‌شود، در حالی که مدیریت پروژه‌های تحقیقاتی منحصربه‌فرد (وظایف) برعهده عوامل یا نمایندگان اجرائی است. تا اواخر سال ۲۰۱۳، چهارده وظیفه در برنامه PVPS تعیین شد که در حال حاضر، شش مورد از آنها، در حال اجرا هستند.

هدف کلی Task 13، بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌ها و زیر سیستم‌های فتوولتائیک با جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل، و انتشار اطلاعات مربوط به عملکرد فنی و خرابی‌های (نقایص) آنها، فراهم کردن مبنای ارزیابی و توسعه توصیه‌های عملی برای اهداف تست و اندازه‌گیری است.

اعضای فعلی Task 13 مربوط به برنامه PVPS آژانس بین‌المللی انرژی عبارتند از: استرالیا، اتریش، بلژیک، چین، انجمن صنعت فتوولتائیک اروپا<sup>۳</sup> (EPIA)، فرانسه، آلمان، اسرائیل، ایتالیا، ژاپن، مالزی، هلند، نروژ، اسپانیا، سوئد، سوئیس، ترکیه و ایالات متحده آمریکا.

این گزارش بر شرح دقیق و مفصل نقایص و خرابی‌های ماژول فتوولتائیک، منشأ آنها، آمار، ارتباط توان و ایمنی ماژول، نقایص بعدی حاصل از نقایص حال حاضر، روش‌های تست ماژول‌ها و تشخیص نقایص و خرابی‌ها متمرکز است. این گزارش عمدتاً بر ماژول‌های فتوولتائیک مبتنی بر ویفر متمرکز است. ماژول‌های فتوولتائیک لایه‌نازک نیز پوشش داده می‌شود، اما به دلیل سهم بازار ناچیز این نوع ماژول‌های فتوولتائیک، داده‌های معتبر غالباً از دست می‌روند. تیم نویسندگان همچنین بر روی انواع نقایص و خرابی‌های ماژول فتوولتائیک متمرکز است که خاص تولیدکننده ویژه‌ای نیستند، و از ارتباط گسترده‌تری برخوردار هستند.

ویرایشگران این سند عبارتند از مارک کنتکس، مؤسسه پژوهشی انرژی خورشیدی هملین، امیر تال، آلمان (DEU)، و اولر یک جان، TOV Rheinland Energie und Umwelt GmbH، کلن، آلمان (DEU).

این گزارش، تاحدامکان، اجماع بین‌المللی در خصوص نظر کارشناسان Task 13 در مورد موضوع مورد بررسی را بیان می‌کند. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد فعالیت‌ها و نتایج این وظیفه و تکلیف می‌توان به سایت ذیل مراجعه کرد: <http://www.iea-pvps.org>.

<sup>3</sup> European Photovoltaic Industry Association