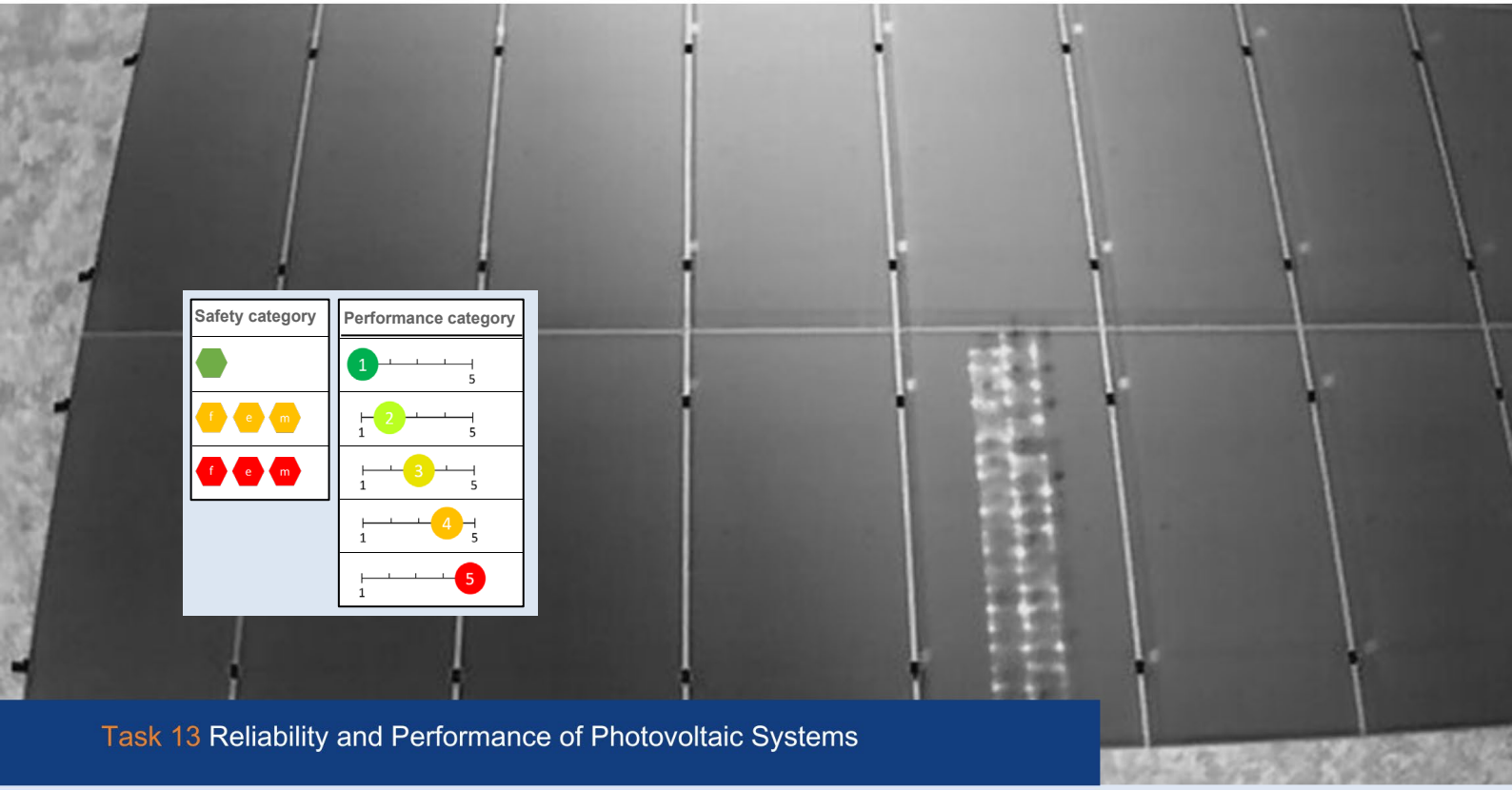
Technology Collaboration Programme
by IEA

International Energy Agency
Photovoltaic Power Systems Programme



Task 13 Reliability and Performance of Photovoltaic Systems

PVPS

Photovoltaic Failure Fact Sheets (PVFS) 2025

ورقة حقائق أعطال الأنظمة الكهروضوئية 2025

ما هو برنامج التعاون التقني لأنظمة الطاقة الكهروضوئية (IEA PVPS)؟

تأسست الوكالة الدولية للطاقة (IEA) عام 1974، وهي هيئة مستقلة ضمن إطار منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD). أُنشئ برنامج التعاون التقني (TCP) إيماناً بأن مستقبل أمن الطاقة واستدامتها يبدأ بالتعاون العالمي. يضم البرنامج 6000 خبير من مختلف الجهات الحكومية الأكاديمية والصناعية، مكرّسين جهودهم لتطوير الأبحاث المشتركة وتطبيق تقنيات الطاقة المحددة.

يُعدّ برنامج أنظمة الطاقة الكهروضوئية (IEA PVPS) أحد برامج التعاون التقني (TCPs) التابعة لوكالة الطاقة الدولية، وقد أُسس عام 1993. تتمثل مهمة البرنامج في "تعزيز الجهود التعاونية الدولية التي تسهل دور الطاقة الشمسية الكهروضوئية كركيزة أساسية في التحول إلى أنظمة طاقة مستدامة". ولتحقيق ذلك، نفّذ المشاركون في البرنامج مجموعة متنوعة من المشاريع البحثية المشتركة في تطبيقات أنظمة الطاقة الكهروضوئية. يرأس البرنامج العام لجنة تنفيذية، تتألف من مندوب واحد من كل دولة أو منظمة عضو، والتي تحدد "مهام" محددة، قد تكون مشاريع بحثية أو مجالات أنشطة.

الدول المشاركة في برنامج الطاقة الشمسية الكهروضوئية التابع لوكالة الطاقة الدولية هي أستراليا، النمسا، بلجيكا، كندا، الصين، الدنمارك، فنلندا، فرنسا، ألمانيا، الأراضي المحتلة، إيطاليا، اليابان، كوريا، ماليزيا، المكسيك، المغرب، هولندا، النرويج، البرتغال، جنوب أفريقيا، إسبانيا، السويد، سويسرا، تايلاند، تركيا، والولايات المتحدة الأمريكية. كما أن المفوضية الأوروبية، وشركة إينيرسيتي (Enercity)، ومعهد أبحاث الطاقة الشمسية في سنغافورة، وشركة سولار باور يوروب (Solar Power Europe)أعضاء أيضاً.

تفضلوا بزيارة موقعنا الإلكتروني www.iea-pvps.org

ما هي المهمة 13 لبرنامج الطاقة الشمسية الكهروضوئية التابع لوكالة الطاقة الدولية؟

ضمن إطار عمل برنامج الطاقة الشمسية الكهروضوئية التابع لوكالة الطاقة الدولية (IEA PVPS)، تهدف المهمة 13 إلى تقديم الدعم للجهات الفاعلة في السوق والتي تعمل على تحسين تشغيل وموثوقية وجودة مكونات وأنظمة الطاقة الكهروضوئية. ستساعد البيانات التشغيلية من أنظمة الطاقة الكهروضوئية في مناطق مناخية مختلفة، والتي جُمعت ضمن المشروع، في توفير الأساس لتقديرات الوضع الراهن فيما يتعلق بموثوقية وأداء الطاقة الكهروضوئية.

يوفر الإطار العام للمهمة 13 منصة مشتركة لتلخيص وتقديم تقارير حول الجوانب التقنية التي تؤثر على جودة وأداء وموثوقية وعمر أنظمة الطاقة الكهروضوئية في مجموعة واسعة من البيئات والتطبيقات. من خلال العمل معاً عبر الحدود الوطنية، يمكننا جميعاً الاستفادة من الأبحاث والخبرات من كل دولة عضو وجمع هذه المعرفة ودمجها في ملخصات قيمة لأفضل الممارسات والأساليب لضمان أداء أنظمة الطاقة الكهروضوئية على النحو الأمثل والاستمرار في توفير عائد استثمار تنافسي.

لقد نجحت المهمة 13 حتى الآن في إنشاء الإطار الصحيح لحساب المعايير المختلفة التي يمكن أن تعطي مؤشراً على جودة مكونات وأنظمة الطاقة الكهروضوئية. الإطار متاح الآن ويمكن استخدامه من قبل القطاع الذي أعرب عن تقديره للنتائج المضمنة في التقارير عالية الجودة.

الدول المشاركة في المهمة 13 لبرنامج الطاقة الشمسية الكهروضوئية التابع لوكالة الطاقة الدولية (IEA PVPS) هي أستراليا، النمسا، بلجيكا، كندا، تشيلي، الصين، الدنمارك، فنلندا، فرنسا، ألمانيا، الأراضي المحتلة، إيطاليا، اليابان، هولندا، النرويج، إسبانيا، السويد، سويسرا، تايلاند، الولايات المتحدة الأمريكية، ومعهد أبحاث الطاقة الشمسية في سنغافورة.

إخلاء مسؤولية

يُنظِّم برنامج التعاون الفني للطاقة الشمسية الكهروضوئية (PVPS) التابع لوكالة الطاقة الدولية (IEA) تحت رعاية الوكالة، ولكنه مستقل وظيفياً وقانونياً. لا تُعبّر آراء ونتائج ومنشورات برنامج التعاون الفني للطاقة الشمسية الكهروضوئية (PVPS) التابع لوكالة الطاقة الدولية بالضرورة عن آراء أو سياسات أمانة الوكالة أو دولها الأعضاء.

صورة الغلاف

صورة بالأشعة تحت الحمراء لسلسلة ألواح مُنشَّطة ليلاً. إحدى الألواح مزودة بصمام ثنائي جانبي غير متصل. شكرًا لشركة Photovoltaikbuero Diehl GbR & Ternus على منحها الإذن باستخدام الصورة.

الرقم التسلسلي الدولي للكتاب ISBN 978-3-907281-71-0: تقرير المهمة 13: ورقة حقائق أعطال الألواح الكهروضوئية (PVFS) - نسخة 2025.

المؤلفون

المساهمون الأساسيون في نسخة 2025 من تقريرPVPS

كابي فرايسن، شركة (SUPSI)، سويسرا.

مارك كونتيغس، شركة (ISFH)، ألمانيا.

جاي لين، شركة (PV Guider).

كيرنوت أوريسكي، شركة (PCCL)، النمسا.

كابريال سيز أيدير، شركة (OFI)، النمسا.

بيتر هايك، المختبر الوطني للطاقة المتجددة (NREL)، الولايات المتحدة الأمريكية.

بول كيبهاردت، معهد فرانهوفر للطاقة الشمسية (Fraunhofer ISE)، ألمانيا.

إيبرا أوزكالي، شركة (SUPSI)، سويسرا.

كريستوف بوشر، شركة (BFH)، سويسرا.

مارو كاسيفيو، شركة (SUPSI)، سوسيرا.

روماين كوديرك، شركة (CEA)، فرنسا.

سيرجي فايوريل سباتارو، شركة (DTU)، الدنمارك.

المحررون

كابي فرايسن، شركة (SUPSI)، سويسرا.

جاي لين، شركة (PV Guider).

أورلك يان، مركز فرانهوفر لخلايا السيليكون الكهروضوئية (Fraunhofer CSP)، ألمانيا

الترجمة إلى اللغة العربية وتدقيق الترجمة

تمت الترجمة من قبل شركة سولارابيك في دبي، الإمارات العربية المتحدة

سولارابيك SOLARABIC

فريق الترجمة والتدقيق

إعداد الترجمة	تدقيق الترجمة
آفاق حياري	جميلة حصني
بسمة عبود	حنا ندروس
مرح مريم	منيف بركات

جدول المحتويات

شكر وتقدير 5
1. المقدمة 6
1.1 هيكل تقرير أعطال الأنظمة الكهروضوئية (PVFS) 6
1.2 مثال على تشقق (انفصال أو تمزق) التغليف الأمامي (Front delamination) 9
1.3 قائمة أعطال الأنظمة الكهروضوئية (PVFS) 12
المراجع 13
المحلق (ورقة حقائق أعطال الألواح الكهروضوئية) 15

شكر وتقدير

هذا التقرير مدعوم من قبل الوزارة الاتحادية الألمانية للشؤون الاقتصادية والعمل المناخي (BMWK) بموجب العقود رقم EE1120A03، EE1120B 03 وEE1120C03، والمكتب الفيدرالي السويسري للطاقة (SFOE) بموجب العقد رقم SI/502398-01، والوزارة الاتحادية النمساوية للعمل المناخي والبيئة والطاقة والتنقل(BMK)، وبرنامج تطوير وتجريب تكنولوجيا الطاقة الدنماركي(EUDP)، رقم المشروع 134-22016، "المهمة 13 لبرنامج الطاقة الشمسية الكهروضوئية التابع لوكالة الطاقة الدولية -(IEA PVPS) موثوقية وأداء أنظمة الطاقة الكهروضوئية"، ووكالة الأبحاث النمساوية (FFG) بموجب العقد رقم FO999908094_05102023_160512119.

أُنجز هذا العمل جزئياً بواسطة المختبر الوطني للطاقة المتجددة، الذي تديره شركة التحالف من أجل الطاقة المستدامة (Alliance for Sustainable Energy, LLC)، لصالح وزارة الطاقة الأمريكية (DOE) بموجب العقد رقم DE-AC36-08GO28308 في إطار المشروع رقم 38263 "البحث والتطوير لضمان أساس علمي لاختبارات ومعايير التأهيل"، الممول من وزارة الطاقة الأمريكية، مكتب كفاءة الطاقة والطاقة المتجددة، مكتب تقنيات الطاقة الشمسية. لا تمثل الآراء المعبر عنها في المقالة بالضرورة آراء وزارة الطاقة الأمريكية أو حكومة الولايات المتحدة.

1. المقدمة

تلخص تقارير أعطال الأنظمة الكهروضوئية (PVFS) بعضاً من أهم جوانب الأعطال الفردية. تستهدف هذه الأوراق مُخطّطي ومُركبي ومستثمري الطاقة الكهروضوئية، والخبراء المستقلين وشركات التأمين، وأي شخص مهتم بوصف موجز للأعطال مع أمثلة، وتقدير للمخاطر، واقتراحات حول كيفية التدخل أو منع هذه الأعطال.

لا تهدف الأوراق إلى تقديم دراسة متعمقة للخلفية النظرية لأعطال الأنظمة الكهروضوئية واكتشافها. بدلاً من ذلك، تهدف إلى تلخيص النقاط الرئيسية الموضحة في التقارير الفنية المختلفة الخاصة بالمهمة 13 ورقة حقائق أعطال الأنظمة الكهروضوئية (PVPS) لوكالة الطاقة الدولية [Herz22، Köntges14، Köntges16، Köntges17، Schill21، Jahn18، Hermann21] والوثائق المرجعية [Sinclair17، Packard12، Eder19، Moser17، Yang19، Walsh20، Petter11، India18، India13، PVSurvey19، DuPont20] التي استُخدمت لإعداد تقارير حقائق الأعطال المدرجة في الجدول 2. وتتعلق تقارير الأعطال هذه بالمكون الذي حدث فيه العطل. وقد تمت مراجعة تقارير الأعطال في عام 2024 لتشمل أحدث أعطال ألواح الطاقة الكهروضوئية التي لوحظت ميدانياً وتمت مناقشتها بمزيد من التفاصيل في التقرير الفني [Köntges25] للمهمة 13 لـ (IEA PVPS).

1.1 هيكل تقرير أعطال الأنظمة الكهروضوئية (PVFS)

يعتمد تنسيق هيكل تقرير الأعطال (PVFS) على وصف العطل المقدم ضمن مشروع قابلية تمويل الطاقة الشمسية التابع لمبادرة أفق 2020 المعروفة بـ [SolBank20]. يُستخدَم هنا نظام تصنيف لتقدير شدة العطل، مما يبسط النهج المقترح ضمن المهمة 13 لـ (IEA PVPS) وفقاً لـ [Köntges14]. من خلال تطبيق نظام التصنيف الذي اقترحه سينكلاير [Sinclair17]. يبرز النص العلاقة بين الأعطال المختلفة باستخدام محارف غامقة. يتم تنظيم كل ورقة عطل (PVFS) من صفحة واحدة إلى ثلاث صفحات. الصفحة الأولى هي صفحة وصفية، بينما تحتوي الصفحات المتبقية على أمثلة تتكون من صورة وتعليق وتقدير لشدة العطل. يتم تنظيم الصفحة الأولى على النحو التالي:

المكون

تنقسم مكونات نظام الطاقة الكهروضوئية إلى:

(1) اللوح الكهروضوئي (بما في ذلك صندوق التوصيل).

(2) الكابلات والموصلات (على مستوى اللوح والسلسلة وصندوق التجميع).

(3) أنظمة التثبيت (الهيكل والملاقط والبراغي).

(4) العاكس (Inverter).

العيب

اسم مختصر يصف العطل \ العيب.

المظهر الخارجي

وصف لكيفية ظهور العيب.

آلية الكشف

وصف الطرق المستخدمة للكشف عن العطل. تُدرج طرق الكشف بين قوسين الطرق الثانوية، التي لا تكتشف العطل بدقة مطلقة أو التي يمكن استخدامها بالإضافة إلى طرق أخرى. يتم استخدام الاختصارات التالية:

الجدول 1: اختصارات طرق الكشف

الاختصار	طرق الكشف
VI	الفحص البصري (Visual Inspection)
IRT	التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (Infrared Thermography)
EL	اللمعان الكهربائي (Electroluminescence)
IV	قياس التيار-الجهد في ضوء النهار (Daylight I-V measurement)
UV	الفلورة بالأشعة فوق البنفسجية (UV fluorescence)
STM	طريقة إرسال الإشارة (Signal Transmission Method)
MON	مراقبة البيانات (Data Monitoring)
dIV	قياس التيار-الجهد في الظلام (Dark I-V measurement)
BYT*	اختبار صمام العبور الثنائي (الدايود) – (Bypass Diode Testing)
VOC	قياس جهد الدارة المفتوحة (Voc Measurement)
INS	اختبار العزل (Insulation Testing)

مصادر مفيدة

https://photovoltaikbuero.de/en/pv-know-how-blog-en/checking-bypass-diodes-on-solar-panels-part-1/

https://www.hioki.com/euro-en/products/pv/solar-panel/id_6647

https://emazys.com/pv-module-test/

سبب العطل

وصف العطل وأسبابه الرئيسية ومصدره (1. المواد والإنتاج، 2. النقل والتركيب، 3. التشغيل والصيانة).

التأثير الناتج

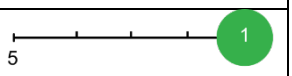
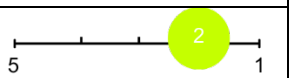
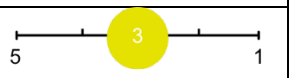
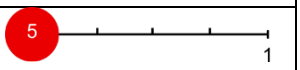
وصف لتأثير العطل على سلامة وأداء، وموثوقية المُكون، والنظام، وشدته. يُعطَى كل عطل نطاق من التصنيفات المحتملة، واحد للسلامة وآخر للأداء.

يُعرَّف العطل بأنه عطل متعلق بالسلامة عندما يُعرّض للخطر أي شخص يستخدم أو يعمل مع ألواح الطاقة الكهروضوئية أو حتى يمر بجوارها. يتم تعريف ثلاث فئات في الشكل 1.

فئة السلامة	الوصف
	العطل لا يؤثر على السلامة.
f e m	قد يتسبب العطل في نشوب حريق (f)، أو صدمة كهربائية (e)، أو خطر مادي (m) في حالة حدوث عطل لاحق و \ أو عطل ثانٍ.
f e m	يمكن أن يتسبب العطل بشكل مباشر في نشوب حريق (f)، أو صدمة كهربائية (e)، أو خطر مادي (m).

الشكل 1: فئات السلامة.

يُعرَّف العطل بأنه عطل في الأداء عندما يؤثر على أداء و \ أو موثوقية النظام. تم تعريف خمس فئات في الشكل 2. وهي تتراوح من 1 (خطورة منخفضة) إلى 5 (خطورة عالية).

فئة الأداء	الوصف
	ليس للعطل تأثير مباشر على الأداء.
	للعطل تأثير طفيف على الأداء.
	للعطل تأثير متوسط على الأداء.
	للعطل تأثير كبير على الأداء.
	للعطل تأثير كارثي على الأداء.

الشكل 2: فئات الأداء.

يتم تقدير الضياعات المتوقعة لكل فئة على مستوى المُكون وإذا لم يتم تطبيق أي إجراء تخفيفي يمكن أن تتراوح من عدم وجود تدهور في الطاقة (0%)، إلى تدهور زائد في الطاقة أقل من حد الكشف (<2-3%) أو تدهور في الطاقة خلال فترة الضمان (<0.7-1% سنوياً) أو تدهور في الطاقة خارج الضمان (<0.7-1% سنويًا)، أو تدهور كارثي في الطاقة (<3% سنوياً).

الحد من الضرر

وصف الإجراءات التصحيحية الواجبة على المدى القصير والمتوسط عند اكتشاف عطل والإجراءات الوقائية التي يجب تنفيذها لتجنب العطل من البداية. تُقسّم الإجراءات الوقائية إلى إجراءات موصى بها، تمثل الحد الأدنى من المتطلبات للأنظمة السكنية الصغيرة وإجراءات اختيارية للأنظمة واسعة النطاق.

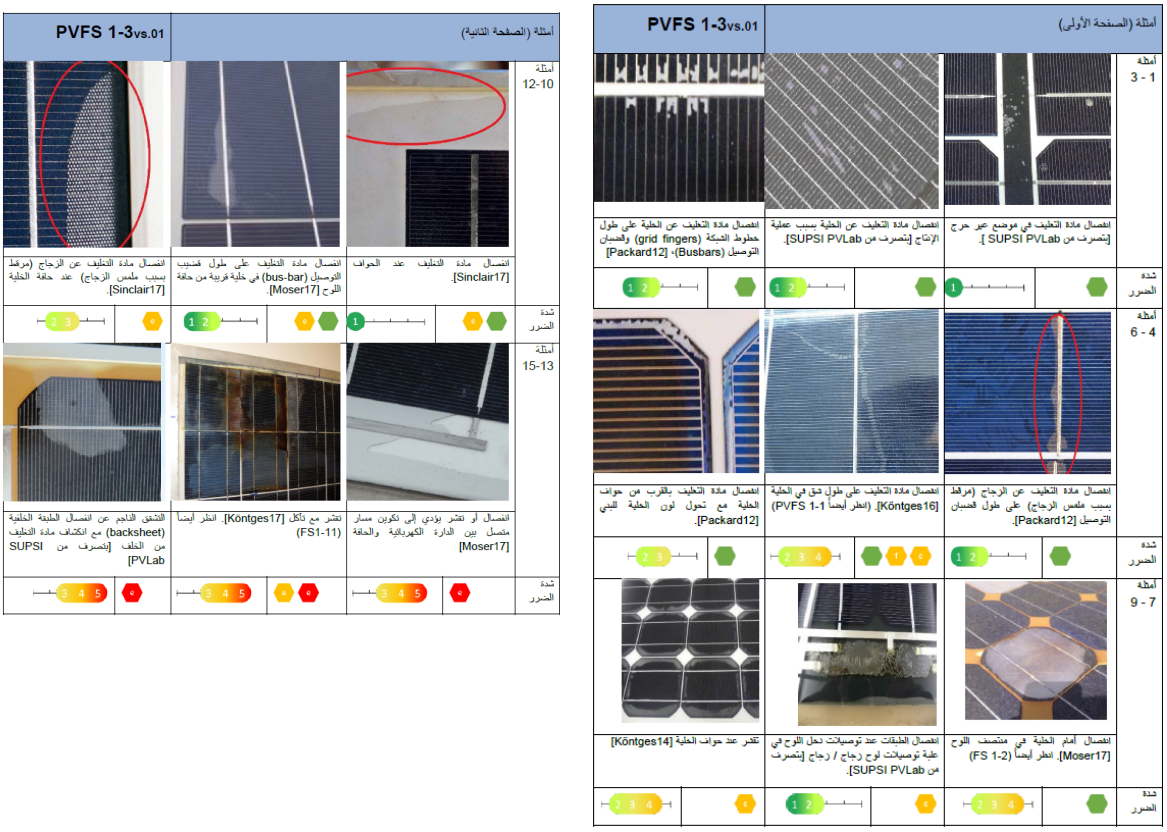
القاعدة العامة للتدخل في حالة حدوث عطل هي: يجب استبدال أو إصلاح جميع المكونات التي تنطوي على خطر مباشر على السلامة أو التي تكون شدة أدائها 5، والموضحة باللون الأحمر. يجب إجراء فحوصات منتظمة لمراقبة حالة المكونات التي لم يتم استبدالها أو إصلاحها.

1.2 مثال على تشقق (انفصال أو تمزق) التغليف الأمامي (Front delamination)

يُستخدم التشقق (التمزق أو الانفصال) في مادة التغليف للوجه الأمامي (FS1-3: Front delamination) هنا كمثال لشرح هيكل (بنية) ورقة حقائق الأعطال (FS) ونظام التصنيف.

المكون العيب	اللوح الكهروضوئي (Module) التشقق الأمامي (Front delamination)	PVFS 1-3vs.01
المظهر الخارجي	أي انفصال موضعي للطبقات بين (1) الزجاج الأمامي ومادة التغليف أو (2) الخلية والمادة المغلّفة، يظهر على شكل فقاعات أو مناطق لامعة حليبية اللون. قد يظهر متواصلاً أو على شكل بقع. يعتمد موضع وحجم التشقق أو الفقاعة على مصدر العطل وتطوره.	
آلية الكشف	الفحص البصري (VI)، (اختبار العازلية (INS))	
سبب العطل	يمكن أن تتأثر قوة التصاق الزجاج ومادة التغليف والطبقات النشطة والطبقات الخلفية بأسباب عديدة. عادة، يكون السبب ناتجاً عن عملية التصنيع (مثل ضعف التشابك في مادة (EVA)، ومدة التصفيح قصيرة جدًا، والضغط المرتفع جدًا في آلة التصفيح، والتلوث، والتنظيف غير السليم للزجاج، وعدم توافق (EVA) مع سائل اللحام، والتخزين غير السليم للمواد الخام) أو العوامل البيئية (مثل الإجهادات الحرارية، والإجهادات الميكانيكية الخارجية، والأشعة فوق البنفسجية). يتبع التشقق عمومًا دخول الرطوبة **والتآكل**. لذلك فهو أكثر تواترًا وشدة في الظروف الحارة والرطبة.	
	الإنتاج ■ التركيب ☐ التشغيل ■	
التأثير الناتج	لا يشكل التشقق أو الفقاعات مشكلة تتعلق بالسلامة، ولكنها يمكن أن تؤدي إلى **انخفاض عازلية** المكون وزيادة خطر السلامة عندما تشكل مسارًا مستمرًا بين الدارة الكهربائية والحافة بسبب احتمال دخول الماء. ستؤدي الرطوبة في اللوح إلى تقليل الأداء بسبب زيادة المقاومة التسلسلية، مما يؤثر على الموثوقية على المدى الطويل وفي بعض الحالات أيضًا على السلامة الهيكلية للوح. علاوة على ذلك، سيؤدي التشقق في الأسطح البينية في المسار الضوئي إلى انعكاس ضوئي إضافي وانخفاض لاحق في التيار. يمكن أن يكون هذا هو سبب عدم تطابق التيار. إذا كان عدم التطابق كبيرًا، فسيؤدي ذلك إلى تشغيل دايود العبور (bypass diode) ويتسبب في ضياع المزيد من الطاقة. قد يتوقف العاكس أيضًا عن العمل بسبب التيارات التسريبية مما يؤدي إلى مزيد من انخفاض الأداء. غالبًا ما تؤثر مشكلات التشقق المتعلقة بالتصنيع على نسبة كبيرة من الألواح ضمن نفس دفعة الإنتاج وبالتالي يكون لها تأثير كبير على أداء النظام.	
	السلامة e e f الأداء: 1 2 3 4 5	
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها) / الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. يجب إجراء فحوصات منتظمة لمراقبة حالة الألواح غير المستبدلة. في حالة اختبار كل لوح على حدة، يجب استبدال جميع الألواح التي فشلت في اختبار العزل و/أو اختبار التسرب الرطوبة.	التحقق من صحة شهادة IEC61215 وقائمة المواد (BOM)، واكتشاف أعطال التأريض عبر العاكس أو الأجهزة الأخرى في جميع الأوقات. / الاختبارات الموسعة (على سبيل المثال الحرارة الرطبة)، وعمليات التفتيش قبل الشحن (على سبيل المثال مستوى الارتباط المتبادل لـ (EVA)) وعمليات الفحوصات البصرية المنتظمة للنظام.

الشكل 3: الصفحة الأولى من مثال الأعطال مع المعلومات العامة.



الشكل 4: تحتوي الصفحات المتبقية من ملف ورقة حقائق أعطال الأنظمة الكهروضوئية على أمثلة مكونة من صورة وتعليق توضيحي وتقدير لشدة العطل.

يصف القسم الأول من الورقة **المظهر الخارجي** لعطل معين أو كيفية التعرف عليه وطرق الكشف المتاحة. عادة ما تكون **آلية الكشف** عن التشقق (الانفصال أو التمزق) – [Delamination] سهلة عن طريق الفحص البصري (VI) للألواح من الأمام. قد تشير قياسات العزل (INS) إلى وجود تشققات كثيرة (حادة أو شديدة)، ولكنها ليست الطريقة الأولى لاكتشاف التشقق المبكر، ولهذا السبب يتم وضعها بين قوسين.

يصف القسم الثاني **سبب العطل** أو في أي مرحلة من عمر نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية يحدث وما هي أسبابه الرئيسية. تنشأ مشاكل التشقق بشكل رئيسي من جودة المواد الخام، وعملية التصنيع و\أو العوامل البيئية التي تتعرض لها الألواح خلال عمرها التشغيلي. لا يتسبب النقل والتركيب بأية مشاكل تشقق.

يصف القسم الثالث **التأثير الناتج** على سلامة وأداء المكون ونظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية. يُدرج أسفل الوصف العام تصنيف شدة العطل وفقاً للشكل 1 والشكل 2. يعطي تصنيف الشدة في الصفحة الأولى النطاق الكامل للتصنيفات المحتملة التي يمكن ملاحظتها ميدانياً وكيف يمكن أن يتطور العطل على مدار العمر الافتراضي لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية. أما التصنيف في الأمثلة فيعطي لمحة سريعة عن خطورة العطل لحالة محددة في وقت معين. إن الصور مأخوذة من مراجع أو دراسات حالة ولا تقدم سوى صورة جزئية فقط عن الوضع وتستخدم لشرح مستويات التأثير المحتملة هنا.

لا يشكل انفصال مادة التغليف (potting material) **خطراً على السلامة** تلقائياً. لذلك، غالباً ما يتم تصنيفه على أنه غير حرج (انظر الأمثلة 1.3.1-1.3.7، 1.3.10 و13.11 في الملحق 1)، ولكن اعتماداً على انتشار العطل، يمكن أن يتطور إلى عطل أكثر خطورة على السلامة. عند تشكل مسار للتيار بين الدارة الكهربائية وحافة اللوح (انظر الأمثلة 1.3.13-1.3.15) يمكن أن يؤدي التشقق إلى تشكل تيارات كهربائية تسريبية مع خطر مباشر لحدوث صدمات كهربائية أو يمكن أن يحدث الخطر في وقت لاحق، بسبب تفاقم التشققات و\أو دخول الرطوبة. ينطبق هذا الحال بشكل خاص عندما يكون التشقق الأصلي قريباً من حافة اللوح أو صندوق التوصيلات، أو إذا كان يمتد على مساحة واسعة جداً (انظر الأمثلة 1.3.8-1.3.12). يتراوح **خطر انخفاض الأداء** للألواح التي تعاني من مشاكل التشقق من 1 إلى 5. تُصنف مناطق التشقق الصغيرة جدًا فوق الخلية أو خارجها وغير المقترنة بأعطال أخرى على أنها عديمة التأثير (1) أو انخفاض طاقة طفيف عادةً ما يكون أقل من حد الكشف (2)، إذا لم يتزايد العطل بمرور الوقت (انظر الأمثلة

1.3.1-1.3.4، 1.3.8، 1.3.10 و 1.3.11). تكون شدة العطل بين (2-4) عندما تصبح منطقة التشقق أكبر (انظر الأمثلة 1.3.7 و1.3.9) أو إذا كانت تحدث بالاقتران مع أعطال لاحقة مثل دخول الرطوبة (انظر المثال 1.3.14) أو فشل في العازلية (انظر المثال 1.3.13). كما تزداد حدته عند حدوثه بالتزامن مع عطل ثانٍ مثل تغير لون مادة التغليف أو الطبقة الخلفية (بني مُحمَّر) (انظر الأمثلة 1.3.6، 1.3.7، 1.3.13)، أو حدوث شقوق في الخلية (انظر المثال 1.3.5). يحقق العطل انخفاض كارثي في الأداء (5) عندما يكون عدم تطابق الخلايا كبيراً جداً لدرجة أنه يؤدي لعمل دايود عبور واحد أو أكثر (انظر المثالين 1.3.13 و 1.3.14).

يصف القسم الأخير **إجراءات الحدّ من الضرر**. في حالة انفصال الطبقات، يجب استبدال جميع الألواح التي لم تعد تضمن السلامة الكهربائية أو مقاومة العزل أو لا تحتوي على دايودات عبور سليمة. أما الألواح غير المستبدلة والتي تعاني من انفصال طبقات بسيط، فيجب مراقبتها من خلال فحوصات بصرية دورية منتظمة واكتشاف أعطال التأريض. وتتمثل الإجراءات الوقائية الأساسية في اختيار المنتجات المعتمدة والمختبرَة فقط. أما في حالة الأنظمة واسعة النطاق، فيوصى بإجراء فحص دوري للنظام.

1.3 قائمة أعطال الأنظمة الكهروضوئية (PVFS)

الجدول 2: قائمة بيانات أعطال الأنظمة الكهروضوئية.

الرقم	المكون	اسم العطل
1-1	اللوح الكهروضوئي	شقوق في الخلية (Cell cracks)
1-2	اللوح الكهروضوئي	تغير لون الطبقة الخلفية (Discolouration of encapsulant or backsheet)
1-3	اللوح الكهروضوئي	تشقق (انفصال أو تمزق) التغليف الأمامي – (Front Delamination)
1-4	اللوح الكهروضوئي	تشقق (انفصال أو تمزق) التغليف الخلفي (الطبقة الخلفية) – (Backsheet Delamination)
1-5	اللوح الكهروضوئي	تشقق الطبقة الخلفية – (Backsheet Cracking)
1-6	اللوح الكهروضوئي	ابيضاض وتكلّس الطبقة الخلفية – Backsheet Chalking (Whitening)
1-7	اللوح الكهروضوئي	علامات احتراق – (Burn Marks)
1-8	اللوح الكهروضوئي	تشقق (تكسر الزجاج) – (Glass Breakage)
1-9	اللوح الكهروضوئي	عطل في توصيل الخلايا – (Cell interconnection failure)
1-10	اللوح الكهروضوئي	التقادم المُحفّز بالتوتر – (Potential Induced Degradation - PID)
1-11	اللوح الكهروضوئي	تغير لون\تآكل المعدن – (Metallisation discolouration/corrosion)
1-12	اللوح الكهروضوئي	تآكل أو كشط الزجاج – (Glass corrosion or abrasion)
1-13	اللوح الكهروضوئي	عيب أو انفصال في صندوق التوصيل – (Defect or detached junction box)
1-14	اللوح الكهروضوئي	عطل في توصيل صندوق التوصيل – (Junction box interconnection failure)
1-15	اللوح الكهروضوئي	حماية دايود العبور مفقودة أو غير كافية – (Missing or insufficient bypass diode protection)
1-16	اللوح الكهروضوئي	تصنيف استطاعة غير متوافق مع الاستطاعة الاسمية – (Not conform power rating)
1-17	اللوح الكهروضوئي	التقادم المُحفز بالضوء في ألواح السيليكون – (Light induced degradation in c-Si modules)
1-18	اللوح الكهروضوئي	انهيار العازلية (أعطال العزل) – (Insulation failure)
1-19	اللوح الكهروضوئي	البقعة الساخنة (الأنماط الحرارية) – (Hot spot (thermal patterns))
1-20	اللوح الكهروضوئي	تراكم الغبار (اتساخ الألواح) – (Soiling)
2-1	الكابل والموصل الداخلي	عدم تطابق موصل التيار المستمر – (DC connector mismatch)
2-2	الكابل والموصل الداخلي	عيب في موصل\كابل التيار المستمر – (Defect DC connector/cable)
2-3	الكابل والموصل الداخلي	انهيار العازلية (أعطال العزل) – (Insulation failure)
2-4	الكابل والموصل الداخلي	التلف الحراري في صندوق التجميع – (Thermal damage in combiner box)
3-1	نظام التثبيت	ملاقط تثبيت اللوح سيئة – (Bad module clamping)
3-2	نظام التثبيت	هيكل تركيب غير مناسب\معيب – (Inappropriate/defect mounting structure)
3-3	نظام التثبيت	تظليل اللوح – (Module shading)
4-1	العاكس	ارتفاع حرارة العاكس بشكل مفرط – (Overheating (temperature derating))
4-2	العاكس	تركيب غير صحيح – (Incorrect installation)
4-3	العاكس	العاكس لا يعمل (فشل كامل في عمل العاكس) – (Complete failure (not operating))

لا تدّعي القائمة أنها شاملة أو محدثة. القائمة الكاملة مع جميع أرواق حقائق أعطال الأنظمة الكهروضوئية (PVFS)

المراجع

[DuPont20] DuPont global PV reliability, 2020 Field analysis, Dupont, https://www.dupont.com/news/20200512-2020-global-pv-reliability-report.html, last access Nov 2024.

[Eder19] G.C. Eder et al., “Error analysis of aged modules with cracked polyamide backsheets,” *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 203, December 2019.

[Herrmann21] W. Herrmann, G. C. Eder, B. Farnung, G. Friesen, M. Köntges, B. Kubicek, O. Kunz, H. Liu, D. Parlevliet, I. Tsanakas and J. Vedde, Qualification of Photovoltaic (PV) Power Plants using Mobile Test Equipment, Report IEA-PVPS T13-24: ISBN 978-3-907281-12-3, 2021.

[Herz22] M. Herz, G. Friesen, U. Jahn, M. Köntges, S. Lindig, D. Moser, IEA PVPS Task 13: Performance, Operation and Reliability of Photovoltaic Systems - Quantification of Technical Risks in PV Power systems, Report IEA-PVPS T13-23:2022: ISBN 978-3-907281-11-6, 2022.

[India13] Y.R. Golive et al., “All-India India Survey of Photovoltaic Module Degradation: 2013,” Mumbai, India, 2013.

[India18] R. Dubey et al., “All-India India Survey of Photovoltaic Module Degradation: 2013,” Mumbai, India, 2018.

[Jahn18] U. Jahn, M. Herz, M. Köntges, D. Parlevliet, M. Paggi, I. Tsanakas, J. S. Stein, K. A. Berger, S. Ranti, R. H. French, M. Richter and T. Tanahashi, "Review on Infrared and Electroluminescence Imaging for PV Field Applications", Report IEA-PVPS T13-10:2018: ISBN 978-3-906042-53-4, 2018.

[Köntges14] M. Köntges, S. Kurtz, C. Packard, U. Jahn, K. A. Berger, K. Kato, T. Friesen, H. Liu, M. Van Iseghem, J. Wohlgemuth, D. Miller, M. Kempe, P. Hacke, F. Reil, N. Bogdanski, W. Herrmann, C. Buerhop Lutz and G. Friesen, Review of Failures of Photovoltaic Modules, Report IEA-PVPS T13-01: ISBN 978-3-906042-16-9, 2014.

[Köntges16] M. Köntges et al., “Mean Degradation rates in PV systems for various kinds of PV module failures,” in Proc. 32nd Eur. *Photovolt. Sol. Energy Conf. (EUPVSEC)*, 2016, pp. 1435 - 1443.

[Köntges17] M. Köntges, G. Oreski, U. Jahn, M. Herz, P. Hacke, K. A. Weiss, G. Razongles, M. Paggi, D. Parlevliet, T. Tanahashi and R. H. French, Assessment of Photovoltaic Module Failures in the Field, Report IEA-PVPS T13-09: ISBN 978-3-906042-54-1, 2017.

[Köntges25] M. Köntges, J. Lin, A. Virtuani, G. Eder, J. Zhu, G. Oreski, P. Hacke, J.S. Stein, L. Bruckman, P. Gebhardt, D. Barrit, M. Rasmussen, I. Martin, K.O. Davis, G. Cattaneo, B. Hoex, Z. Hameiri, E. Özkalay, “Degradation and Failure Modes in Pholtovoltaic Cell and Module Technologies”, Report IEA-PVPS T13-29:2025: ISBN 978-3-907281-71-0, 2025.

[Mahmood2024] A. Mahmood, R. Santamaria, T.r Kari, P.B. Poulsen, S.V. Spataru, “Diagnosing Potential Induced Degradation in Crystalline Silicon Photovoltaic Modules”, in Proc. 41st Eur. *Photovolt. Sol. Energy Conf. (EUPVSEC)*, 2024.

[Moser17] D. Moser et al., “Report on technical risks in PV project development and PV plant operation,” https://www.tuv.com/content-media-files/master-content/services/products/p06-solar/solar-downloadpage/solar-bankability_d1.1_d2.1_technical-risks-in-pv-projects.pdf, last access Nov 2024.

[Schill21] C. Schill, D. Parlevliet, A. Anderson, B. Stridh, L. Burnham, C. Baldus-Jeursen, L. Micheli, E. Urrejola, E. Whitney and G. Mathiak, Soiling Losses – Impact on the Performance of Photovoltaic Power Plants, Report IEA-PVPS T13-21: ISBN 978-3-907281-09-3, 2021.

[Sinclair17] K. Sinclair, M. Sinclair, "Silicon solar module visual inspection guide: Catalogue of Defects to be used as a Screening Tool", https://www.engineeringforchange.org/wp-content/uploads/2017/09/Solar-PV-Product-Visual-Inspection-Guide.pdf. last access Nov 2024.

[SolBank20] "Solar Bankability project website," accessed: 2020-04-28. [Online]. Available: http://www.solarbankability.org/home.html.

[Packard12] C. Packard, J. Wohlgemuth, S. Kurtz, “Development of a Visual Inspection Data Collection Tool for Evaluation of Fielded PV Module Condition,” Technical Report NREL/TP-5200-56154 August 2012, https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/56154.pdf.

[Petter11] K. Petter et al., “Long Term Stability of Solar Modules Made from Compensated SoG-Si or UMG-Si,” *Energy Procedia*, Volume 8, page 365-370, 2011.

[PVFS21] https://iea-pvps.org/research-tasks/performance-operation-and-reliability-of-photovoltaic-systems/documents/ follow link to "PV Failure Fact Sheets", last access Aug 2021.

[PVSurvey19] https://iea-pvps.org/research-tasks/performance-operation-and-reliability-of-photovoltaic-systems/documents/, follow link “Explanation of the PV-System Survey sheet” Version:21 October 2019, last access 04 March 2021.

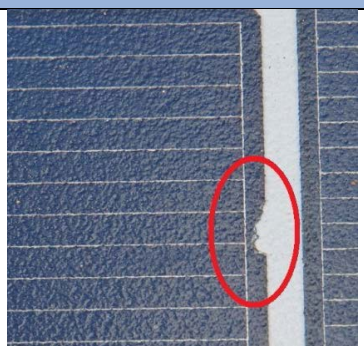
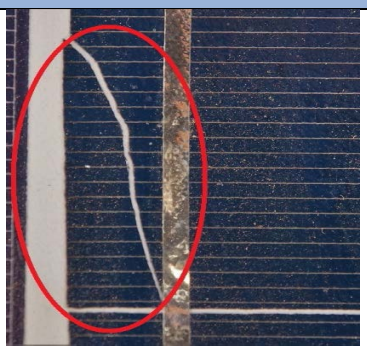
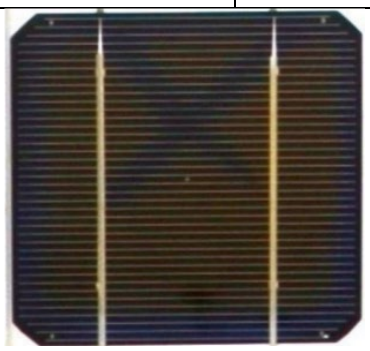
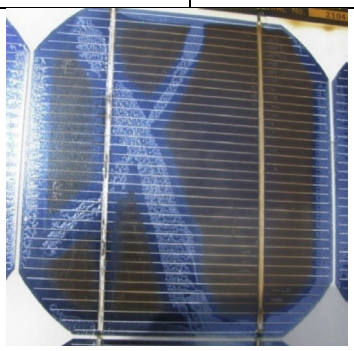
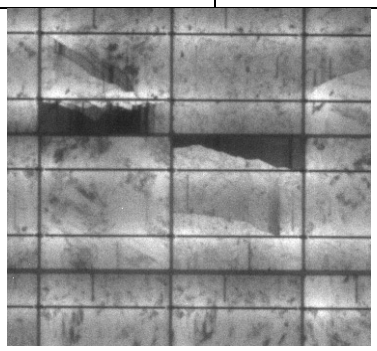
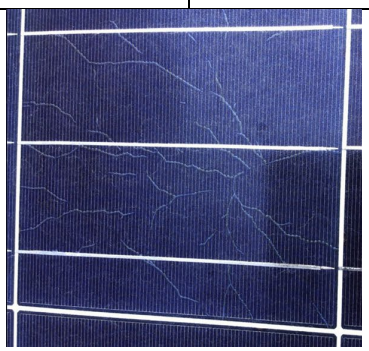
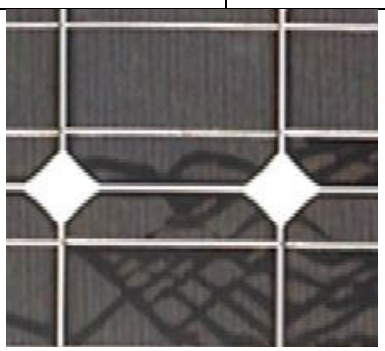
[Walsh20] T.M. Walsh et al., “Singapore Modules - Optimised PV Modules for the Tropics,” *Energy Procedia*, Volume 15, page 388-395, 2020.

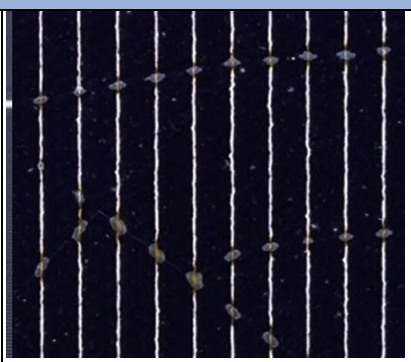
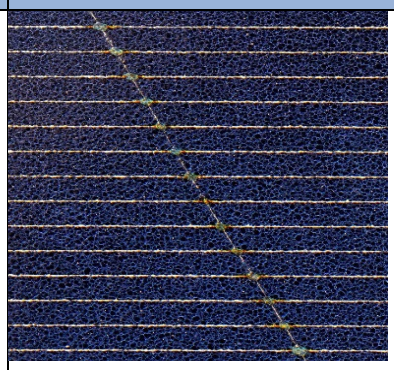
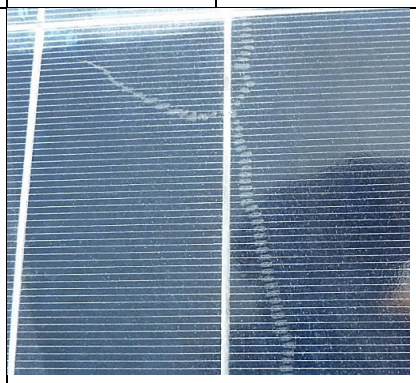
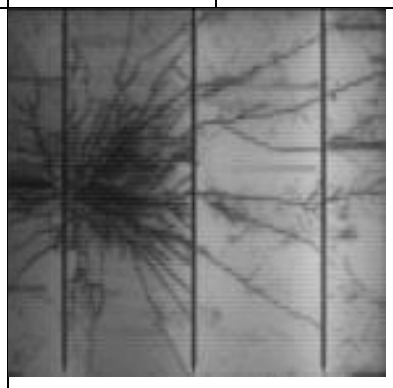
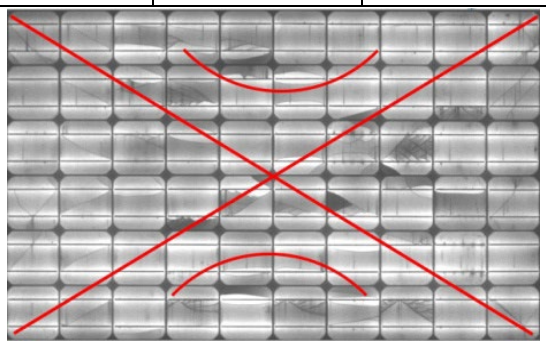
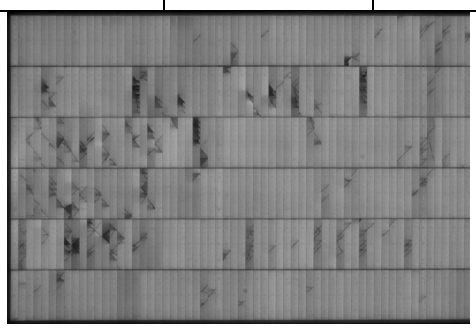
[Yang19] H.E. Yang, R.H. French and L.S. Bruckman, “Durability and Reliability of Polymers and Other Materials in Photovoltaic Modules,” ISBN 978-0-12-811545-9, 2019.

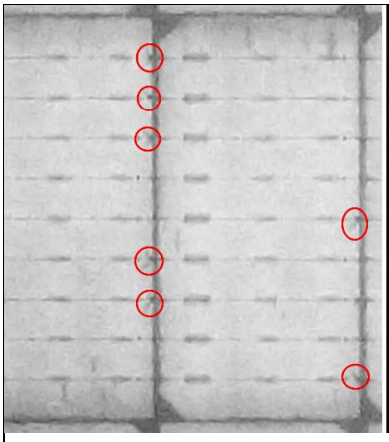
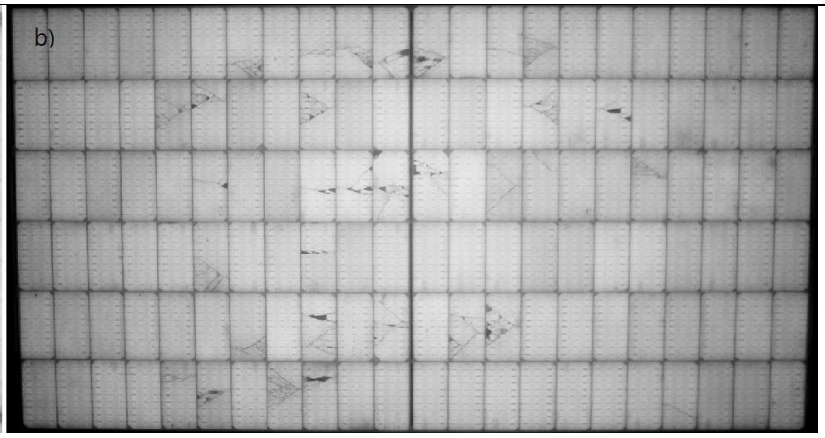
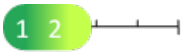
المحلق (ورقة حقائق أعطال الألواح الكهروضوئي)

المكون العيب	**اللوح الكهروضوئي** **تصدعات (شقوق) الخلية [Cell Cracks]**	**PVFS 1-1vs.02**
المظهر الخارجي	تشققات الخلية هي شقوق في طبقة السيليكون ضمن الخلايا الكهروضوئية. معظم هذه التشققات لا تُرى بالعين المجردة. يمكن فقط رؤية التشققات الكبيرة أو عندما تكون الطبقة الخلفية مرئية من خلال الشقوق. يمكن اكتشاف تشققات الخلايا بسهولة من خلال تقنيات التصوير مثل اللمعان الكهربائي أو الفلورة بالأشعة فوق البنفسجية. يمكن أن يكون لتشققات الخلايا أطوال واتجاهات مختلفة (أنماط التشققات). تصبح تشققات الخلايا الصغيرة (التشققات الدقيقة) مرئية بالعين عندما تشكل **مسارات حلزونية** أو عندما يحدث **ابيضاض ضوئي** أو **تقشر (انفصال)** على طول الشقوق. المسار الحلزوني هو التغير في لون عجينة الفضة المستخدمة في طلاء الوجه الأمامي المعدني للخلايا الكهروضوئية ويحدث عادةً بعد مرور 3 أشهر إلى سنة واحدة من تركيب الألواح الكهروضوئية. قد تظهر خطوط التوصيل المعدنية المتأثرة على الخلايا باللون الفضي أو الأصفر أو البني، ويمكن أيضاً ملاحظة هذا التأثير على حواف الخلايا. الابيضاض الضوئي هو تأثير مضاد لاصفرار مادة التغليف ويحدث على طول الشقوق وحواف الخلايا. في بعض الأحيان يمكن رؤية التشقق على طول الشقوق على شكل فقاعات صغيرة على طول تشققات الخلية.	
ألية الكشف	اللمعان الكهربائي (EL)، الأشعة فوق البنفسجية (UV) [التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT)، الفحص البصري (VI)، قياس التيار- الجهد (IV)]	
سبب العطل	يمكن أن تنشأ الشقوق في الخلايا في جميع مراحل عمر اللوح الكهروضوئي: الإنتاج، والنقل، والتركيب، والتشغيل. في الإنتاج، يمكن أن تحدث شقوق الخلايا أثناء تصنيع الرقائق (وايفر) والخلايا والألواح. وخاصةً أن عملية ربط الخلايا الشمسية ولحامها يمكن أن تتلف الخلايا. علاوة على ذلك، يمكن أن يؤدي قطع الخلايا الكاملة إلى نصفين أو عدة خلايا مقطوعة إلى حدوث تشققات عند حافة الخلية المقطوعة. بعد الإنتاج، تتمثل المصادر الرئيسية لتشققات الخلايا في تغليف الألواح ونقلها وتركيبها. بعد التركيب، قد تؤدي القوى الخارجية مثل البَرَد أو ثقل الثلج الكثيف أو الرياح القوية إلى حدوث تشققات في الخلايا. بمجرد ظهور تشققات في الخلايا، يمكن أن تؤدي الإجهادات الميكانيكية والحرارية الميكانيكية الإضافية إلى انتشار الشقوق إلى شقوق أطول وأوسع. يمكن أن تعطي بعض أنماط التشققات مؤشرات على مصدر العطل، ولكن ليس من السهل دائماً تحديد السبب النهائي لتكسر الخلية. على سبيل المثال، قد يكون سبب نمط التشققات المتكرر ناتجاً عن عطل في الإنتاج، في حين أن الألواح الكهروضوئية التي تُظهر أنماط تشقق شجرية ربما تكون قد تعرضت لأحمال ميكانيكية ثقيلة. يمكن العثور على مسارات حلزونية في مجموعة كبيرة ومتنوعة من الألواح الشمسية، ولكن ليس في جميعها. يلعب الجمع بين المواد المختلفة (مادة التغليف والطبقات الخلفية) مع الأشعة فوق البنفسجية ودرجة الحرارة دوراً مهماً في تكوين مسارات الحلزون.	
	الإنتاج ☐	التركيب ☐	التشغيل ☐
التأثير الناتج	لا يؤدي تشقق الخلايا بالضرورة إلى فشل اللوح. يمكن اعتبار الشق مهما كان حجمه والذي في حال تفاقمه أو عدم تفاقمه لن يزيل أكثر من 10% من مساحة تلك الخلية من الدارة الكهربائية، ذو تأثير محدود أو معدوم على الأداء. حتى إذا كانت كل خلية في لوح مكون من 60 خلية تحوي تشققات، دون أن يؤدي ذلك إلى فصل الخلايا، فإن انخفاض الاستطاعة في اللوح يكون عادةً أقل من 2.5% من الاستطاعة الاسمية .مقارنةً بالألواح السابقة القائمة على الشرائط (Ribbon) مع 2 إلى 4 شرائط توصيل بين الخلايا، تُظهر الألواح الشمسية الحديثة متعددة الأسلاك-قضبان التوصيل ضياعات في الطاقة أقل بكثير بسبب تشققات الخلايا. يعتبر انخفاض الاستطاعة بنسبة 0.2% لكل نصف خلية متشقق بشكل شجيري أمراً شائعاً بالنسبة لألواح (PERC) بقضبان توصيل متعددة. يبدو أن لتشققات الخلايا تأثيراً أكثر وضوحًا في المناطق المناخية الباردة والثلجية. هنا يمكن العثور على معدلات تدهور متوسطة عالية نسبياً تصل إلى 7% سنوياً للألواح ذات الخلايا الكاملة. إلى جانب خطر انخفاض الطاقة، هناك خطر حدوث بقع ساخنة وعلامات حروق بسبب أجزاء الخلية غير النشطة. يُذكر أن مسارات الحلزون ليس لها أي تأثير على أداء اللوح الكهروضوئية.	
	السلامة:	الأداء:	

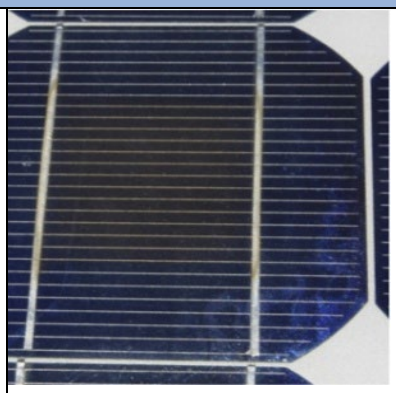
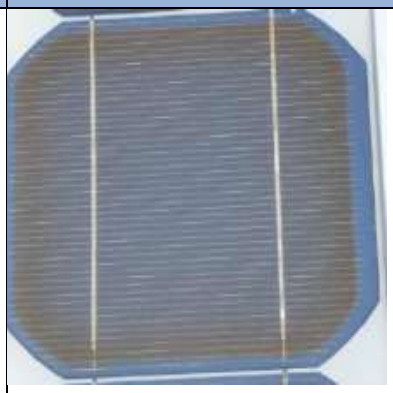
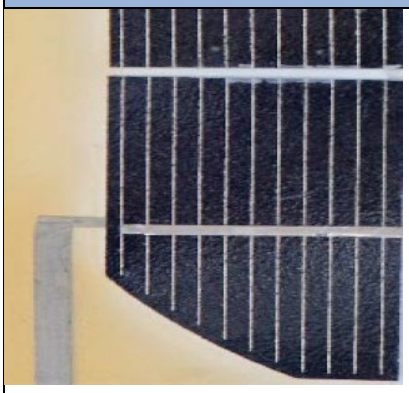
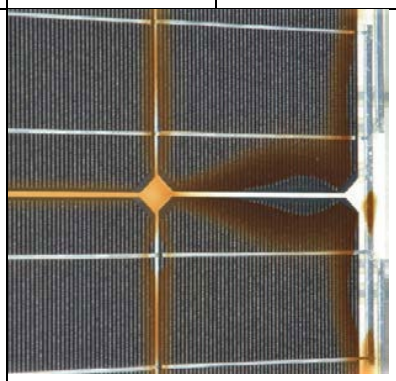
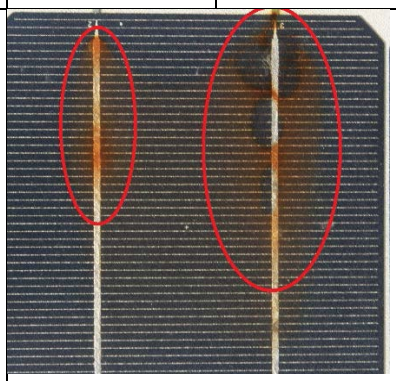
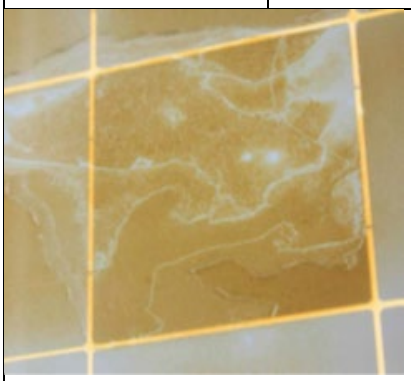
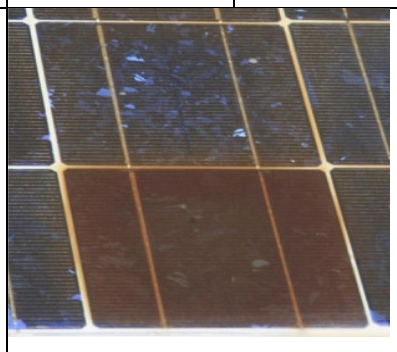
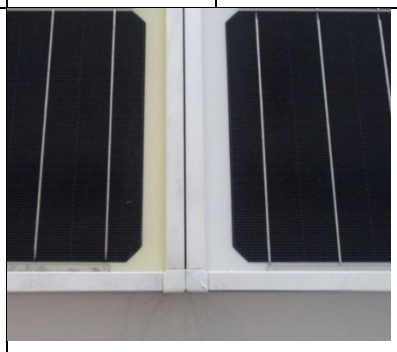
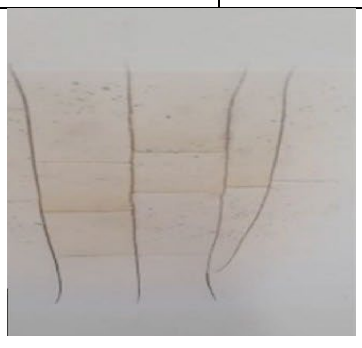
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. يجب إجراء عمليات فحوصات منتظمة لمراقبة حالة الألواح التي لم يتم استبدالها.	يلزم اتباع إجراءات نقل وتركيب وتنظيف مناسبة من قِبل فنيين مُدرَّبين خاصة في حال ارتفاع خطر تساقط الثلوج أو البَرَد. لذلك، تُستخدم ألواح كهروضوئية مُعتمدة. تُخفِّف الألواح بخطوط توصيل متعددة من خطر التلف.	اطلب صور اللمعان الكهربائي من المُصنع أو فحص ما قبل الشحن أو التخزين، صور اللمعان الكهربائي مع مختبر متنقل قبل أو أثناء التثبيت، فحص لمعان كهربائي عادي أو بعد الظروف الجوية القاسية.

أمثلة (الصفحة الأولى)		PVFS 1-1vs.02	
أمثلة 3-1			
	تقطع (تشظي) الخلية. هناك منطقة صغيرة جدًا مفقودة من حافة الخلية، لكنها لا تدخل المنطقة المعدنية [14Kantges].	شق كبير في زاوية الخلية مرئي بالعين - جزء صغير من الخلية (<10%) لم يعد متصلاً كهربائيًا [14Köntges].	شق في الخلية مع مسار حلزوني. لا يوجد عزل لأي جزء من الخلية. قد يؤدي الانتشار إلى عزل مساحة خلية > 10% [14Köntges].
شدة الضرر	1	2	2
أمثلة 6-4			
	تشققات في الخلايا مرئية بسبب تأثير الابيضاض الضوئي. لا ينبغي الخلط بين هذا وبين مسارات الحلزون [14Köntges].	شقان في الخلية مع تشقق واسع النطاق، واسمرار مادة التغليف وابيضاض ضوئي [19Yang].	صورة لمعان كهربائي لتشققات في خليتين تعزل أكثر من 10% من مساحة الخلية [بتصرف من TUV Rheinland].
شدة الضرر	2 3 4 f e	2 3 4 5 f e	2 3 4 f e
أمثلة 9-7			
	مثال لمسار حلزون [19Yang].	مثال لمسار حلزون [19Yang]	صورة لمعان كهربائي لتشققات الخلايا مع مسارات حلزونية [14Köntges]
شدة الضرر	2 3 4 e f	2 3 4 e f	2 3 4 e f

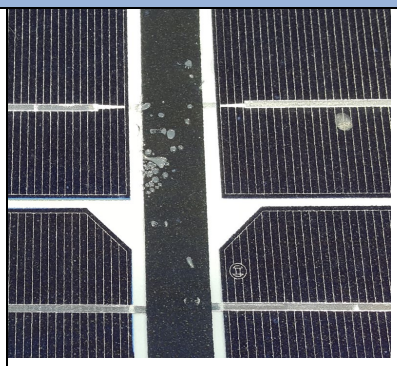
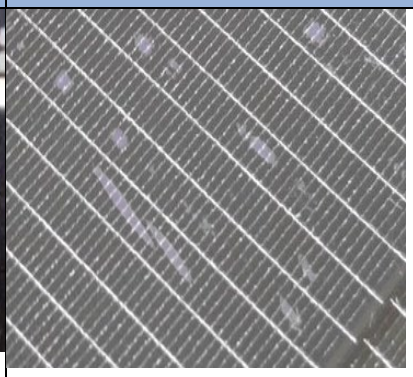
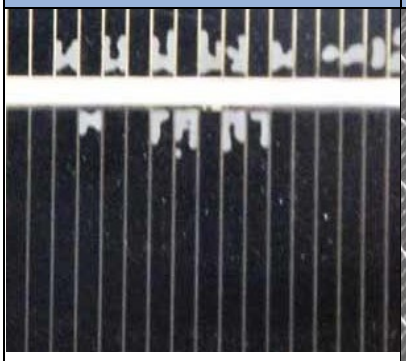
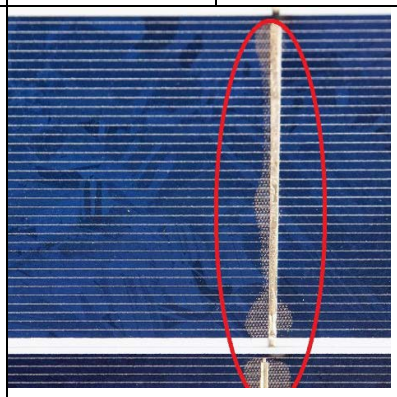
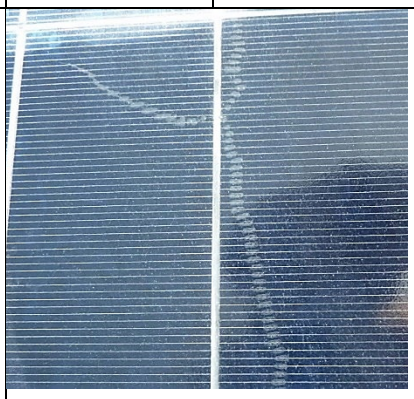
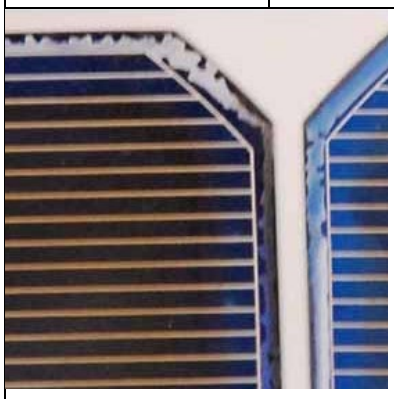
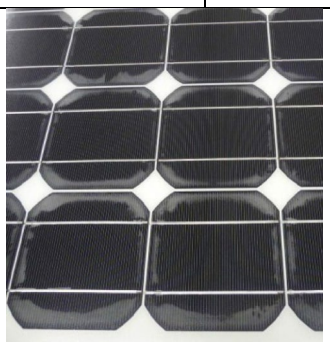
أمثلة (الصفحة الثانية)		PVFS 1-1vs.02
أمثلة 12-10		
	صورة مقربة لمسار حلزوني مع تشقق [Yang19].	صورة مقربة لمسار حلزوني عابرة لقضبان التوصيل (الأصابع – fingers) بنية اللون [17Sinclair]
شدة الضرر	2 3 4 e f	f e 2 3 4
أمثلة 15-13		
	شق في الخلية مع تشقق (انفصال) طبقات مادة التغليف (EVA) [بتصرف من TUV Rheinland]. (انظر أيضًا PVFS 1-3).	صورة لمعان كهربائي نمطية لشق في الخلية بسبب البَرَد [بتصرف من TUV Rheinland].
شدة الضرر	f e 2 3 4	2 3 4 f e
أمثلة 17-16		
	صورة لمعان كهربائي نمطية لتشققات الخلايا الناتجة عن حمل ميكانيكي ثقيل متجانس (نمط تشققات بشكل حرف X أيضًا بدون كسر الزجاج [Köntges14]	تشققات في الخلايا في لوح بخلايا شمسية متداخلة (shingled) [بتصرف من من Aerial Inspection]
شدة الضرر	e f 3 4	1 2

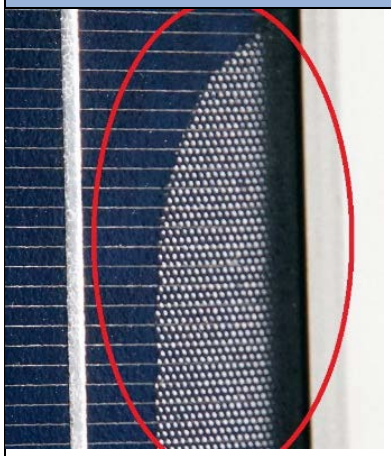
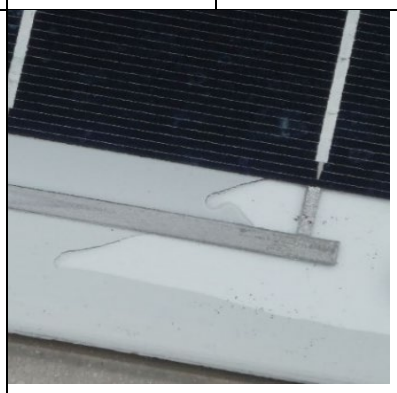
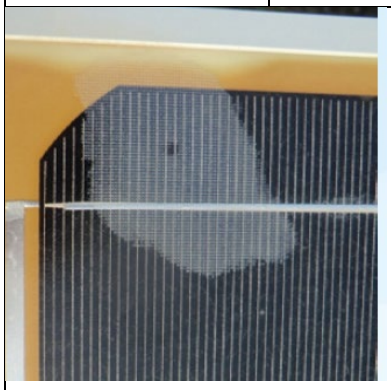
المثال 18	 	
	نمت شقوق الخلايا المرتبطة بالشركة المُصنِّعة (a) في أنصاف الخلايا إلى تشققات أكبر بعد النقل مع مناطق خلايا غير نشطة أقل من 5% لكل خلية (B) [24Köntges]	
شدة الضرر		

المكون العيب	**اللوح الكهروضوئي** **تغير لون مادة التغليف أو الطبقة الخلفية**	**PVFS 1-2vs.02**
المظهر الخارجي	يصبح تدهور مواد التغليف أو الطبقة الخلفية مرئيًا كتغير في اللون يتراوح بين الأصفر الفاتح والبني الداكن. يمكن أن يكون اللون بجوار الخلايا أو فوقها، أو على طول قضبان التوصيل أو الوصلات بين الخلايا، أو على الجانب الخلفي أو الأمامي للطبقة الخلفية. غالبًا ما يكون تغير اللون غير متجانس ويتبع أنماطًا مكانية اعتمادًا على نوع بنية اللوح. عادةً، بالنسبة للألواح ذات الزجاج\الطبقة الخلفية، يحدث تغير لون مادة التغليف في المنطقة المركزية للخلايا مع وجود مناطق واسعة شفافة من مادة التغليف، أو "إطارات" حول حواف الخلية. يمكن ملاحظة تغير لون الطبقة الخلفية عند حواف اللوح بين الخلايا الشمسية المجاورة. بالنسبة لألواح الزجاج\الزجاج، يكون تغير لون مادة التغليف في الغالب موحداً مكانيًا، ولكنه قد يُظهر أيضًا أنماطًا من المناطق الأكثر وضوحًا فوق بعض الخلايا. في الألواح ذات الزجاج\الطبقة الخلفية، يرتبط موقع هذه الأنماط عمومًا بشقوق الخلايا. في بعض الحالات، يكون تغير اللون أكثر وضوحًا في خلية واحدة أو أكثر من خلايا اللوح.	
ألية الكشف	الفحص البصري (VI)، و (قياس التيار-الجهد (IV)، التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT))	
سبب العطل	سابقاً، كان الاصفرار أو الاحمرار البني مرتبطًا في الغالب بتدهور مادة التغليف الأكثر استخدامًا، وهي أسيتات فينيل الإيثيلين (EVA)، ولكن تم حل هذه المشكلة إلى حد كبير عن طريق تحسين استقرار البوليمر باستخدام مواد مضافة، بما في ذلك ماصات الأشعة فوق البنفسجية ومثبتات الحرارة. إذا كان اختيار المواد المضافة و\أو تركيزاتها غير كافٍ، أو كانت عملية التصفيح غير كافية أو غير كاملة، فقد يتغير لون مادة التغليف بمرور الوقت. السبب الجذري لتغير لون الطبقة الخلفية هو إما تدهور الطبقة الجانبية للخلية أو بسبب تفاعلات المواد المضافة المتداخلة المنتشرة بين الطبقات عند واجهة الطبقة الخلفية للتغليف. يمكن أن تكون أنماط تغير اللون الملحوظة في الموقع معقدة للغاية بسبب انتشار الأوكسجين أو نواتج التفاعل، مثل حمض الأسيتيك، الناتج عن تفاعل الحرارة والأشعة فوق البنفسجية مع (EVA). يؤدي وجود الأوكسجين إلى ما يسمى بتأثير **الابيضاض الضوئي** الذي يخلق حلقة شفافة مادة التغليف (EVA) حول محيط الخلية أو حول شقٍ فيها. تشير حالة الخلايا الفردية التي تكون أغمق بكثير من الخلايا المجاورة إلى أن الخلية الأكثر تغيرًا في اللون كانت في درجة حرارة أعلى من الخلايا المحيطة، ربما بسبب الاختلافات بين الخلايا أو وجود الخلية فوق صندوق التوصيل.	
	الإنتاج ■	التركيب ☐	التشغيل ■
التأثير الناتج	يعد تغير اللون علامة على بدء تدهور المركبات البوليمرية داخل اللوح. ويعتبر هذا النوع من التدهور في الغالب مشكلة جمالية في البداية قبل اكتشاف انخفاض في تيار اللوح وإنتاج الطاقة. عادةً، تبلغ متوسط معدلات التدهور السنوية بسبب الاصفرار حوالي 0.5% سنوياً وقد تصل إلى 1% سنوياً في المناخات الحارة والرطبة أو المعتدلة. في حين أنه من غير الشائع أن يؤدي تغير لون (EVA) إلى حدوث أعطال أخرى داخل الخلية، إلا أنه قد يرتبط بدرجات الحرارة المرتفعة في الموقع، وتولد حمض الأسيتيك وما يصاحب ذلك من تآكل وهشاشة. ما لم يكن تغير اللون شديدًا جدًا وموضعيًا في خلية واحدة، حيث يمكن أن يتسبب في تشغيل دايود العبور للسلسلة الفرعية، فإن تغير لون (EVA) لا يمثل أي مشاكل مباشرة تتعلق بالسلامة. الأمر الأكثر أهمية هو تغير لون الطبقات الخلفية الحساسة للأشعة فوق البنفسجية والتي يمكن أن تكون، اعتمادًا على المواد المستخدمة في الطبقة الخلفية، مقدمة لفقدان الخواص الميكانيكية (السلوك المرن) وتشقق الطبقة الخلفية بسبب الإجهادات الحرارية الميكانيكية.	
	السلامة ⬢ e f	الأداء: 1 2 3 4 5	
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. يجب إجراء عمليات فحوصات منتظمة لمراقبة حالة الألواح التي لم يتم استبدالها.	تحقق من صحة شهادة IEC61215 وقائمة المواد (BOM).	قم بعمليات تفتيش دورية للنظام في المناطق ذات المناخ القاسي، يجب أن تجتاز الألواح المطلوبة معايير اختبار أعلى، مثل اختبار IEC61215 المزدوج أو الثلاثي.

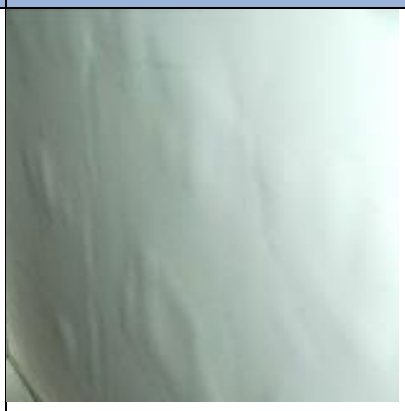
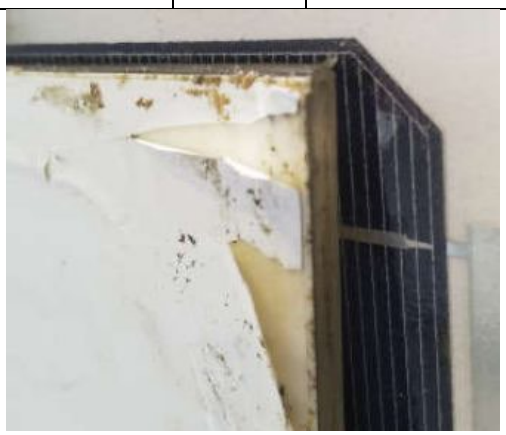
أمثلة (الصفحة الأولى)			PVFS 1-2vs.02	
أمثلة 3 - 1				
	مادة EVA بنية قليلاً في مركز الخلية مع ابيضاض ضوئي عند الحواف [14Köntges].	مادة EVA بنية قليلاً في مركز الخلية مع ابيضاض ضوئي عند الحواف [18India].	طبقة خلفية صفراء من الداخل [17Sinclair].	
شدة الضرر	2	2 3	1 2	
أمثلة 6 - 4				
	تغير اللون الداكن عند حواف الخلية، وبين الخلايا وفوق خطوط الشبكة وقضبان التوصيل [17Sinclair].	تغير اللون الداكن فوق المعدن [17Sinclair].	اصفرار الجانب المعرض للهواء للطبقة الخلفية [17Sinclair].	
شدة الضرر	2 3	2 3	1 2 e	
أمثلة 9 - 7				
	خلية واحدة تحولت إلى اللون البني أسرع بكثير من الخلايا الأخرى بسبب التسخين الموضعي [14Köntges].	طبقة خلفية صفراء من الداخل بتصرف من [PCLL].	اصفرار الطبقة الخلفية مع وجود طبقة خلفية متشققة بسبب خلية ساخنة [19Eder].	
شدة الضرر	2 3 e f	1 2	2 3 4 5 e m f	

<table>
<tr><td>المكون
العيب</td><td colspan="3">اللوح الكهروضوئي (Module)
التشقق الأمامي (Front delamination)</td><td>PVFS 1-3vs.01</td></tr>
<tr><td>المظهر الخارجي</td><td colspan="4">أي انفصال موضعي للطبقات بين (1) الزجاج الأمامي ومادة التغليف أو (2) الخلية والمادة المغلّفة، يظهر على شكل فقاعات أو مناطق لامعة حليبية اللون. قد يظهر متواصلاً أو على شكل بقع. يعتمد موضع وحجم التشقق أو الفقاعة على مصدر العطل وتطوره.</td></tr>
<tr><td>ألية الكشف</td><td colspan="4">الفحص البصري (VI)، (اختبار العازلية (INS))</td></tr>
<tr><td>سبب العطل</td><td colspan="4">يمكن أن تتأثر قوة التصاق الزجاج ومادة التغليف والطبقات النشطة والطبقات الخلفية بأسباب عديدة. عادة، يكون السبب ناتجاً عن عملية التصنيع (مثل ضعف التشابك في مادة (EVA)، ومدة التصفيح قصيرة جدًا، والضغط المرتفع جدًا في آلة التصفيح، والتلوث، والتنظيف غير السليم للزجاج، وعدم توافق (EVA) مع سائل اللحام، والتخزين غير السليم للمواد الخام) أو العوامل البيئية (مثل الإجهادات الحرارية، والإجهادات الميكانيكية الخارجية، والأشعة فوق البنفسجية). يتبع التشقق عمومًا دخول الرطوبة والتآكل. لذلك فهو أكثر تواترًا وشدة في الظروف الحارة والرطبة.
الإنتاج ■ | التركيب ☐ | التشغيل ■</td></tr>
<tr><td>التأثير الناتج</td><td colspan="4">لا يشكل التشقق أو الفقاعات مشكلة تتعلق بالسلامة، ولكنها يمكن أن تؤدي إلى انخفاض عازلية المكون وزيادة خطر السلامة عندما تشكل مسارًا مستمرًا بين الدارة الكهربائية والحافة بسبب احتمال دخول الماء. ستؤدي الرطوبة في اللوح إلى تقليل الأداء بسبب زيادة المقاومة التسلسلية، مما يؤثر على الموثوقية على المدى الطويل وفي بعض الحالات أيضًا على السلامة الهيكلية للوح. علاوة على ذلك، سيؤدي التشقق في الأسطح البينية في المسار الضوئي إلى انعكاس ضوئي إضافي وانخفاض لاحق في التيار. يمكن أن يكون هذا هو سبب عدم تطابق التيار. إذا كان عدم التطابق كبيرًا، فسيؤدي ذلك إلى تشغيل دايود العبور (bypass diode) ويتسبب في ضياع المزيد من الطاقة. قد يتوقف العاكس أيضًا عن العمل بسبب التيارات التسريبية مما يؤدي إلى مزيد من انخفاض الأداء. غالبًا ما تؤثر مشكلات التشقق المتعلقة بالتصنيع على نسبة كبيرة من الألواح ضمن نفس دفعة الإنتاج وبالتالي يكون لها تأثير كبير على أداء النظام.
السلامة: e e f | الأداء: 1 2 3 4 5</td></tr>
<tr><td>الحد من الضرر</td><td>الإجراءات التصحيحية</td><td>الإجراءات الوقائية (موصى بها)</td><td>الإجراءات الوقائية (اختيارية)</td></tr>
<tr><td></td><td>يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. يجب إجراء فحوصات منتظمة لمراقبة حالة الألواح غير المستبدلة. في حالة اختبار كل لوح على حدة، يجب استبدال جميع الألواح التي فشلت في اختبار العزل و/أو اختبار التسرب الرطوبة.</td><td>التحقق من صحة شهادة IEC61215 وقائمة المواد (BOM)، واكتشاف أعطال التأريض عبر العاكس أو الأجهزة الأخرى في جميع الأوقات.</td><td>الاختبارات الموسعة (على سبيل المثال الحرارة الرطبة)، وعمليات التفتيش قبل الشحن (على سبيل المثال مستوى الارتباط المتبادل لـ (EVA)) وعمليات الفحوصات البصرية المنتظمة للنظام.</td></tr>
</table>

أمثلة (الصفحة الأولى)		PVFS 1-3vs.01	
أمثلة 1 - 3			
	انفصال مادة التغليف في موضع غير حرج [بتصرف من SUPSI PVLab].	انفصال مادة التغليف عن الخلية بسبب عملية الإنتاج [بتصرف من SUPSI PVLab].	انفصال مادة التغليف عن الخلية على طول خطوط الشبكة (grid fingers) وقضبان التوصيل (Busbars)، [Packard12]
شدة الضرر	1	1 2	1 2
أمثلة 4 - 6			
	انفصال مادة التغليف عن الزجاج (مرقط بسبب ملمس الزجاج) على طول قضبان التوصيل [Packard12].	انفصال مادة التغليف على طول شق في الخلية [Köntges16]. (انظر أيضاً PVFS 1-1)	انفصال مادة التغليف بالقرب من حواف الخلية مع تحول لون الخلية للبني [Packard12].
شدة الضرر	1 2	2 3 4 f e	2 3
أمثلة 7 - 9			
	انفصال أمام الخلية في منتصف اللوح [Moser17]. انظر أيضاً (FS 1-2)	انفصال الطبقات عند توصيلات دخل اللوح في علبة توصيلات لوح زجاج / زجاج [بتصرف من SUPSI PVLab].	تقشر عند حواف الخلية [Köntges14]
شدة الضرر	2 3 4	1 2 e	2 3 4 e

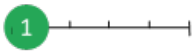
أمثلة (الصفحة الثانية)				PVFS 1-3vs.01	
أمثلة 12-10					
	انفصال مادة التغليف عند الحواف [Sinclair17].	انفصال مادة التغليف على طول قضيب التوصيل (bus-bar) في خلية قريبة من حافة اللوح [Moser17].		انفصال مادة التغليف عن الزجاج (مرقط بسبب ملمس الزجاج) عند حافة الخلية [Sinclair17].	
شدة الضرر	1 e	e	1 2	e	2 3 e
أمثلة 15-13					
	انفصال أو تقشر يؤدي إلى تكوين مسار متصل بين الدارة الكهربائية والحافة [Moser17]	تقشر مع تآكل [Köntges17]. انظر أيضاً (FS1-11)		التشقق الناجم عن انفصال الطبقة الخلفية (backsheet) مع انكشاف مادة التغليف من الخلف [بتصرف من SUPSI PVLab]	
شدة الضرر	3 4 5 e	e e	3 4 5	3 4 5 e	

<table>
<tr><td>المكون
العيب</td><td colspan="3">اللوح الكهروضوئي
تشقق الطبقة الخلفية</td><td>PVFS 1-4vs.01</td></tr>
<tr><td>المظهر الخارجي</td><td colspan="4">أي انفصال موضعي بين طبقات الطبقة الخلفية البوليمرية يؤدي إلى وجود فجوة هوائية بين الطبقة الخلفية وبقية اللوح، أو داخل الطبقة الخلفية متعددة الطبقات (انفصال داخلي). قد تبدو الطبقة الخلفية متموجة، مع وجود نتوءات أو فقاعات أو تموجات محدودة موضعيًا. في أسوأ الحالات، قد تتقشر طبقة واحدة أو أكثر. سيعتمد موضع ومدى التشقق على سبب العطل وتطوره.</td></tr>
<tr><td>ألية الكشف</td><td colspan="4">الفحص البصري (VI)، (اختبار العازلية (INS))</td></tr>
<tr><td>سبب العطل</td><td colspan="4">هناك العديد من الأشكال والتركيبات المختلفة للطبقة الخلفية البوليمرية متعددة الطبقات في السوق. قد يظهر التشقق الانفصال الداخلي في الطبقة الخلفية المصفحة (طبقات بوليمرية ملتصقة ببعضها البعض بواسطة طبقة لاصقة رقيقة): قد تنفصل الطبقات المتعددة عند تدهور المادة اللاصقة، مما قد يؤدي إلى تقشر انفصال موضعي لطبقتين متتاليتين أو تقشر (انفصال) طبقة واحدة أو أكثر. الطبقة الخلفية المصنعة بعملية البثق المشترك (Co-extruded) عرضة للتشقق (للانفصال) الداخلي. قد يظهر تشقق (انفصال) الطبقة الخلفية عن مادة التغليف مع جميع أنواع الطبقات الخلفية وينشأ عن عدم الالتصاق بين الطبقة الخلفية وبين طبقة التغليف. العوامل الرئيسية لانفصال الطبقة الخلفية أو الوجه الداخلي هي (i) الإجهاد الحراري الميكانيكي الناتج عن اختلاف معامل التمدد الحراري للطبقات البوليمرية الفردية، (ii) التفاعلات الكيميائية في الأسطح البينية (عدم توافق المواد) أو تدهور الترابط السطحي نتيجة لتأثير الحرارة والأشعة فوق البنفسجية والرطوبة أو (iii) الإجهاد الميكانيكي الخارجي المطبق على اللوح. لذلك، يكون الأمر أكثر تواترًا وشدة في الظروف الحارة والرطبة. يمكن أن يحدث التشقق أيضًا بسبب عملية تصفيح غير كافية، على سبيل المثال، أوقات تصفيح قصيرة جدًا.</td></tr>
<tr><td></td><td>الإنتاج ■</td><td>التركيب ☐</td><td colspan="2">التشغيل ■</td></tr>
<tr><td>التأثير الناتج</td><td colspan="4">إذا حدث التشقق (الانفصال) مكونًا فقاعات في منطقة مركزية مفتوحة من الخلف، فلن يمثل ذلك مشكلة تتعلق بالسلامة على الفور. من المحتمل أن تعمل هذه المنطقة في درجات حرارة أعلى قليلاً بسبب اضطراب التوصيل\التبديد الحراري عبر الطبقة الخلفية. ولكن طالما أن الفقاعة لم تتشقق ميكانيكيًا أو تتوسع، فإن مخاوف الأداء والسلامة تكون ضئيلة. ومع ذلك، إذا حدث تقشر انفصال للطبقة الخلفية بالقرب من صندوق التوصيل، أو بالقرب من حافة اللوح، فستكون هناك مخاوف أكثر جدية تتعلق بالسلامة. قد يوفر التشقق (الانفصال) عند الحافة مسارًا مباشرًا لدخول الماء السائل إلى اللوح أثناء العواصف الممطرة، أو استجابة لوجود الندى. يمكن أن يوفر ذلك مسارًا كهربائيًا مباشرًا إلى الأرض مما يشكل خطراً بالغًا على السلامة. وبالمثل، يمكن أن يتسبب التشقق (الانفصال) بالقرب من صندوق التوصيل في ارتخائه، مما يؤدي إلى إجهاد ميكانيكي على المكونات النشطة كهربائياً مع خطر الكسر. قد يتسبب الكسر في فشل توصيل دايود العبور وربما يؤدي إلى قوس كهربائي غير مُخفف بجهد النظام الكامل. في الطبقات الخلفية متعددة الطبقات، تعتمد شدة المشكلة أيضًا على الطبقة المتأثرة.</td></tr>
<tr><td></td><td>السلامة </td><td>الأداء: </td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>الحد من الضرر</td><td colspan="2">الإجراءات التصحيحية</td><td>الإجراءات الوقائية (موصى بها)</td><td>الإجراءات الوقائية (اختيارية)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. يجب إجراء فحوصات دورية لمراقبة حالة الألواح التي لم يتم استبدالها. في حالة اختبار الألواح الفردية، يجب استبدال جميع الألواح التي فشلت في اختبار العزل وأو اختبار تسرب الرطوبة.</td><td>تحقق من صحة شهادة IEC61215 وقائمة المواد (BOM). اكتشاف أعطال التأريض بواسطة العاكس أو أجهزة أخرى في جميع الأوقات.</td><td>فحوصات دورية للنظام.</td></tr>
</table>

أمثلة (الصفحة الأولى)				PVFS 1-4vs.01	
أمثلة 3-1					
	انفصال مادة التغليف عند الحواف [Sinclair17].	انفصال مادة التغليف على طول قضيب التوصيل (bus-bar) في خلية قريبة من حافة اللوح [Moser17].	انفصال مادة التغليف عن الزجاج (مرقط بسبب ملمس الزجاج) عند حافة الخلية [Sinclair17].		
شدة الضرر	e	1 2 3 4 e e	2 3 4 e	1 e	
أمثلة 5-4					
	تقشر وانفصال الطبقة الخلفية مع انكشاف مباشر لمادة التغليف [بتصرف من SUPSI PVLab].	تقشر انفصال الطبقة العلوية دون انكشاف المادة المغلفة [بتصرف من SUPSI PVLab].			
شدة الضرر	e f	2 3 4	e f	1 2 3	

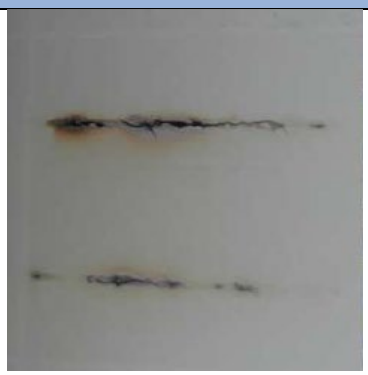
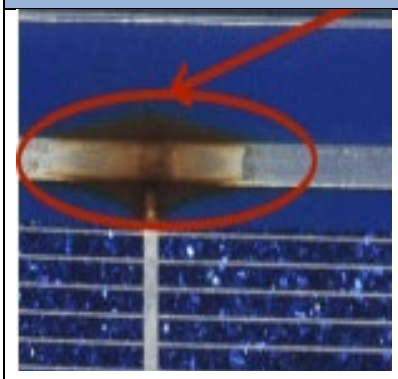
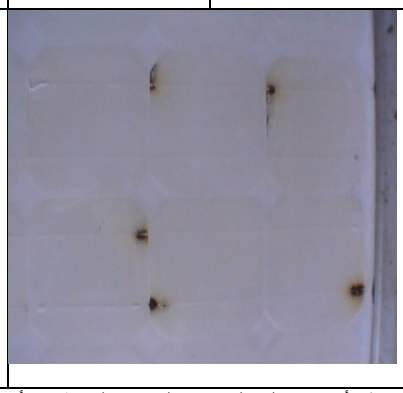
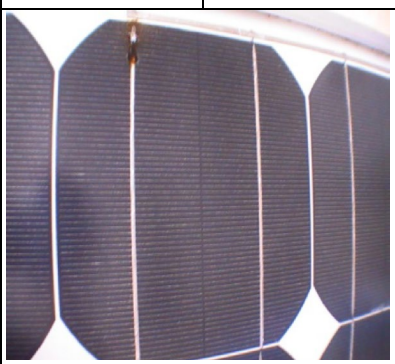
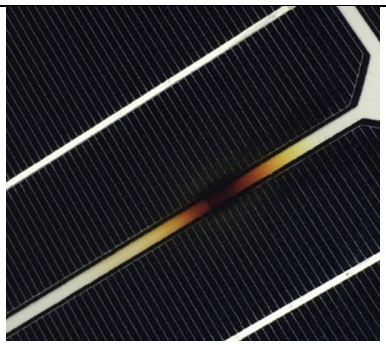
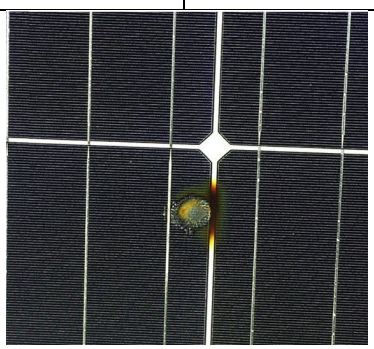
<table>
<tr><td>المكون
العيب</td><td colspan="3">اللوح الكهروضوئي
تشقق (انفصال) الطبقة الخلفية</td><td>PVFS 1-5vs.02</td></tr>
<tr><td>المظهر الخارجي</td><td colspan="4">أي تلف في الطبقة الخلفية (السطح أو المجموعة بأكملها) يكون مرئيًا على شكل شق أو بروز أو خدش. يعتمد موقع ومدى الشقوق على سبب العطل وتطوره. قد تكون المنطقة المنفصلة موضعية (مثل الفقاعة بارزة، الخدش)، أو تمتد على طول مناطق معينة من اللوح (على سبيل المثال، طويلة أو بين الخلايا، على طول قضبان التوصيل) أو تمتد على مساحة كبيرة أو كاملة من اللوح (مثل السطح الهش). يمكن أن يكون الشق عميقًا جدًا ويؤثر على الطبقة الخلفية.</td></tr>
<tr><td>ألية الكشف</td><td colspan="4">الفحص البصري (VI)، (اختبار العازلية (INS))</td></tr>
<tr><td>سبب العطل</td><td colspan="4">يمكن أن يحدث تدهور الطبقة الخلفية بسبب العوامل البيئية مثل الأشعة فوق البنفسجية، والإجهاد الحراري، والإجهاد الميكانيكي الخارجي أو بسبب الإجهاد الداخلي (مثل الإجهاد الحراري الميكانيكي مع لوح الطاقة الشمسية المركب متعدد المواد) أو التعامل غير الصحيح أثناء النقل والتركيب (القطع المحلي، الخدوش). غالبًا ما يتبع التشقق العميق للطبقة الخلفية (انقسام مجموعة الطبقة الخلفية بالكامل) دخول الرطوبة والتآكل. وهذا أكثر تواترًا وشدة في الظروف الحارة والرطبة. يتسبب استخدام مواد منخفضة الجودة (مثل مقاومة منخفضة للأشعة فوق البنفسجية) أو مجموعات مواد غير متوافقة (الطبقة الخلفية ↔ مادة التغليف) في معظم حالات التدهور المبكر. يمكن أن يكون تغير اللون والابيضاض الحاد (درجة بياض قريب من لون الطبشور) من العوامل المسبقة لتشقق الطبقة الخلفية. يمكن أن تكون الشقوق العميقة أو الفقاعات البارزة نتيجة للبقع الساخنة\علامات الحروق التي تشق أو تكسر الطبقة الخلفية.
الإنتاج ☐ التركيب ☐ التشغيل ☐</td></tr>
<tr><td>التأثير الناتج</td><td colspan="4">يمكن أن تتسبب الطبقة الخلفية المكسورة في تلف العزل الكهربائي، مما يشكل خطرًا على السلامة واحتمال حدوث عطل تأريض. على المدى الطويل، يمكن أن يحدث انخفاض في الطاقة بسبب اختراق الرطوبة للوح مما يؤدي إلى حدوث المزيد من الأعطال (مثل التآكل والتشقق الانفصال). في حالة الشقوق العميقة التي تصل إلى الجزء النشط من الخلايا، يصبح العزل مهدّداً على الفور وتنعدم معايير السلامة.
السلامة e m e f الأداء: 1 2 3 4 5</td></tr>
<tr><td>الحد من الضرر</td><td>الإجراءات التصحيحية</td><td>الإجراءات الوقائية (موصى بها)</td><td colspan="2">الإجراءات الوقائية (اختيارية)</td></tr>
<tr><td></td><td>يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. يجب إجراء عمليات فحوصات منتظمة لمراقبة حالة الألواح التي لم يتم استبدالها. في حالة اختبار الألواح الفردية، يجب استبدال جميع الألواح التي فشلت في اختبار العزل و/أو اختبار تسرب الرطوبة.</td><td>الكشف عن عطل التأريض عبر العاكس أو أجهزة أخرى في جميع الأوقات، والتحقق من صحة شهادة IEC61215 وقائمة المواد (BOM)، والفحص البصري قبل التركيب.</td><td colspan="2">فحص دوري للنظام. تركيب جهاز كشف القوس الكهربائي.</td></tr>
</table>

أمثلة (الصفحة الأولى)				PVFS 1-5vs.02	
أمثلة 3-1					
	طبقة خلفية متشققة مع اصفرار تحت خلية ساخنة [19Eder].	شقوق مربعة أسفل المسافات بين الخلايا [19Eder].	شقوق بين الخلايا [Packard12].		
شدة الضرر	2 3 4 5 e m f	2 3 4 5 e m f	2 3 4 5 e m f		
أمثلة 6-4					
	شقوق طولية تقع أسفل قضبان التوصيل [Eder19].	تشقق الطبقة الخلفية [DuPont20].	تشقق الطبقة الخلفية [DuPont20].		
شدة الضرر	2 3 4 5 e m f	2 3 4 5 e m f	2 3 4 5 e m f		
أمثلة 9-7					
	تلف سطحي موضعي [Köntges17].	خدش عميق في الطبقة الخلفية [بتصرف من TUV Rheinland].	تشقق الطبقة الخارجية PVDF [بتصرف من PCCL]		
	1 m e f	1 2 e m f	1 m e f		

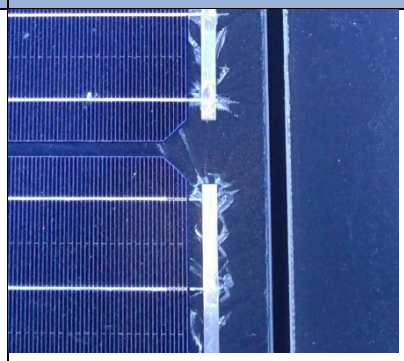
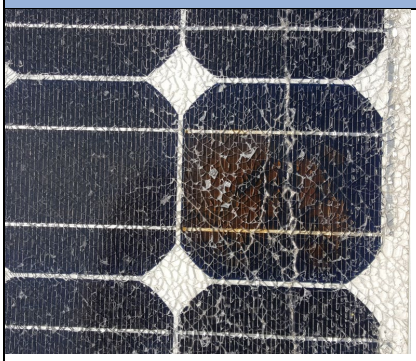
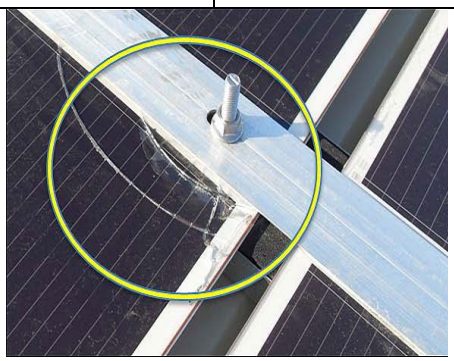
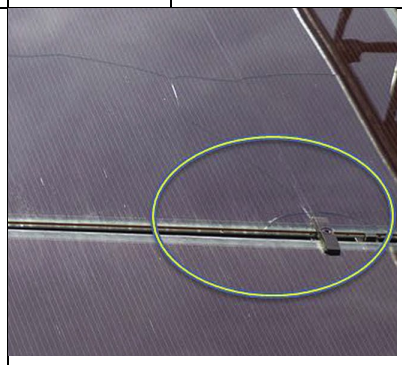
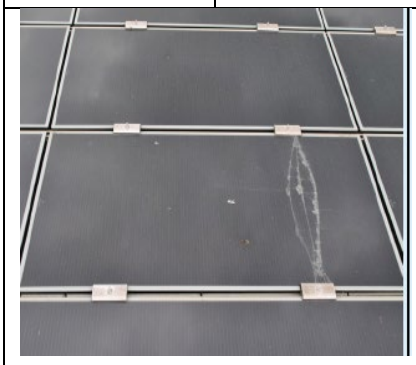
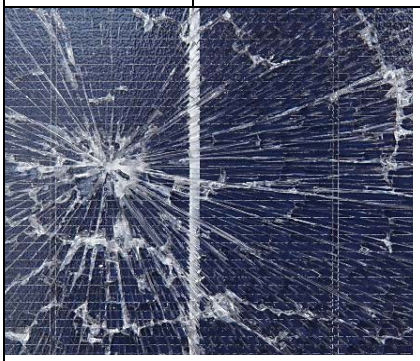
<table>
<tr><td>المكون
العيب</td><td colspan="3">اللوح الكهروضوئي
ابيضاض (تكلس) الطبقة الخلفية</td><td>PVFS 1-6vs.01</td></tr>
<tr><td>المظهر الخارجي</td><td colspan="4">يمكن الكشف عن مسحوق أبيض على السطح الخارجي للطبقة الخلفية كما يمكن رؤيته بتمرير إصبع على الطبقة الخلفية. يمكن إزالته. عادة ما يكون للطبقة الخلفية مظهر خشن أو باهت.</td></tr>
<tr><td>ألية الكشف</td><td colspan="4">الفحص البصري (VI).</td></tr>
<tr><td>سبب العطل</td><td colspan="4">يحدث الابيضاض (التكلّس) بسبب التحلل الضوئي الحراري للبوليمرات في الطبقة الخارجية للطبقة الخلفية التي تحتوي على أصباغ غير عضوية. على سبيل المثال، غالبًا ما تستخدم أصباغ ثاني أوكسيد التيتانيوم (TiO_2) في الطبقات الخارجية كحاجز للأشعة فوق البنفسجية.
الإنتاج ■ | التركيب □ | التشغيل ■</td></tr>
<tr><td>التأثير الناتج</td><td colspan="4">لا يؤثر الابيضاض (التكلّس) على سلامة اللوح أو أدائه للوهلة الأولى، ولكنه قد يكون علامة على استمرار تدهور الطبقة الخلفية ومقدمة لتشققات شديدة في الطبقة الخلفية. ونتيجة لانخفاض حماية الطبقة الخلفية من الأشعة فوق البنفسجية الناتج عن التدهور، يمكن أن تحدث أعطال أكثر خطورة، مثل تشقق الطبقة الخلفية وتلف العزل. يمكن أن يؤدي زيادة انتشار الرطوبة إلى مادة التغليف \ الأجزاء النشطة كهربائياً من الخلايا الكهروضوئية إلى تآكل الخلايا والموصلات، مما يؤثر سلبًا على الأداء أيضًا.
السلامة | الأداء:  </td></tr>
<tr><td>الحد من الضرر</td><td>الإجراءات التصحيحية</td><td>الإجراءات الوقائية (موصى بها)</td><td>الإجراءات الوقائية (اختيارية)</td></tr>
<tr><td></td><td>يجب إجراء عمليات فحوصات منتظمة لمراقبة تفاقم العطل الملحوظ. الكشف عن عطل التأريض بواسطة العاكس أو أجهزة أخرى في جميع الأوقات.</td><td>تحقق من صحة شهادة IEC 61215 وقائمة المواد (BOM).</td><td>عمليات فحوصات دورية للنظام.</td></tr>
</table>

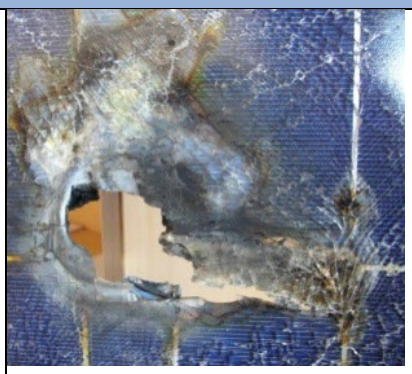
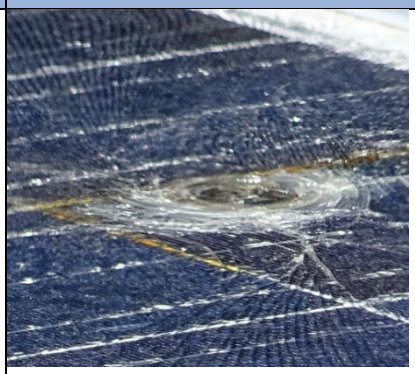
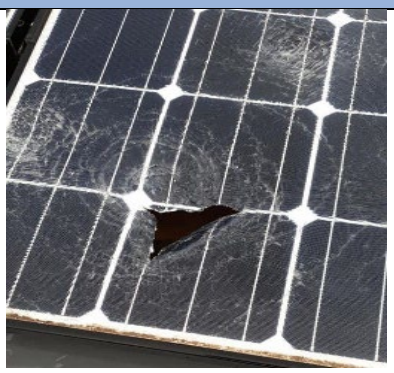
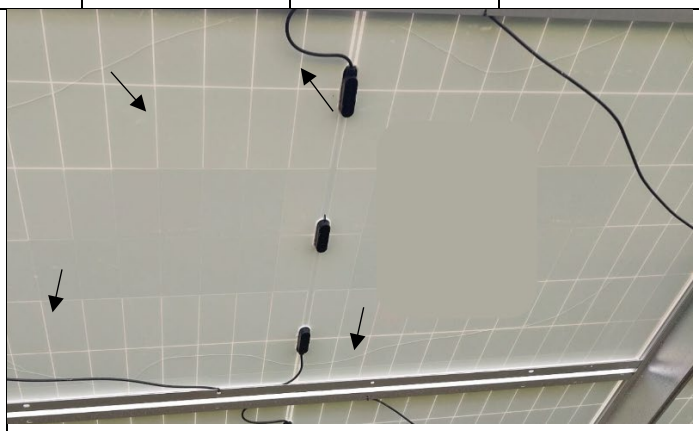
أمثلة (الصفحة الأولى)		PVFS 1-6vs.01	
أمثلة 2-1			
	أصابع ملطخة ببودرة بيضاء [بتصرف من TUV Rheinland].		أثر تمرير أصابع على لوح كهروضوئي متأثر بالابيضاض [بتصرف من TUV Rheinland]
شدة الضرر	e 1		e 1

المكون العيب	**اللوح الكهروضوئي** **علامات الحروق**	**PVFS 1-7vs.01**
المظهر الخارجي	يمكن رؤية علامات الحروق بالعين المجردة على شكل بقع محترقة أو سوداء. قد يؤدي الحرق إلى ظهور فقاعات أو ذوبان في مادة التغليف البوليمرية، و/أو كسر في الزجاج أو ثقب في الغطاء الخلفي. قد لا تكون علامات الحرق على الوجه الخلفي ظاهرة من الأمام، مما يستدعي فحصًا بكاميرا الأشعة تحت الحمراء إذا كان لا يمكن الوصول إلى الجزء الخلفي من اللوح. وقد لا تكون مرئية أيضًا عند الفحص بالأشعة تحت الحمراء في حال عدم وجود حرارة إضافية أو مستمرة.		
ألية الكشف	الفحص البصري (VI)، التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT)، (التصوير باللمعان الكهربائي (EL))		
سبب العطل	يترافق حدوث العطل مع أجزاء من اللوح التي ارتفعت درجة حرارتها بشكل كبير بسبب أخطاء التصنيع (مثل وصلات لحام ضعيفة، وانفصال الشريط بين الخلايا، وعزل حافة الخلية غير مكتمل، وأخطاء المحاذاة، والجزيئات المعدنية) و/أو أخطاء النقل/المناولة (مثل **الخلايا المتشققة**، وتلف الوجه الخلفي) بالتزامن مع عامل أو أكثر من العوامل المرتبطة بالتشغيل (مثل التظليل، و**فتح دارة دايود العبور**، وتدفقات التيار العكسي). الثقل المادي أثناء نقل الألواح الشمسية، الأحمال الثلجية الثقيلة، ضربة صاعقة، الدورات الحرارية، و/أو **البقع الساخنة** الناتجة عن تظليل جزئي للخلايا أثناء مدة التشغيل الطويلة للنظام، يؤدي إلى انكسار الأجزاء الميكانيكية الضعيفة (أو التي أصبحت ضعيفة) في الخلايا\الوصلات. تظهر علامات الحروق على سبيل المثال عندما يتسبب تدفق التيار العكسي في رفع الحرارة والتي تزيد من تدفق التيار، مما يؤدي إلى تسريب حراري وعلامة الحرق بجانبها.		
	الإنتاج ☐	التركيب ☐	التشغيل ☐
التأثير الناتج	غالباً ما ترتبط علامات الاحتراق على الوصلات الداخلية بفقدان الطاقة، ولكن إذا تم توفير وصلات كهربائية احتياطية، فقد يكون لوصلة لحام فاشلة تأثير ضئيل على خرج الطاقة. أما إذا انكسرت جميع وصلات اللحام لخلية واحدة، فسيتوقف تدفق التيار في تلك سلسلة تلك الخلية تمامًا، وقد ينتج عن ذلك قوس كهربائي إذا لم يمر التيار عبر دايود العبور، سيعمل النظام عند جهد مرتفع. في هذه الحالة، من المحتمل أن يتأثر الأداء والموثوقية والسلامة بشدة. يمكن أن يتسبب هذا القوس الكهربائي في نشوب حريق إذا كانت هناك مواد قابلة للاشتعال في الجوار. إذا كان هناك شك حول ما إذا كان وجود علامة الاحتراق يستدعي استبدال اللوح، فإن صورة بالأشعة تحت الحمراء في ظروف الإضاءة و\أو التظليل الجزئي ستحدد بسرعة ما إذا كانت المنطقة لا تزال ساخنة و\أو ما إذا كان تدفق التيار قد توقف في ذلك الجزء من الدائرة. يجب ألا يتجاوز الفرق في درجة الحرارة للخلايا المتجاورة 30 كلفن. في هذه المرحلة، قد لا يكون خطر السلامة مرتفعًا جدًا لأن درجة حرارة هذه الخلية ذات البقعة الساخنة لا تزيد عن حوالي 100 درجة مئوية. كما أن أعطال عزل الحواف على مستوى الخلية ليست مشكلة في الظروف العادية، ولكن عندما يكون دايود العبور في دارة مفتوحة، يتم دفع التيار بشكل عكسي عبر التحويلات في الخلايا الشمسية ويحرق التغليف.		
	السلامة: m e f m e f	الأداء:	1 2 3 4 5
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. يجب إجراء فحوصات دورية لمراقبة حالة الألواح التي لم تُستبدل.	الفحص البصري قبل عملية التثبيت والتركيب وتشغيل النظام باستخدام تقنية التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء	فحوصات النظام الدورية

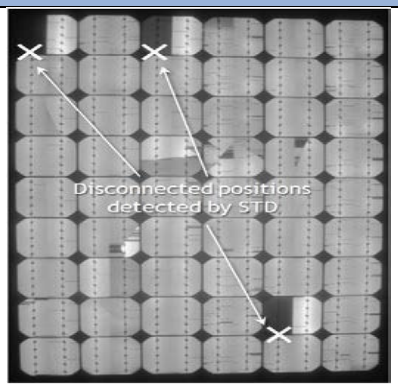
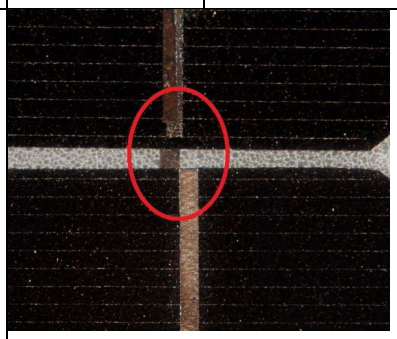
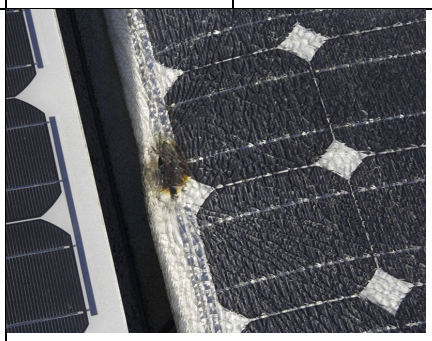
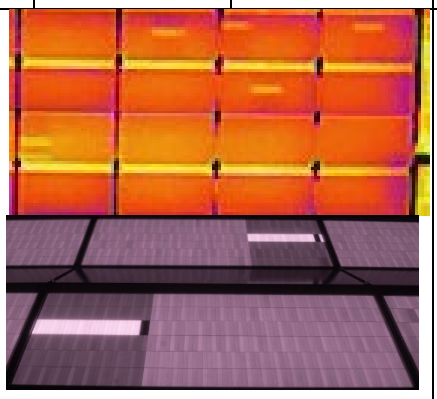
أمثلة (الصفحة الأولى)				PVFS 1-7vs.01	
أمثلة 3-1					
	علامات الحروق على الجزء الخلفي مع تشقق في الوجه الخلفي [Sinclair17].		علامات الحروق على الوجه الخلفي بسبب الحرارة على طول القضيب التوصيل [Köntges14].		علامة حرق بسبب ارتفاع درجة الحرارة على طول الترابط المعدني (بدون تلف الجهة الخلفية) [Köntges14].
شدة الضرر	m e f 5		m e f 3 4 5		m e f 2 3
أمثلة 6-4					
	منظر أمامي وخلفي لعلامات الحروق الناتجة عن أعطال الدارة المفتوحة لدايودات العبور (bypass diode) وظروف عدم تطابق التيار (بسبب التظليل أو الخلايا المتشققة) [Köntges14].				علامات الحروق الناجمة عن عيب في دايود العبور أو فشل التوصيل في صندوق التجميع [Köntges14].
شدة الضرر	m e f		3 4 5		m e f 3 4 5
أمثلة 9-7					
	علامة حرق وزجاج متكسر ناتجة عن سوء لحام شريط التوصيل [Yang19]. (انظر أيضًا PVFS 1-8 وPVFS 1-8)		علامة حرق ناتجة عن تحويلة داخلية ناتجة عن خطأ في عملية التصنيع [Yang19].		علامة حرق بسبب تحويل داخلي ناجم عن خطأ في عملية التصنيع [Yang19].
شدة الضرر	m e f 3 4 5		m e f 1 2 3		m e f 1 2 3

المكون العيب	**اللوح الكهروضوئي** **تكسّر وتشقق الزجاج**	**PVFS 1-8vs.02**
المظهر الخارجي	يمكن أن يتشقق الزجاج في موضع معين أو على كل مساحة اللوح. يختلف مظهر تشقق الزجاج حسب نوعه وسببه. فالزجاج المقوى حراريًا أو المقسّى يتفتت إلى قطع صغيرة، بينما الزجاج الملدن يتكسر إلى قطع أكبر. أما الزجاج المقوى بالحرارة فيكون بينهما. يصعب رؤية الشقوق التي تحدث على الزجاج الخلفي لألواح الزجاج/الزجاج بالعين المجردة، خاصة في حالة الزجاج المقوى بالحرارة الرقيق.	
ألية الكشف	الفحص البصري (VI)، التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT)	
سبب العطل	يمكن أن يحدث تكسر الزجاج الأمامي نتيجة للصدمات الشديدة مثل سقوط حبات البَرد أو الحجارة، أو أي إجهاد ميكانيكي شديد على إطار اللوح التي تحدث بسبب الإجهادات الخارجية أو التركيب غير الصحيح، أو الإجهاد الداخلي الناتج عن درجات الحرارة المرتفعة الناجمة عن البقع الساخنة أو القوس الكهربائي. يمكن أن يتكسر الزجاج الملدن بسبب التدرجات الحرارية أو الإجهاد الناجم عن عملية التصفيح أو تنظيف الألواح. يعد تكسر الزجاج في الألواح الكهروضوئية عديمة الإطار والألواح ثنائية الزجاج من الأعطال الشائعة نسبيًا في هذا المجال. وتكون بعض الألواح ثنائية الوجه ذات الزجاج الرقيق (بسمك 2 مم إلى 1.6 مم) أكثر حساسية لتكسر الزجاج. ويعود السبب في ذلك إلى أن الزجاج الرقيق لا يمكن تقسيته بالكامل مثل الزجاج السميك (3 مم)، مما يقلل من مقاومة السطح للإجهاد والصدمات والخدوش. غالبًا ما يبدأ تشقق الزجاج الرقيق من زجاج الوجه الخلفي، ولا يزال السبب الدقيق غير مفهوم تمامًا. في بعض الحالات، يكون السبب في تكوين حواف القطع أو حفر الثقوب لتوصيل صندوق التوصيل. خلال مرحلة التخطيط والتركيب، تحدث الأعطال إما بسبب (أ) تصميم غير مناسب لملاقط الألواح، مثل الحواف الحادة. (ب) الملاقط القصيرة والضيقة جدًا. (ج) عدم اختيار مواضع الملاقط أو نوعها أو عددها على اللوح وفقًا لدليل الشركة المصنعة. السبب الثاني لتكسر الزجاج قد يكون شد براغي التثبيت بإحكام شديد أثناء مرحلة التركيب أو التواء اللوح، وعدم تلبية متطلبات التسوية. قد يتكسر زجاج بعض الألواح الكهروضوئية أيضًا بسبب الاهتزازات والصدمات التي تحدث أثناء النقل أو المناولة. سبب آخر لتكسر الزجاج وهو بسبب الصدمات القوية على حافة الزجاج. في بعض الأحيان، يحدث التخريب أو الأضرار من الحيوانات (مثل تسلق الحيوانات على الألواح أو إسقاط الطيور للحجارة أو أشياء أخرى من السماء).		
	الإنتاج ☐	التركيب ☐	التشغيل ☐
التأثير الناتج	تتأثر السلامة الميكانيكية للوح سلبًا عند تكسر الزجاج. يؤدي تكسر الزجاج إلى تراجع الأداء مع مرور الوقت وذلك بسبب تآكل الخلايا والدارات الكهربائية الناتج عن تسرب الأكسجين وبخار الماء إلى داخل اللوح. كما أن تحطم الزجاج المقسّى يؤدي عادةً إلى تكسير الخلايا، مما يقلل من استطاعة اللوح ويزيد من خطر ظهور البقع الساخنة والأقواس الكهربائية. وبالتالي، تتأثر السلامة الميكانيكية والكهربائية سلبًا. أولاً، لا يتم ضمان عزل الألواح بشكل كامل، خاصةً في الظروف الرطبة، مما قد يؤدي إلى حدوث أعطال بالتأريض وتوقف عمل العاكس. ثانيًا، يتسبب تكسر الزجاج في ظهور البقع الساخنة، التي تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة اللوح بشكل مفرط وتزيد من احتمالية نشوب حريق. اللوح ذو الزجاج المكسور بالكامل يؤدي إلى انخفاض التيار والطاقة في سلسلة الألواح الكهربائية بأكملها.		
	السلامة		الأداء:
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال جميع الألواح التالفة. في حال معرفة سبب التلف، يجب إصلاح التلف. يوصى بإجراء فحوصات بصرية دورية في حال وجود أسباب غير معروفة لا تتعلق بالتأثيرات الخارجية.	يجب اتباع إجراءات نقل وتركيب وتنظيف مناسبة بواسطة فنيين مدربين. في حال وجود أحمال ثلجية أو برد شديدة، يجب استخدام ألواح معتمدة.	يجب التحقق من جودة الألواح والتأكد من أن التركيب يتناسب مع الأحمال الميكانيكية المتوقعة.

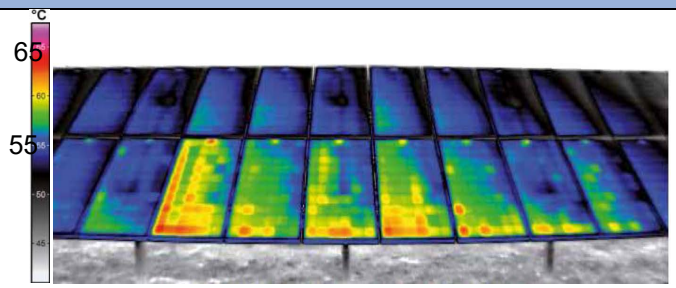
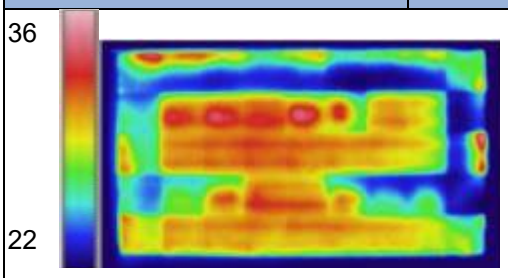
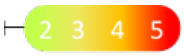
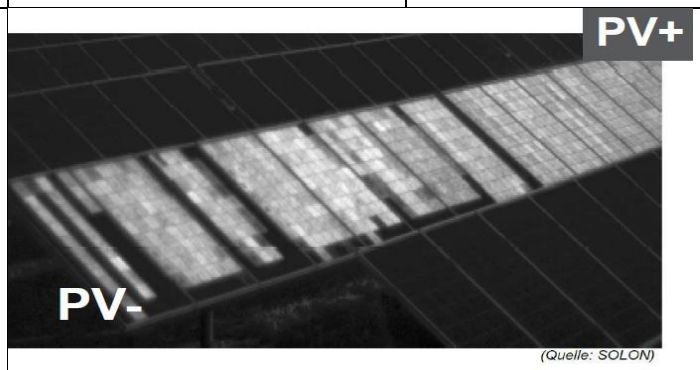
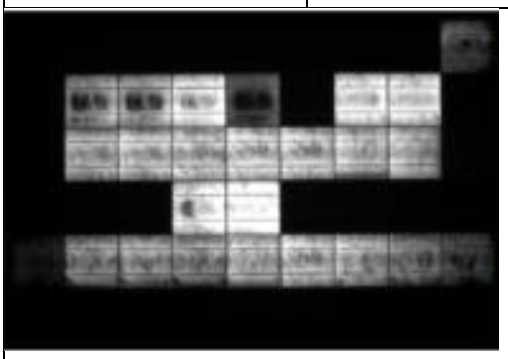
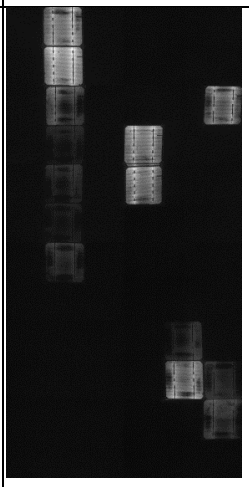
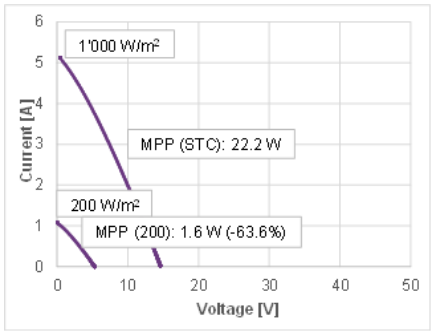
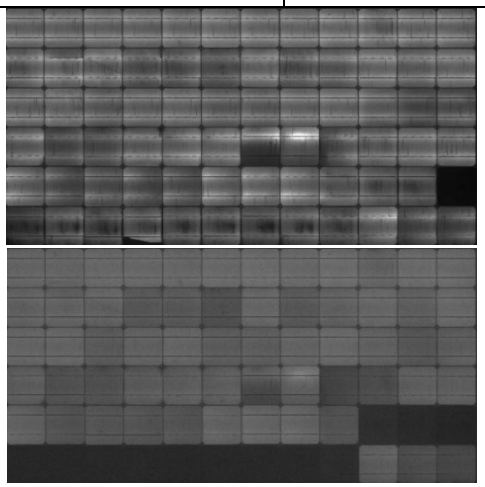
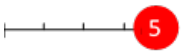
أمثلة (الصفحة الأولى)				PVFS 1-8vs.02	
أمثلة 3-1					
	تشقق الزجاج عند الزوايا [12Packard].		تكسر الزجاج على طول شرائط التوصيل الكهربائي بسبب عملية التصنيع السيئة [بتصرف من مختبر SUPSI PVLab].		تكسر الزجاج المقسى ناتج عن بقع ساخنة [بتصرف من مختبر SUPSI PVLab].
شدة الضرر					
أمثلة 6-4					
	كسر الزجاج بسبب شد البراغي بشدة [Köntges14]. (انظر أيضًا PVFS 1-3)		كسر الزجاج بسبب سوء تصميم المشبك [Köntges14].		كسر الزجاج بسبب سوء تصميم المشبك [Köntges17]. (انظر أيضًا PVFS 1-3)
شدة الضرر					
أمثلة 9-7					
	تكسر الزجاج نتيجة تدرج درجات الحرارة العالية، والزجاج غير مقسّى [Köntges14].		تكسر الزجاج المقسّى الناتج عن علامات الحرق [Köntges14]. (انظر أيضًا PVFS 1-7 وPVFS 1-9).		تكسر الزجاج المقسّى [Köntges17].
شدة الضرر					

أمثلة (الصفحة الثانية)				PVFS 1-8vs.02	
أمثلة 12-10					
	ضربة صاعقة مباشرة [Köntges16].		ضرر ناتج عن اصطدام جسم ثقيل [بتصرف من SUPSI PVLab].		ضرر ناتج عن تساقط البَرَد [بتصرف من SUPSI PVLab].
شدة الضرر	m e f	5	m e f	5	m e f	5
أمثلة 15-13					
	تكسر الزجاج الخلفي الرقيق (أقل من 2 ملم). ظهور خطوط تشقق طويلة (عدة ديسيمترات) دون انقسام للتشقق، وبدون نقطة بداية واضحة للتشقق		تكسر الزجاج على الجانب الخلفي للوح ثنائي الوجه بسبب عدم وجود مسافة كافية بين الألواح (عدم مراعاة التمدد الحراري لإطار اللوح)		
شدة الضرر	m e f	2	m e f	2 3	

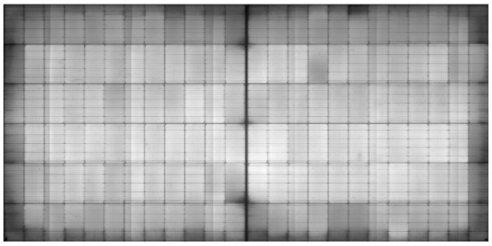
المكون العيب	**اللوح الكهروضوئي** **فشل التوصيلات بين الخلايا**	**PVFS 1-9vs.02**
المظهر الخارجي	لا يمكن رؤية فشل التوصيلات أو ضعفها بين الخلايا أو السلاسل الفرعية بالعين المجردة بسهولة. يمكن تحديد هذا العطل على شكل منطقة مظلمة في صورة اللمعان الكهربائي، حيث لا تجمع التوصيلات المعطلة ناقلات الشحنة، مما يؤدي إلى ظهور بقعة ساخنة في صورة الأشعة تحت الحمراء. وقد تظهر علامات حروق وتكسر في الزجاج في المراحل المتقدمة. كما يصعب التعرف على الخلايا بعطل دائرة القصر بالعين المجردة، بينما تظهر كخلايا مظلمة في صورة اللمعان الكهربائي. بالنسبة للسلاسل الفرعية المتصلة بالتوازي، تظهر السلسلة الفرعية التي تحتوي على خلية ذات دائرة قصر أكثر سطوعًا في صورة اللمعان الكهربائي وأكثر دفئًا قليلاً في صورة الأشعة تحت الحمراء مقارنة بالسلاسل الفرعية الأخرى المتصلة بالتوازي.	
ألية الكشف	التصوير باللمعان الكهربائي (EL)، التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT)، طرق إرسال الإشارات (STM)، (الفحص البصري (VI))	
سبب العطل	عادةً ما يحدث هذا بسبب عملية التصنيع (مثل ضعف اللحام، وضع غير صحيح للأشرطة، تشوه شديد لثنية الشريط، مسافة ضيقة بين الخلايا، تطبيق غير صحيح للمادة اللاصقة الموصل)، يليه إجهاد حراري ميكانيكي أو أحمال رياح متكررة ناتجة عن بيئة التشغيل الخارجية. يمكن أن يكون التآكل الكهروكيميائي سببًا آخر لتدهور التوصيلات البينية. يحدث قصر الدائرة في الخلية عندما يوصل شريط التوصيل البيني أو الصمغ الموصل الجانبين الأمامي والخلفي للخلية. الإنتاج ■ التركيب □ التشغيل ■	
التأثير الناتج	تؤدي الوصلات البينية الضعيفة (وصلات اللحام) إلى زيادة مقاومة التلامس، وارتفاع خسائر الطاقة، وزيادة التسخين الموضعي. غالبًا ما ترتبط الوصلات الضعيفة أو التالفة بفقدان الطاقة، ولكن إذا كانت هناك وصلات كهربائية احتياطية، فقد يكون للوصلة المعطوبة تأثير ضئيل على خرج الطاقة. قد لا تتأثر السلامة كثيراً ما لم ترتفع درجة حرارة **البقع الساخنة** المستحثة إلى أكثر من حوالي 100 درجة مئوية. إذا تم قطع جميع قضبان التوصيل لخلية ما، فسيتوقف تدفق التيار في هذا السلسلة بالكامل، ويمكن أن ينتج قوس كهربائي إذا لم يتم تمرير التيار عبر دايود العبور، وسيعمل النظام عند جهد مرتفع. يعتمد خطر السلامة على متانة دايود العبور. يمكن أن يتلف دايود العبور الذي يعمل باستمرار على مدى أيام ويتحول إلى دارة قصر أو **دارة مفتوحة**. نتيجة لحدوث دارة القصر في الدايود يمر التيار عبر سلسلة الخلايا المعطوبة ويولد حرارة في موضع الفصل. قد تتسبب درجات الحرارة المرتفعة جدًا في حدوث قوس كهربائي أو نشوب حريق، وكشف الأجزاء الموصلة للكهرباء للمستخدم، وتدمير السلامة الميكانيكية للوح. يعتمد فقدان الطاقة للوح الذي يضم خلية مقصورة على ملف التوصيل البيني للألواح. بالنسبة للخلايا المتصلة على التوالي في لوح ما، يتم خسارة طاقة الخلية (الخلايا) المقصورة فقط. يجب تقييم تأثير الخلايا التي المقصورة المتصلة على التوازي بالتفصيل، ولكنه أقل من طاقة الخلايا المكافئة لعدد الخلايا المتصلة بالتوازي مضروبًا في الحد الأقصى لعدد الخلايا المحولة في سلسلة فرعية متصلة على التسلسل. في معظم الحالات، لا توجد مشكلة تتعلق بالسلامة بالنسبة للخلايا المقصورة. السلامة الأداء:	
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية: **يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5.** ويجب إجراء فحوصات دورية لمراقبة حالة الألواح التي لم تُستبدل. الإجراءات الوقائية (موصى بها): التحقق من إثبات فحص المصنع وفقًا للمعيار الدولي (IEC62941). بدء تشغيل النظام مع تصوير بالأشعة تحت الحمراء (IRT). الإجراءات الوقائية (اختيارية): فحص الألواح قبل الشحن أو فحص عينات من الألواح باستخدام اللمعان الكهربائي عند وصلها لموقع التركيب. والفحص الدوري للنظام.	

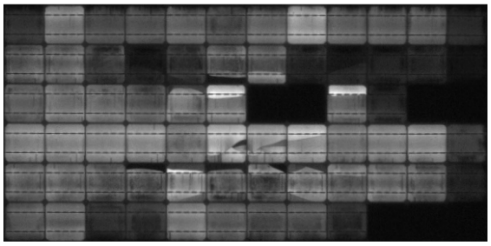
أمثلة (الصفحة الأولى)				PVFS 1-9vs.02	
أمثلة 3-1					
	صورة مكبرة لوصلة خلية مكسورة [Yang19].	صورة لمعان كهربائي للوح بثلاث خلايا مع شرائط توصيل منفصلة [Köntges14]		انفصال خلية متصلة مع تقشرها [Köntges17].	
شدة الضرر	2 3 4 e f	2 3 4 e f		2 3 4 e f	
أمثلة 6-4					
	انفصال شريط التوصيل [Sinclair17].	اللحام الضعيف لوصلات سلاسل الخلايا الشمسية يؤدي إلى ظهور علامات احتراق وتكسر الزجاج [Yang19]. انظر ايضاًPVFS 7-1 و PVFS 8-1)		تشكل القوس الكهربائي بسبب عدم كفاية تماس الغراء الموصل على شريط التوصيل [Köntges14].	
شدة الضرر	1 2 e f	3 4 5 m e f		2 3 4 e f	
أمثلة 9-7					
	صورة بالأشعة تحت الحمراء (IRT) وصورة اللمعان الكهربائي (EL) لخلايا متشابكة بدارة قصر بسبب تطبيق غير صحيح للمادة اللاصقة الموصلة [بتصرف من ريمي ويديغ، pvControl]				
شدة الضرر	2				

المكون العيب	اللوح الكهروضوئي التقادم المحفز بالتوتر للوح (PID)	PVFS 1-10vs.02
المظهر الخارجي	لا يمكن رؤية نوعي التقادم المحفز بالتوتر الناشئ بسبب طرق التيارات الكهربائية (Shunting) المعروف بنوع (S) والناشئ بسبب القطبية (polarization) بصريًا المعروف بالنوع (P)؛ ولكن نوعي المراحل المتقدمة من التقادم (التآكل C والانفصال D) يمكن رؤيتها. يتسبب التقادم المحفز بالتوتر في فقدان تدريجي للطاقة، وقد تظهر بعض أنماطه أيضًا تغيراً في اللون وبقع ساخنة بمرور الوقت. يمكن الكشف عن التقادم من نوع (S) من خلال التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء للألواح الشمسية المعرضة لضوء الشمس مباشرة أو في المختبر، حيث يظهر التقادم كخلايا ساخنة بالقرب من الإطار السفلي أو أنماط مرقعة، ويكون أكثر وضوحًا في الألواح الشمسية المركبة بالقرب من أحد أقطاب سلاسل الألواح. يمكن أيضًا الكشف عن هذا النوع من التقادم عن طريق تصوير اللمعان الكهربائي، خاصة تحت انحياز تيار منخفض (10\1 التيار الاسمي)، حيث تظهر الخلايا الأكثر تأثراً والأقرب إلى إطار اللوح توهجاً منخفضاً. يتسبب التقادم من النوع (S) في انخفاض مقاومة التحويل، وعامل الملء (FF)، وجهد الدائرة المفتوحة (Voc) في منحنى التيار والجهد، ويكون أكثر وضوحًا تحت الضوء المنخفض. يُظهر التقادم من النوع (P) انخفاضًا في التوهج ولا يعتمد على انحياز التيار المنخفض، مما يجعل اكتشافه باستخدام صور اللمعان الكهربائي أصعب. يمكن استخدام قياسات منحنى التيار والجهد لتأكيد وجود التقادم المحفز بالتوتر بالاشتراك مع التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء أو تصوير اللمعان الكهربائي. يتسبب التقادم من النوع (P) في انخفاض تيار دائرة القصر (Isc) وجهد الدائرة المفتوحة (Voc)، وعادةً ما ينشأ على الجانب الخلفي للألواح ذات الخلايا المصنعة بتقنية (P-PERC) والجزء الأمامي من تلك التي تستخدم الخلايا المصنعة بتقنيات (PERT, TOPCon, IBC).	
ألية الكشف	التصوير باللمعان الكهربائي (EL)، التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT)، الفحص البصري (VI)، (مراقبة البيانات (MON))	
سبب العطل	يُعدّ التقادم المحفز بالتوتر نوعاً من أنواع التدهور الناجم عن الإجهاد العالي بالنسبة للأرضي. يعتمد حدوث هذا العطل بناء على مقدار الجهد (عدد الألواح المتصلة على التسلسل في كل سلسلة) وقطبية المجال الكهربائي المتكون بين إطار /سطح الزجاج والخلايا الشمسية. يعتمد الأخير على طبيعة العاكس الكهربائي (المحولة)، ومفهوم التأريض، وتقنية الخلية. تتدهور الألواح المصنعة بالخلايا من النوع p في سلاسل ذات القطبية السالبة، بينما تتدهور الألواح المصنعة بالخلايا من النوع n في سلاسل القطبية الموجبة. يتسارع التدهور بسبب ارتفاع درجة الحرارة والرطوبة والأمطار (تبلل السطح) والتكثيف والأتربة. ينتج التقادم المحفز بالجهد من نوع (PID-p) عن تراكم الشحنات السطحية على الخلايا، مما يؤدي إلى فاقد في التيار. وينتج التقادم من نوع (PID-s) عن تيارات التسربية القادمة من إزاحة أيونات الصوديوم (Na+) من الزجاج الأمامي أو الخلفي للألواح وعبر مادة التغليف. يخلق تدفق أيونات الصوديوم مسارات تحويل في الخلايا. بالنسبة لكلا نوعي التقادم يؤثر تصميم اللوح والخلية بشكل أساسي على ما إذا كان اللوح يتأثر بالتقادم المحفز بالتوتر ومقدار هذا التأثير. توجد في الأسواق ألواح مصممة لتكون مقاومة للتقادم المحفز بالتوتر.	
	الإنتاج ☐ التركيب ☐ التشغيل ☐	
التأثير الناتج	لوحظ في الماضي خسائر في الإنتاج تصل إلى 20% وأكثر خلال عام واحد. نظرًا لفقدان الأداء الكارثي، يحمل التقادم المحفز بالتوتر خطرًا اقتصاديًا كبيرًا. يعد التقادم من نوع التحويل إلى حد ما نوعًا من الاستقطاب القابل للانعكاس، وبالتالي يمكن عكسه جزئيًا أو إيقافه عند اكتشافه في الوقت المناسب. ولكن إذا تم اكتشافه متأخرًا جدًا، فقد يؤدي إلى فاقد في الطاقة لا يمكن ايقافه. يتسبب التقادم من نوع (P) بدلاً من ذلك في انخفاض كبير في تيار دائرة القصر (Isc) وجهد الدائرة المفتوحة (Voc) والطاقة. يُعتقد أن التقادم من نوع (P) يتم تجديده بالكامل (عكس أثره) عن طريق عكس قطبية جهد الانحياز. يحدث تدهور مادي للألواح في بعض الحالات من خلال التآكل والانفصال المرتبط بالتيار الفائض المفرط. لغاية الآن لم يتم الإبلاغ عن مشاكل تتعلق بالسلامة مرتبطة مباشرة بتقادم التوتر، ولكن البقع الساخنة والتآكل الناتج عن عدم تطابق الخلايا القوي قد يتسببان في مشاكل تتعلق بالسلامة.	
	السلامة ⬢ الأداء: 1 2 3 4 5	
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية: يمكن إصلاح التقادم المحفز بالتوتر في مراحله المبكرة بوضع الألواح في سلاسل قطبية غير حساسة، وتطبيق جهد عكسي. لا يمكن إصلاح التقادم في مراحل متقدمة بالكامل. الإجراءات الوقائية (موصى بها): الألواح التي تم اختبارها بنجاح وفقًا للمعيار IEC 62804-1 أقل عرضة للتقادم المحفز بالتوتر. هذا المعيار اختياري للألواح المقاومة للتقادم المحفز بالتوتر. الإجراءات الوقائية (اختيارية): وضع الألواح في سلاسل جهد تيار مستمر غير حساس للتقادم المحفز بالتوتر مع تأريض أحد طرفيها باستخدام عاكس مع محول أو عواكس مزودة بخاصية مقاومة للتقادم المحفز بالتوتر.	

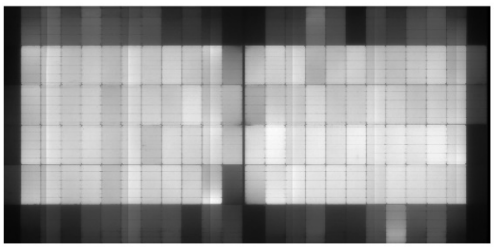
PVFS 1-10vs.02	أمثلة (الصفحة الأولى)	
أمثلة 2-1	 سلاسل متأثرة بالتقادم المحفز بالتوتر، تم الكشف عنه باستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء [Köntges14].	 التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء الداكنة لتيار دارة القصر في لوح تأثر بالتقادم من نوع (S) [Köntges14].
شدة الضرر		
أمثلة 4-3	 سلاسل متأثرة بالتقادم المحفز بالتوتر، تم الكشف عنه باستخدام اللمعان الكهربائي [Köntges14].	 تصوير اللمعان الحراري لتيار دارة القصر في لوح تأثر بالتقادم من نوع (S) [Köntges14].
شدة الضرر		
أمثلة 6-5	  التقادم المحفز بالتوتر من نوع (S) في لوح مسبباً فاقدًا في الطاقة بنسبة 89%، الصورة على اليسار: تصوير اللمعان الكهربائي عند مضاعفة تيار القصر 1.5 ضعف والصورة على اليمين: منحنى التيار والجهد (I-V) لنفس اللوح عند 1000 و200 واطامتر مربع [Herrmann21].	 التقادم المحفز بالتوتر من نوع (S) في لوح مسبباً فاقد بالطاقة بنسبة 14%. الصورة في الأعلى: تصوير اللمعان الكهربائي عند قيمة تيار القصر مضروبة بـ1.5. الصورة في الأسفل: تصوير اللمعان الكهربائي لنفس اللوح لقيمة تيار القصر مضروبة بـ 0.2 ضعف [Herrmann21]
شدة الضرر		

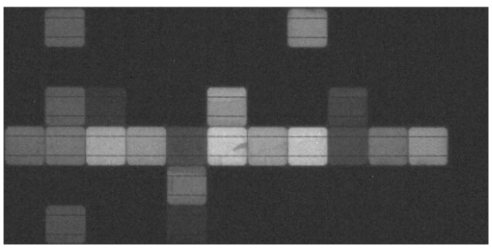
أمثلة 8-7



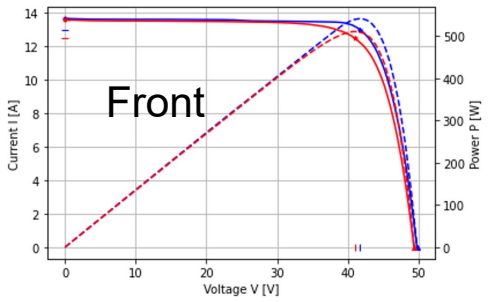


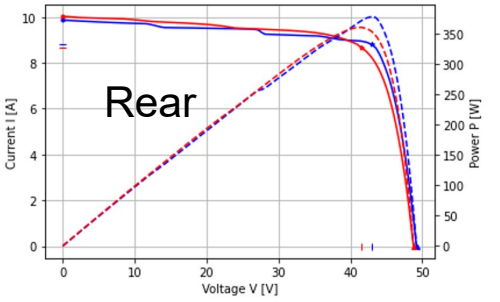
I_{sc} bias

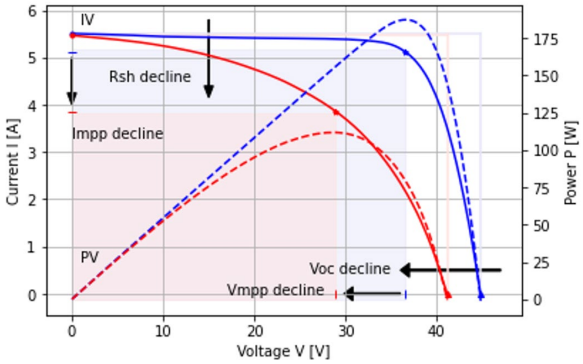




$0.1I_{sc}$



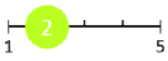




التقادم المحفز بالتوتر نوع (S) مصنع بتقنية Al BSF عند تصويره باللمعان الكهربائي عند تيار دائرة القصر و0.1 من تيار دارة قصر، تظهر نمط تدهور يشبه رقعة الشطرنج، ويكون أكثر وضوحًا عند تيار الانحياز المنخفض. يُظهر منحنى التيار والجهد عند ظروف الاختبار المعيارية (STC) انخفاضًا في مقاومة التحويل، وعامل الملء (FF)، وجهد الدائرة المفتوحة [Mahmood2024].

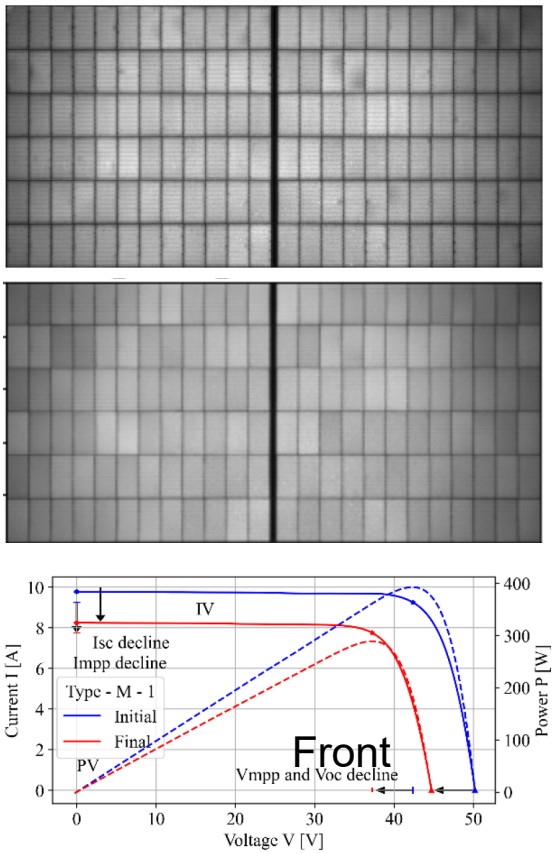
التقادم المحفز بالتوتر من نوع (S) للوح مصنع بتقنية الـ PERC بخلايا نوع P ثنائية الوجه، تم تصويره باللمعان الكهربائي عند تيار دارة القصر و0.1 من تيار دارة القصر يظهر التصوير تدهورًا بالقرب من الإطار، ويكون أكثر وضوحًا عند تيار الانحياز المنخفض. تُظهر منحنيات التيار والجهد عند ظروف الاختبار المعيارية (STC) للجزء الأمامي والخلفي انخفاضًا في معامل الملء (FF).[Mahmood2024]

شدة الضرر

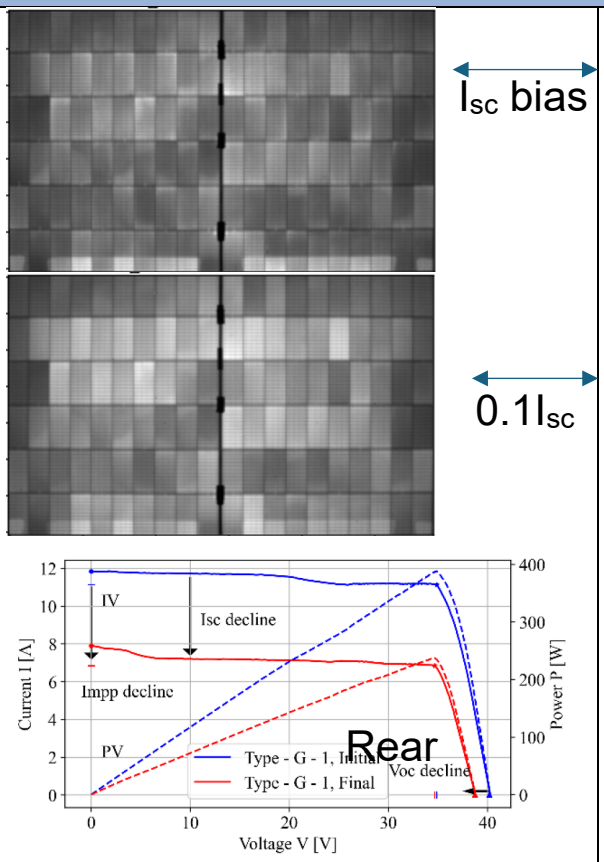


PVFS 1-10vs.02	أمثلة (الصفحة الثالثة)

أمثلة 10-9



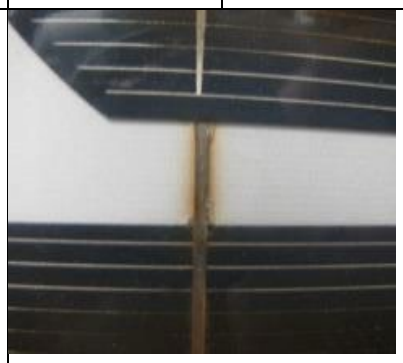
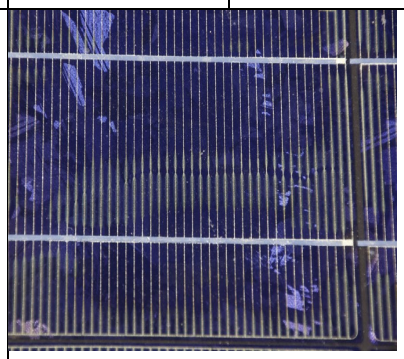
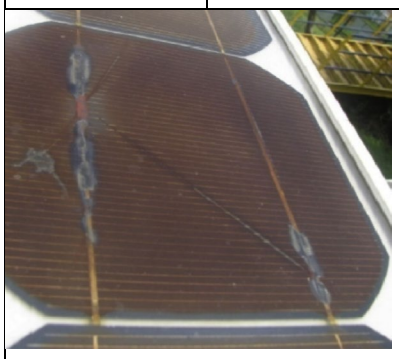
التقادم المحفز بالتوتر من نوع (P) للوح مصنع بتقنية الـ TOPCon بخلايا نوع N ثنائية الوجه، تم تصويره باللمعان الكهربائي عند تيار دارة القصر و0.1 من تيار دارة القصر يظهر انخفاضًا موحدًا وكبيرًا (أقل بحوالي 18 مرة) في التوهج مقارنةً بلوح سليم، مع عدم وجود اعتماد ملحوظ على التيار في صورة اللمعان. يُظهر منحنى التيار والجهد عند ظروف الاختبار المعيارية للوجه الأمامي انخفاضًا كبيرًا في تيار دارة القصر وجهد الدارة المفتوحة، وعدم وجود انخفاض ملحوظ في مقاومة التحويل [Mahmood2024].



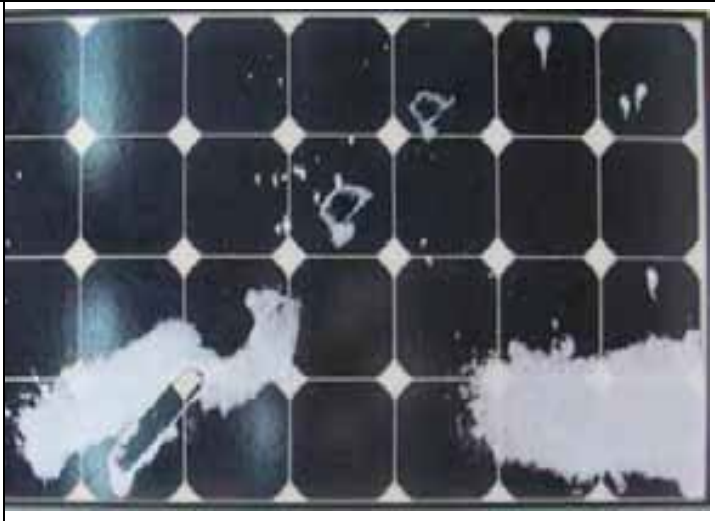
التقادم المحفز بالتوتر من نوع (P) للوح مصنع بتقنية الـ PERC بخلايا نوع P ثنائية الوجه، تم تصويره باللمعان الكهربائي عند تيار دارة القصر و0.1 من تيار دارة القصر يُظهر منحنى التيار والجهد عند ظروف الاختبار المعيارية للوجه الخلفي انخفاضًا ملحوظًا في تيار دائرة القصر، وانخفاضًا متوسطًا في جهد الدائرة المفتوحة، ولا يوجد انخفاض ملحوظ في مقاومة التحويل [Mahmood2024].

شدة الضرر		
3 (1–5)		4 (1–5)

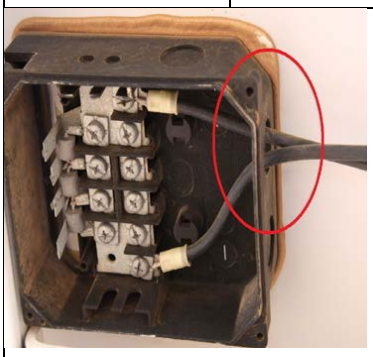
المكون العيب	**اللوح الكهروضوئي** **تغير اللون/ التآكل المعدني**	**PVFS 1-11vs.01**
المظهر الخارجي	يصبح تغير اللون و/أو تآكل طبقة المعدن في الخلية والوصلات البينية مرئيًا كتغير لون الأجزاء الكهربائية من الأصفر الفاتح إلى البني الداكن إلى الأسود. اعتمادًا على تركيبات المواد، يمكن ملاحظة التآكل أيضًا بوجود منتجات كلفانية (galvanic) قد تظهر على شكل مسحوق، أبيض، رمادي فاتح، و/أو لها مسحة صفراء أو زرقاء أو خضراء. يحدث العطل عادةً في وصلات اللحام، على خطوط/أصابع شبكة الخلية، أو أشرطة التوصيل البينية للخلايا/السلاسل. غالبًا ما يُلاحظ جنبًا إلى جنب مع أعطال أخرى مثل الانفصال وتغير لون مادة التغليف، وأحيانًا مع علامات حروق. يكون التآكل أكثر وضوحًا بالقرب من حواف الخلايا في ظروف معينة. يمكن للمناطق الداكنة على حدود الخلايا في صور اللمعان الكهربائي أن تسلط الضوء هنا على انتشار الرطوبة على الجانب الخلفي للوح والفجوات بين الخلايا، والتآكل اللاحق للخلايا الأمامية الذي يبدأ من الحواف.		
آلية الكشف	الفحص البصري (VI)، (التصوير باللمعان الكهربائي (EL)، منحنى الجهد التيار (IV))		
سبب العطل	ينتج تآكل\أكسدة الطبقة المعدنية عن وجود الرطوبة والحموضة في مادة التغليف، مثل حمض الأسيتيك، الذي يُعد من نواتج التحلل لمادة (EVA) المستخدمة على نطاق واسع في التغليف، أو نتيجة لبقاء عوامل التشابك (البيروكسيدات). لحمض الأسيتيك تأثير على تآكل الطبقة المعدنية للخلية والوصلات البينية للخلية. يؤدي دخول الرطوبة الناتج عن عملية الانفصال المستمرة مع وجود الأكسجين إلى تسريع تآكل الطبقة المعدنية. يمكن أن يحدث التآكل بسبب عملية تصنيع رديئة (مثل بقايا مادة الربط المتبقية بسبب عملية التصفيح غير الكافية أو بسبب عيوب في لحام الخلايا) أو استخدام مواد سيئة الجودة (مثل الطلاء القصديري منخفض المقاومة للتآكل على شرائط النحاس أو ارتفاع نفاذية المياه في الوجه الخلفي أو مواد التغليف). يمكن للعوامل البيئية أن تسرع التآكل (مثل الأمونيا والملح والرطوبة ودرجة الحرارة). لهذه الأسباب، تكون احتمالية التآكل أكبر وأكثر شدة في المناخات الحارة والرطبة أو في البيئات الزراعية أو البحرية. يمكن أن يرتبط تغير اللون أيضًا بعمليات غير التآكل مثل تغير اللون بسبب بقايا تدفق اللحام الحساسة للضوء على الشريط.		
	الإنتاج ■	التركيب ☐	التشغيل ■
التأثير الناتج	يؤدي تآكل طبقة التوصيل المعدنية و/أو الوصلات البينية إلى زيادة المقاومة التسلسلية، مما يؤدي إلى تراجع في أداء اللوح الشمسي. يكون الفقد في الطاقة أقل وضوحًا في الألواح التي تعاني من تغير لون الطبقة المعدنية دون حدوث تآكل. لا يشكل هذا العيب بالضرورة خطرًا على السلامة. تؤدي الزيادة الموضعية في المقاومة التسلسلية إلى عدم تطابق التيار، وإذا أصبح هذا الاختلاف كبيرًا، فقد يؤدي إلى تشغيل دايود العبور مما يتسبب في فاقد إضافي للطاقة للوح.		
	السلامة	الأداء:	
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. يجب إجراء فحوصات دورية لمراقبة حالة الألواح غير المُستبدلة.	التحقق من صحة شهادة IEC61215 وقائمة مواد التصنيع.	فحص النظام بشكل دوري

أمثلة (الصفحة الأولى)		PVFS 1-11vs.01	
أمثلة 3-1			
	تغير اللون بسبب التآكل أو بسبب بقايا التدفق الحساسة للضوء (من عملية اللحام) على الشريط الموصل.	تغير اللون الناتج عن التآكل على الشريط الموصل [بتصرف من SUPSI PVLab].	تآكل في وصلات السلسلة الكهربائية. [Köntges17]
شدة الضرر	1	1	1 2
أمثلة 6-4			
	تآكل في وصلات الخلايا الكهربائية. [Köntges17]	أكسدة طفيفة لأعمدة الفضة بعد 5 سنوات من التشغيل في الموقع للوح. [Yang19]	أكسدة/تآكل شديد وآثار احتراق على أعمدة الفضة، وقضبان التوصيل، والموصلات في الألواح الشمسية بعد 25 عامًا. [Yang19]
شدة الضرر	1 2	2	2 3 4 e
أمثلة 9-7			
	يظهر التآكل على شكل تغير في اللون إلى الأحمر أو الأخضر أو الأسود في وصلات السلسلة الكهربائية. [19Yang]	تآكل في قضبان التوصيل وتقشر المواد عند الحواف. [بتصرف من SUPSI PVLab]	انفصال في زجاج/زجاج في طبقات اللوح يليها تآكل. [17Köntges]
شدة الضرر	2 3 4 5 e e	3 4 5 e	3 4 5 e e

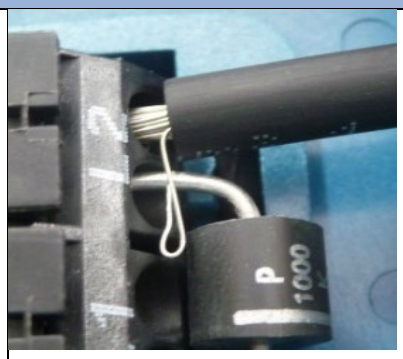
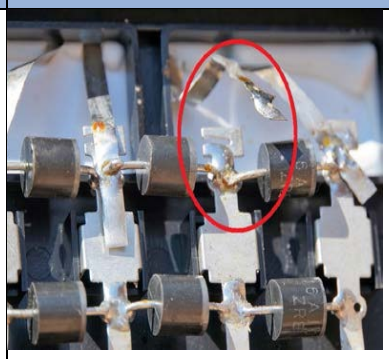
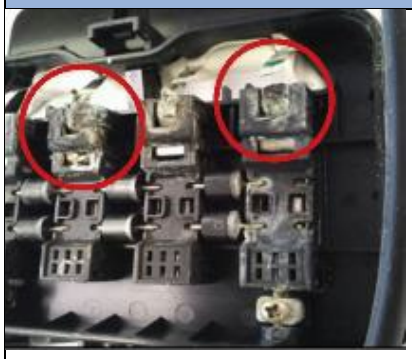
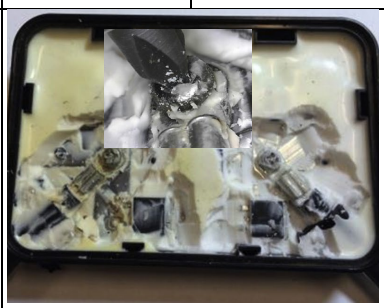
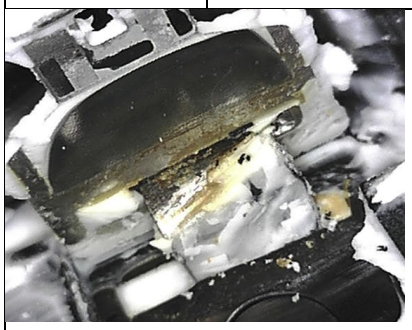
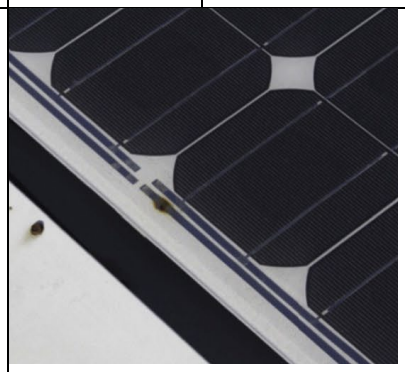
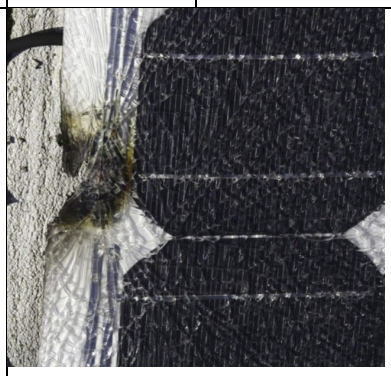
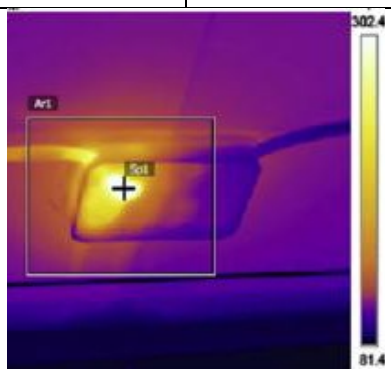
<table>
<tr><td>المكون
العيب</td><td colspan="3">اللوح الكهروضوئي
تآكل الزجاج أو كشطه</td><td>PVFS 1-12vs.01</td></tr>
<tr><td>المظهر الخارجي</td><td colspan="4">يصبح تآكل الطبقة الزجاجية الأمامية مرئيًا من خلال تغير متجانس أو غير متجانس في اللون والشفافية. قد يبدو السطح الزجاجي المعطوب ضبابيًا أو حليبي اللون، وفي بعض الحالات أكثر خشونة مقارنة بالمنطقة غير المعطوبة في اللوح. كما يمكن ملاحظة زيادة في القابلية لتراكم الأوساخ.</td></tr>
<tr><td>آلية الكشف</td><td colspan="4">الفحص البصري (VI)، (التصوير باللمعان الكهربائي (EL)، منحنى الجهد التيار (IV))</td></tr>
<tr><td>سبب العطل</td><td colspan="4">لتحقيق أقصى كفاءة وتحسين مظهر الألواح الشمسية، يقوم معظم مصنعي الألواح بتطبيق طبقات طلاء مضادة للانعكاس (ARC)، أو مضادة للاتساخ (ASC)، أو أغلفة متعددة على السطح الأمامي للوح الشمسي. تساعد هذه التقنيات في زيادة إنتاج الطاقة بنسبة 1-3% مقارنة بالألواح ذات الزجاج غير المطلي. إلا أن تآكل هذه الطبقات يمكن أن يقلل من فعاليتها أو يلغيها تمامًا. ينتج تآكل الزجاج بسبب الرطوبة الجوية بجانب الغازات أو الجسيمات العالقة في الهواء، مثل الملوثات، والأملاح، والأمونيا، مما يؤدي إلى تفاعل كيميائي مع الزجاج. على سبيل المثال، يمكن للماء (الندى) إذابة بعض أيونات الصوديوم من سطح الزجاج الجيري (الصودا)، مما يؤدي إلى تكوين قاعدة قلوية تسبب تآكل طبقة السيليكات الزجاجية. كما يمكن أن يحدث التآكل بسبب تقنيات التنظيف غير المناسبة، مثل: استخدام ضغط ميكانيكي مفرط أثناء التنظيف أو استخدام مواد تنظيف غير ملائمة) والتي تضر أو تزيل الطلاءات الواقية. يحدث التآكل بشكل رئيسي في المناطق الصحراوية نتيجة وجود الرياح والرمال والغبار، مما يؤدي إلى خدش سطح الزجاج وفقدان شفافيته تدريجيًا. بالإضافة إلى ذلك، فإن الأشعة فوق البنفسجية (UV) أو تراجع الجهد الكهربائي يمكن أن يسرّع من تلف الطبقات الواقية.
الإنتاج ☐ التركيب ☐ التشغيل ☐</td></tr>
<tr><td>التأثير الناتج</td><td colspan="4">يتسبب تآكل أو كشط الطبقة الأمامية الزجاجية للوح في تقليل نفاذية الضوء، مما يؤدي إلى فاقد في إنتاج الطاقة. وعادةً ما تكون هذه الخسائر محدودة لبضع من مئة وتصل إلى مستوى مستقر بمرور الوقت، إلا في الحالات التي تزيد فيها قابلية الإتساخ بشكل ملحوظ، مما قد يؤدي إلى خسائر أكبر. يمكن أن تتأثر تكاليف التشغيل والصيانة (O&M) نتيجة لذلك.
السلامة ⬢ الأداء: 2 3 4</td></tr>
<tr><td>الحد من الضرر</td><td>الإجراءات التصحيحية</td><td>الإجراءات الوقائية (موصى بها)</td><td>الإجراءات الوقائية (اختيارية)</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. وذلك بناءً على مستوى تراجع الأداء. في البيئات القاسية (مثل المناطق القريبة من المناجم أو مصانع الأسمنت)، يجب تقييم الجدوى الاقتصادية لاستبدال الألواح التي تعاني من تراجع كبير في الإنتاجية.</td><td>التحقق من صحة شهادة IEC61215 وقائمة مواد التصنيع.</td><td>فحص النظام بشكل دوري</td><td></td></tr>
</table>

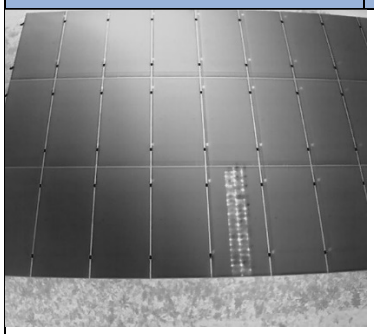
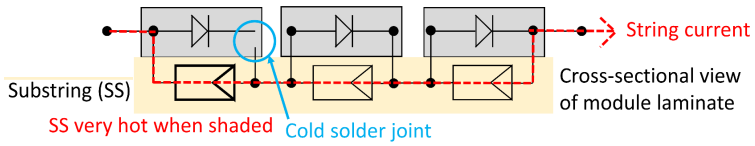
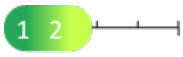
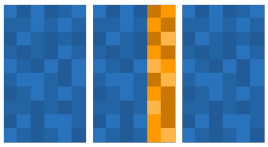
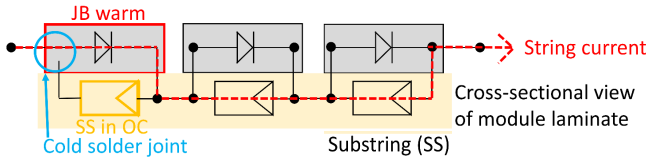
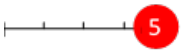
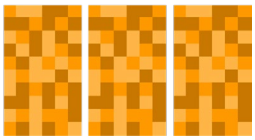
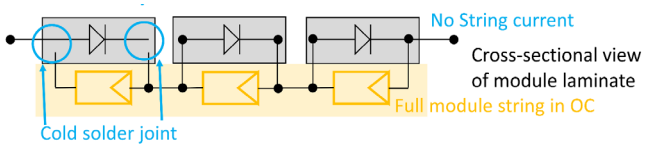
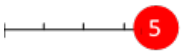
PVFS 1-12vs.01	أمثلة (الصفحة الأولى)	
	زجاج ضبابي نتيجة تآكل الزجاج القريب من الإطار [India18].	صورة مكبرة للوح شمسي بزجاج ضبابي (تغير لون غير متجانس) نتيجة تآكل السطح [Petter11].
	2	2 3
أمثلة 3-1		صورة مكبرة للوح شمسي بزجاج ضبابي (تغير لون متجانس) نتيجة تآكل السطح [India13]
شدة الضرر		2
		
	زجاج متآكل [Köntges16].	تآكل الزجاج في الوجه الأمامي للوح شمسي أحادي البلورة المصنع بتقنية التوصيل الخلفي بعد اختبار الرطوبة والحرارة (90/90) [Walsh20]
	3 4	3
أمثلة 5-4		
شدة الضرر		

المكون العيب	**اللوح الكهروضوئي** **انفصال صندوق التجميع أو به علة**	**PVFS 1-13vs.01**
المظهر الخارجي	يبدو هيكل صندوق التجميع وغطاؤه معطوباً (متآكل، هش، متشقق، ملتوٍ، منصهر، محترق) و\أو منفصلًا (غطاء مفتوح أو مفكوك، صندوق التجميع متحرك أو منفصل عن الطبقة الخلفية). كما قد تكون المادة اللاصقة أو السدادة التي تثبت صندوق التجميع بالغطاء الخلفي قد تعرضت للتلف أو الاصفرار. قد تكون مكونات\مواد مانع التسرب المحيطة بمدخل الأسلاك أو الغطاء تالفة (مضغوطة، مكسورة، هشة) أو تالفة تمامًا.		
ألية الكشف	الفحص البصري (VI)		
سبب العطل	ينفصل صندوق التجميع نتيجة التثبيت غير الجيد أو استخدام مواد لاصقة منخفضة الجودة. إذ تم استخدام أشرطة الأكريليك أو رغوة البولي إيثيلين (PE Foam) في السنوات الأولى كمادة تثبيت لصناديق التجميع، لكنها غالبًا ما تفقد خاصية الالتصاق في درجات الحرارة المنخفضة مما يؤدي إلى انفصالها. كما أن استخدام صندوق التجميع مع تصنيف حماية قد يسمح بتسرب الماء مما يؤدي إلى فشل النظام. ويمكن أن يكون الصندوق المفتوح أو غير المغلق بإحكام نتيجة عيوب في عملية التصنيع أو زيادة الضغط الداخلي بسبب درجات الحرارة العالية في الصناديق التي لا تحتوي على منفذ تهوية. كما أن انفصال الطبقات بالقرب من صندوق التجميع قد يجعله غير ثابت. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤدي المناولة غير الصحيحة أو التثبيت السيئ إلى تلف صندوق التجميع، مثل سحب الألواح من الكابلات قبل تثبيتها، أو عدم تثبيت الكابلات بشكل صحيح، أو استخدام كابلات قصيرة جدًا لتوصيل الألواح بالسلاسل، مما يسبب إجهادًا ميكانيكيًا متكررًا أو دائمًا على صناديق التجميع.		
	الإنتاج ☐	التركيب ☐	التشغيل ☐
التأثير الناتج	إن وجود صندوق تجميع معيب أو منفصل يؤدي إلى تسرب الرطوبة والتسبب في تآكل الوصلات الداخلية، مما يؤدي إلى انخفاض الأداء وزيادة خطر حدوث قوس كهربائي قد يتسبب في نشوب حريق. بالإضافة إلى ذلك، فإن صندوق التجميع غير المثبت بإحكام يسبب إجهادًا ميكانيكيًا على الوصلات الداخلية، مما قد يؤدي إلى كسرها وتعريض الأشخاص لمكونات كهربائية نشطة.		
	السلامة: e f e f	الأداء:	1 2 3 4 5
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. وإجراء فحوصات دورية لمراقبة حالة الألواح غير المستبدلة.	التحقق من صلاحية شهادة IEC61215 وقائمة المواد المستخدمة. استخدام أجهزة كشف أعطال التأريض مثل العاكس أو أجهزة أخرى بشكل مستمر.	إجراء عمليات فحص دورية للنظام الشمسي. تركيب أدوات كشف القوس الكهربائي لتعزيز السلامة.

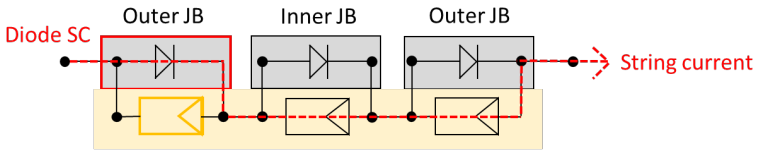
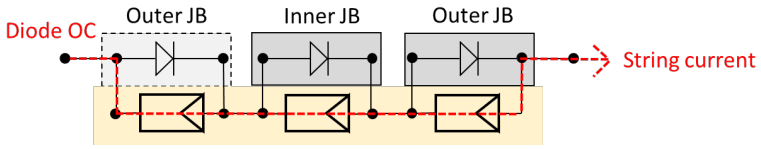
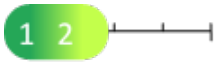
أمثلة (الصفحة الأولى)				PVFS 1-13vs.01	
أمثلة 3-1					
	صندوق تجميع مركب بشكل خاطئ على الوجه الخلفي للوح [Köntges14].	صندوق تجميع مفتوح في الموقع [Yang19].	صندوق تجميع منفصل عن الوجه الخلفي للوح [بتصرف من SUPSI PVLab].		
شدة الضرر	e f 1	e f 1 2 3 4 5	e f 1 2 3 4 5		
أمثلة 5-4					
	على اليسار: غطاء صندوق التجميع مفقود مع تآكل نقاط التلامس. على اليمين: غطاء صندوق التجميع سليم [India13].		فقدان السدادة أو مخفف الإجهاد لكابلات اللوح، ومدخل كابل غير مناسب [Sinclair17].		
شدة الضرر	e f 1 2 3 4 5		e f 1 2 3 4 5		
أمثلة 7-6					
	صندوق تجميع منصهر [بتصرف من TÜV Rheinland]		صندوق تجميع محترق بسبب تآكل الموصلات داخل الصندوق [بتصرف من TÜV Rheinland].		
شدة الضرر	e f 5		e f 5		

المكون العيب	**اللوح الكهروضوئي** **خطأ في توصيلات صندوق التجميع الداخلية**	**PVFS 1-14vs.02**
المظهر الخارجي	أجزاء داخل صندوق التجميع غير متصلة، أو مكسورة، أو محترقة، أو متآكلة، أو ذات دائرة قصر. يمكن أن يشمل ذلك وصلات اللحام، أو الأسلاك، أو الوصلات ثنائية الالتفاف، أو أشرطة التوصيل. قد يكون فشل التوصيل البيني نفسه مخفيًا بواسطة مادة التغليف داخل صندوق التجميع، ولا يظهر إلا بإزالة مادة التغليف. قد تظهر المادة التالفة (مصفرة، أو بنية، أو محترقة، أو منتفخة) بسبب الحرارة أو القوس الكهربائي الذي يحدث في صندوق التجميع.		
ألية الكشف	اختبار دايود العبور (BYT)، (التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT)، التصوير باللمعان الكهربائي (EL)، الفحص البصري (VI)، قياس التيار الجهد (IV)، جهد الدائرة المفتوحة (Voc))		
سبب العطل	يمكن أن تنتج التوصيلات الرديئة في صندوق التجميع عن وصلات لحام باردة، أو تغيرات في التوصيلات ناتجة عن الإجهاد الحراري الميكانيكي، أو التجميع الخاطئ، أو تسرب الرطوبة. تكون التوصيلات إما ملحومة، أو مثبتة بمسامير، أو مُدخلة (تثبيت ميكانيكي بنابض). تنتج وصلات اللحام الرديئة عن انخفاض درجة حرارة اللحام (وصلة لحام باردة) أو بقايا كيميائية من عملية الإنتاج السابقة على وصلات اللحام. تنتج التوصيلات الميكانيكية الرديئة عن التثبيت أو المسامير المفكوكة. يمكن أن تصبح التوصيلات الميكانيكية مفككة بسبب الدورات الحرارية لليل والنهار والتغيرات الموسمية. يؤدي تسرب الرطوبة في صناديق التجميع الرديئة أو التالفة (مثل فقدان الالتصاق، أو التقصف، أو التشقق، أو تضرر الختم عند مدخل الأسلاك أو غلاف صندوق التوصيل) إلى تآكل التوصيلات. يمكن أن يتسبب الانفصال بالقرب من صندوق التجميع في ارتخائه، مما يضع إجهادًا ميكانيكيًا على التوصيلات داخل صندوق التجميع ويكسرها.		
	الإنتاج ■	التركيب ☐	التشغيل ■
التأثير الناتج	بناء على موقع التلامس الرديء وطبيعته (مقاوم، دارة مفتوحة، دارة قصر أو قوس كهربائي)، يمكن أن يختلف تأثيره على السلامة والأداء بشكل كبير. يمكن أن تؤدي حرارة المقاومة أيضًا إلى تغير اللون وإلى علامات احتراق في مادة التغليف/الغطاء الخلفي خلف وحول صندوق التجميع وإلى تكسر الزجاج. تتسبب أعطال الوصلات البينية في حدوث دارة قصر أو قوس كهربائي داخلي داخل صندوق التجميع في أسوأ الأحوال. يمكن اكتشاف الحرارة باستخدام كاميرا الأشعة تحت الحمراء (بقعه ساخنة). علاوة على ذلك، يمكن أن يؤدي فشل الاتصال إلى تأثيرات مماثلة على اللوح الشمسي مثل عطل دايود في حال فقد الاتصال بدايود العبور (حماية دايود العبور مفقودة\غير كافية). بالإضافة إلى العيوب المرئية، يمكن أن تؤدي أعطال الوصلات البينية أيضًا إلى فقدان كبير للطاقة أو فقدان مقاومة الظل، وكلاهما يمكن اكتشافه بواسطة اختبار (BYT) للألواح أو السلاسل. يمكن أن يتأثر القياس بتغير الظروف الميكانيكية أو الحرارية. أعطال الوصلات البينية خطيرة بشكل خاص لأن القوس الكهربائي يمكن أن يشعل حريقًا.		
	السلامة	الأداء:	
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. خاصةً إذا كانت الألواح مثبتة على المباني. يجب إجراء عمليات فحص دورية لمراقبة حالة الألواح التي لم يتم استبدالها.	طلب إثبات لاختبار وظائف دايود العبور وفقا IEC 61730-2:2023 Annex (A5 a) or b أثناء الإنتاج. مقارنة جهد الدارة المفتوحة للسلاسل المتوازية عند تشغيل النظام، باستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء أو جهاز اختبار (BYT).	اختبار الصمامات ثنائية الالتفاف للألواح باستخدام مركز اختبار متنقل قبل التركيب. إجراء عمليات فحص دورية باستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء. تركيب أداة الكشف عن القوس الكهربائي.

أمثلة (الصفحة الأولى)				PVFS 1-14vs.02	
أمثلة 3-1					
	صندوق تجميع بأسلاك رديئة [Köntges14].		شريط تجميع منفصل بسبب لحام سيء [Köntges14]		حدوث التآكل بسبب تشبع صندوق التجميع ذو تصنيف الحماية (IP65) بالماء [Yang19].
شدة الضرر	f	5	f	5	f	2 3 4 5
أمثلة 6-4					
	تلف صندوق التجميع بسبب ضعف التوصيل الكهربائي [Yang19].		توضيح على انفصال التوصيلات داخل صندوق التجميع مع تحول لون المُعالج إلى اللون البني [Yang19].		توصيل شريط في طرف لوحة التوصيل في صندوق التجميع قد تم بشكل غير صحيح وتحول طفيف إلى اللون البني في مادة التغليف بسبب الحرارة أو إجهاد في تلك المنطقة.
شدة الضرر	m e f	3 4 5	f	2 3 4 5	f	2 3 4 5
أمثلة 9-7					
	ارتفاع درجة الحرارة بسبب ضعف التوصيل البيني لصندوق التجميع يؤدي إلى تغير لون طفيف وعلامة حرق على الجانبين الأمامي والخلفي [19Yang].		ارتفاع درجة الحرارة بسبب التوصيل البيني الرديء لصندوق التجميع يؤدي لترك علامة حرق وكسر في الزجاج [19Yang].		تصوير حراري بالأشعة تحت الحمراء لبقعة ساخنة في صندوق التجميع بسبب توصيل كهربائي غير محكم بالداخل [19Yang].
شدة الضرر	m e f	3 4 5	m e f	3 4 5	m e f	3 4 5

PVFS 1-14vs.02	أمثلة (الصفحة الثانية)	
		أمثلة 10
يمكن أن يؤدي وصل اللحام البارد بعد الصمام الثنائي (الدايود) في أي صندوق تجميع (خارجي أو داخلي) [Köntges25] إلى خلل في السلامة لا يمكن اكتشافه بواسطة التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء. يمكن رؤية أن وصلة دايود العبور غير المتصلة باستخدام فحص اللمعان الكهربائي الليلي أثناء تطبيق جهد عكسي على السلسلة و3%-5% من تيار دارة القصر المقنن [بتصرف من Ternus & Diehl GbR]		
		شدة الضرر
		أمثلة 11
تتسبب وصلة لحام باردة قبل دايود العبور في صندوق التجميع الخارجي في فقدان ثلث الطاقة ويمكن اكتشافها باستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء ولكن إذا تلف صندوق التجميع الداخلي، فإنه لا يتسبب في تشغيل السلسلة الفرعية للوح في حالة الدارة المفتوحة [Köntges25]		
		شدة الضرر
		أمثلة 12
تتسبب وصلة لحام باردة قبل وبعد دايود العبور في صندوق التجميع الخارجي إلى فقدان كامل للسلسلة، ويمكن اكتشاف ذلك باستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء، لا يمكن تحديد موقع اللوح في هذه الحالة. إذا تأثر صندوق التجميع الداخلي، فيستمر اللوح في العمل كما لو كانت سليمة [Köntges25].		
		شدة الضرر

<table>
<tr><td>المكون
العيب</td><td colspan="3">اللوح الكهروضوئي
فقدان أو قصور في حماية دايود العبور</td><td>PVFS 1-15vs.02</td></tr>
<tr><td>المظهر الخارجي</td><td colspan="4">دايود العبور مفقود، أو غير متصل، أو مقلوب، أو تالف أو به دارة مفتوحة أو دارة قصر.</td></tr>
<tr><td>ألية الكشف</td><td colspan="4">اختبار دايود العبور (BYT)، قياس جهد الدارة المفتوحة (Voc)، التصوير باللمعان الكهربائي (EL)، التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT)، الفحص البصري (VI).</td></tr>
<tr><td>سبب العطل</td><td colspan="4">تتلف دايودات العبور إما بسبب عدم ملاءمة حجمها أو تعرضها لجهود عالية نتيجة لصواعق البرق أو مسببات الجهد العالي الأخرى. بالإضافة إلى هذين السببين، فإن لديودات العبور معدل فشل معين كقطعة بالمليون (ppm)، وهذ هي طبيعته. بالنسبة لديودات العبور التي تعمل باستمرار في درجات حرارة عالية، يزداد معدل الفشل هذا. يمكن أن يكون هذا هو الحال إذا كان التظليل الجزئي موجودًا بشكل متكرر. عادةً ما يتم استخدام دايودات Schottky كدايودات عبور في الألواح الشمسية، ولكنها حساسة جدًا لتفريغ الجهد العالي الساكن والإجهاد الميكانيكي. يتم ملاحظة نمطين رئيسيين لتلف دايودات العبور: الدارة المفتوحة أو دارة القصر. تحدث دارة القصر عندما يتم تقصير دايود العبور فعليًا في صندوق التجميع، أو يتم تركيبه بشكل خاطئ، أو عندما يتعرض لجهود عالية مثل صواعق البرق أو الكهرباء الساكنة. تحدث الدارة المفتوحة عندما يكون الدايود ببساطة مفقود، أو غير متصل بشكل صحيح، أو قد تعرض للتلف بسبب تيار عالي، أو يكون حجمه غير مناسب ولا يقاوم تدفق التيار المستمر. يتم الإبلاغ عن حالات دارة القصر على أنها أكثر تكرارًا من حالات الدارة المفتوحة. وحالات فشل الدارة المفتوحة لا يتم اكتشافها عادةً.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">التأثير الناتج</td><td>الإنتاج ■</td><td>التركيب ☐</td><td colspan="2">التشغيل ■</td></tr>
<tr><td colspan="4">تُستخدم دايودات العبور لتجنب التحيز العكسي للخلايا الشمسية الفردية بما يتجاوز جهد التحيز العكسي المسموح به للخلايا الشمسية، ولتقليل فقد الطاقة الناجم عن التظليل الجزئي للوح الشمسي. في حالة وجود دارة مفتوحة للدايود فإنه لا يتدفق التيار عبرها، ويمكن أن تتعرض الخلية لجهد عكسي أعلى من المصمم لها، مما قد يؤدي إلى ظهور بقع ساخنة والتي من الممكن أن تتسبب ظهور علامات بنية أو علامات احتراق، أو في أسوأ الحالات، نشوب حريق. يصعب اكتشاف هذا العطل حتى يتعرض اللوح لهذه المخاطر. أما دارة القصر في دايود العبور فستخفض الجهد باستمرار، وبالتالي إنتاج الطاقة للوح سيقل. تؤدي دارة القصر في اللوح إلى تسخين غير متجانس للخلايا الفردية أثناء التشغيل. كما أنها تسبب حدوث خسائر غير متطابقة في حالة السلاسل المتوازية. تتسبب أعطال دايودات العبور أحيانًا في تشوه صندوق التجميع أو حتى احتراقه بسبب الحرارة المبددة في صندوق التجميع. عندما يحترق صندوق التجميع أو الوجه الخلفي للوح، قد تتبع ذلك مشكلات تتعلق بالسلامة مثل تيار التسرب.</td></tr>
<tr><td>السلامة </td><td>الأداء: </td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>الحد من الضرر</td><td>الإجراءات التصحيحية</td><td>الإجراءات الوقائية (موصى بها)</td><td colspan="2">الإجراءات الوقائية (اختيارية)</td></tr>
<tr><td></td><td>يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. خاصةً إذا كانت الألواح مثبتة على المباني. يجب إجراء عمليات فحص دورية لمراقبة حالة الألواح التي لم يتم استبدالها.</td><td>طلب إثبات لاختبار لمعيار 61730-2:2023 (Annex A5 a) أو اختبار وظيفة دايود العبور في مرحلة التصنيع. فحص النظام باستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء أو جهاز اختبار انحياز ثنائي القطب. قارن جهد الدارة المفتوحة للسلاسل المتوازية.</td><td colspan="2">اختبار دايودات العبور في اللوح باستخدام مركز اختبار متنقل قبل التركيب. عمليات تفتيش منتظمة بالتصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء. تركيب أداة الكشف عن القوس الكهربائي.</td></tr>
</table>

PVFS 1-15vs.02	أمثلة (الصفحة الثانية)	
مثال 1		
	تؤدي دائرة القصر في الصمام ثنائي الالتفاف إلى فقدان ثلث الطاقة ويمكن اكتشافها باستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء [Köntges25].	
شدة الضرر		
مثال 2		
	تؤدي الدائرة المفتوحة في الصمام ثنائي الالتفاف إلى عطل أمان ولا يمكن الكشف عنه باستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء [Köntges25].	
شدة الضرر		

المكون العيب	**اللوح الكهروضوئي** **لا يحقق معدل الاستطاعة المحدد له**	**PVFS 1-16vs.01**
المظهر الخارجي	يكون خرج الطاقة عند ظروف الاختبار المعيارية (STC) للوح الجديد أقل من حد التفاوت المحدد، أو أن الحد الأدنى لخرج الطاقة الاسمية غير محدد بوضوح من قبل الشركة المصنعة.	
آلية الكشف	قياس التيار الجهد IV، (مراقبة البيانات (MON))	
سبب العطل	يعود السبب في اختلاف قيمة الطاقة المقاسة للوح الواحد عن الطاقة المحددة على ورقة بيانات للوح إلى تباين المنتج وجودة التصنيع وسياسة وضع العلامات وعدم الدقة في القياس. تؤثر جودة الخلايا (مثل قابلية التقادم المحفز بالضوء (LID)) جنبًا إلى جنب مع طريقة التجميع المطبقة في الإنتاج لتقليل خسائر عدم التطابق، تأثيرًا كبيرًا على تباين المنتج. تنشأ الاختلافات في القياس في المصنع من المصادر غير الدقيقة المتعددة، على سبيل المثال درجة حرارة البيئة ودرجة حرارة اللوح المقاسة ومعايرة محاكاة الطاقة الشمسية وصيانة اللوح المرجعية، ومعدات القياس، والموصلات، والكابلات. وفقًا للمعايير الدولية، يجب أن يأخذ معدل الاستطاعة في الاعتبار أي تأثيرات تدهور أولية مرتبطة بالتقنيات (بالنسبة لخلايا السيليكون، انظر FS 1-17). هذا يعني أنه بعد التعرض الأول للضوء، يجب أن تظل الاستطاعة الناتجة للوح الجديد ضمن حدود الاستطاعة المقدرة. يجب أخذ عدم الدقة في القياس الخاص بمختبر الاختبار الذي يجري اختبار أداء الظروف المعيارية في الاعتبار. يجب تثبيت الألواح وفقًا للإجراء الموضح في IEC61215-2:2021. يتم وصف متطلبات الاختبار الخاصة بالتقنيات في IEC61215-1-1:2021 إلى IEC61215-1-4:2021. اعتمادًا على التقنية، يتم تحديد حد أقصى مسموح به لعدم الدقة في القياس للتحقق من معدلات الاستطاعة ويتم تحديده بنسبة 3%. يعتبر اللوح الشمسي متوافق مع معيار IEC61215، عندما يتم استيفاء المعيار التالي (البوابة 1) $$P_{max}(Lab) \cdot \left(1 + \frac{\frac{1.65}{2}|m_1|[\%]}{100}\right) \geq P_{max}(NP) \cdot \left(1 - \frac{|t_1|[\%]}{100}\right)$$ $P_{max}(Lab)$: أقصى استطاعة مقاسة عند ظروف الاختبار المعيارية لكل لوح في حالة الاستقرار. $P_{max}(NP)$: الحد الأدنى للاستطاعة الاسمية المُصنَّفة لكل لوح بدون هوامش الخطأ التصنيعية المقدرة. m_1: عدم الدقة في القياس بنسبة مئوية للاستطاعة العظمى المقاسة مخبرياً (عدم الدقة المشتركة الموسعة (k=2)). t_1: الحد الأدنى للتسامح المسموح به كنسبة مئوية من الاستطاعة العظمى المحددة من قبل المصنع. يجب أخذ الحد الأدنى لمعدل الاستطاعة الاسمية، $P_{max}(NP)$، والسماحية t_1 من قيم اللوحة الاسمية أو ورقة البيانات. إذا كان $P_{max}(Lab)$ المأخوذة من ورقة البيانات مختلفة عن قيمة اللوحة الاسمية، فيمكن اعتبار اللوح غير مطابق. إذا لم يتم ذكر السماحية على اللوحة الاسمية أو ورقة البيانات، فإن t_1=0. إذا لم يتم تقليل السماحية إلى قيمة واحدة على اللوحة الاسمية أو ورقة البيانات (على سبيل المثال، إذا تم تحديد تفاوت المكونات أو عدة قياسات غير دقيقة، فيجب استخدام أصغر رقم).		
	الإنتاج ☐	التركيب ☐	التشغيل ☐
التأثير الناتج	عدم تطابق الاستطاعة المقدرة للوح عند ظروف الاختبار المعيارية ليس عطلاً حقيقيًا للوح، لأنه لا يسبب تقادماً أو مشكلة في السلامة، ولكنه يؤثر سلبًا على إنتاجية الطاقة على مدار العمر الافتراضي وعلى العائد المالي. يؤثر التقدير غير الدقيق لقدرة اللوح المثبت تحت ظروف الاختبار القياسية بشكل مباشر على توقعات إنتاج الطاقة وتوقعات المستثمرين		
	السلامة		الأداء: 1 2 3
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	أثبت ضعف الأداء من خلال مختبر معتمد لاختبارات الطاقة الشمسية. قدّم مطالبة بتعويض عن خسائر الطاقة.	تحقق من ضمانات الطاقة ومطابقة بياناتها، واشترِ الألواح من مصنّعين موثوقين.	إجراء اختبارات مستقلة من قبل طرف ثالث على عينات من المواد أو المنتجات، إما عند خروجها من المصنع أو عند وصولها إلى الموقع (أو كليهما). توقيع اتفاقيات تعاقدية للأطراف المعنية.

PVFS 1-16vs.01	أمثلة (الصفحة الأولى)	
		مثال 1

Product Z300W

Maximum power (P_{max})	300 W ±3 %
Maximum power voltage (V_{mp})	37 V
Maximum power current (I_{mp})	8,1 A
Open circuit voltage[a] (V_{oc})	45,9 V
Short circuit current[a] (I_{sc})	8,9 A
Maximum DC system voltage	1 000 V

[a] +5 % / –0 % tolerance

Product Z series
Electrical Data at STC

Peak power watts ±3 % - P_{max} (W)	300	305	310
Maximum power voltage - V_{mp} (V)	37	37,2	37,5
Maximum power current (I_{mp}) (A)	8,1	8,2	8,27
Open circuit voltage[a] - V_{oc} (V)	45,9	45,9	45,9
Short circuit current[a] - I_{sc} (A)	8,9	8,92	8,98
Module efficiency - η_m (%)	14	14,2	14,4

[a] ±5 % / –0 % tolerance on I_{sc} and V_{oc}

أ)

P_{max} (NP) = 300 W; t_1 = 3 %
V_{oc} (NP) = 45,9 V; t_2 = 5 %
I_{sc} (NP) = 8,9 A; t_3 = 5 %

Product X300W

Maximum power (P_{max})	296 to 300 W
Maximum power voltage (V_{mp})	37 V
Maximum power current (I_{mp})	8,1 A
Open circuit voltage[a] (V_{oc})	45,9 V
Short circuit current[a] (I_{sc})	8,9 A
Maximum DC system voltage	1 000 V

[a] ±4 % production tolerance

Product X series
Electrical Data at STC

Peak power watts[a] - P_{max} (W)	296 to 300	301 to 305	306 to 310
Maximum power voltage - V_{mp} (V)	37	37,2	37,5
Maximum power current (I_{mp}) (A)	8,1	8,2	8,27
Open circuit voltage[a] - V_{oc} (V)	45,9	45,9	45,9
Short circuit current[a] - I_{sc} (A)	8,9	8,92	8,98
Module efficiency - η_m (%)	14	14,2	14,4

[a] ±4 % production tolerance

بـ)

P_{max} (NP) = 296 W; t_1 = 0 %
V_{oc} (NP) = 45,9 V; t_2 = 4 %
I_{sc} (NP) = 8,9 A; t_3 = 4 %

If t_1 is not specified, it is taken to be 0.

Product Y300W

Maximum power (P_{max})	300 W ±3 % / -0
Maximum power voltage (V_{mp})	37 V
Maximum power current (I_{mp})	8,1 A
Open circuit voltage [a,b] (V_{oc})	45,9 V
Short circuit current [a,b] (I_{sc})	8,9 A
Maximum DC system voltage	1 000 V

[a] ±2 % measurement uncertainty
[b] ±10 % tolerance on I_{sc} and V_{oc}

Product Y series
Electrical Data at STC

Peak power watts - P_{max} (W)	300	305	310
Power output tolerance (%)	-0 / +3	-0 / +3	-0 / +3
Maximum power voltage - V_{mp} (V)	37	37,2	37,5
Maximum power current (I_{mp}) (A)	8,1	8,2	8,27
Open circuit voltage [a, b] - V_{oc} (V)	45,9	45,9	45,9
Short circuit current [a, b] - I_{sc} (A)	8,9	8,92	8,98
Module efficiency - η_m (%)	14	14,2	14,4

[a] ±2 % measurement uncertainty
[b] ±10 % tolerance on I_{sc} and V_{oc}

ثـ)

P_{max} (NP) = 300 W; t_1 = 0 %
V_{oc} (NP) = 45,9 V; t_2 = 2 %
I_{sc} (NP) = 8,9 A; t_3 = 2 %

t_2 is not reduced to a single value. Thus, the smaller value is chosen. The same situation exists for t_3.

Product T300W

Maximum power (P_{max}) Power selection (±5 W)	300 W
Maximum power voltage (V_{mp})	37 V
Maximum power current (I_{mp})	8,1 A
Open circuit voltage (V_{oc})	45,9 V
Short circuit current (I_{sc})	8,9 A
Maximum DC system voltage	1 000 V

±3 % tolerance on P_{max}, I_{sc}, V_{oc}

Product T series
Electrical Data at STC

Peak power watts[a] - P_{max} (W)	300	310
Maximum power voltage - V_{mp} (V)	37	37,5
Maximum power current (I_{mp}) (A)	8,1	8,27
Open circuit voltage[a] - V_{oc} (V)	45,9	45,9
Short circuit current[a] - I_{sc} (A)	8,9	8,98
Module efficiency - η_m (%)	14	14,4

[a] ±3 % tolerance on P_{max}, I_{sc}, V_{oc}

جـ)

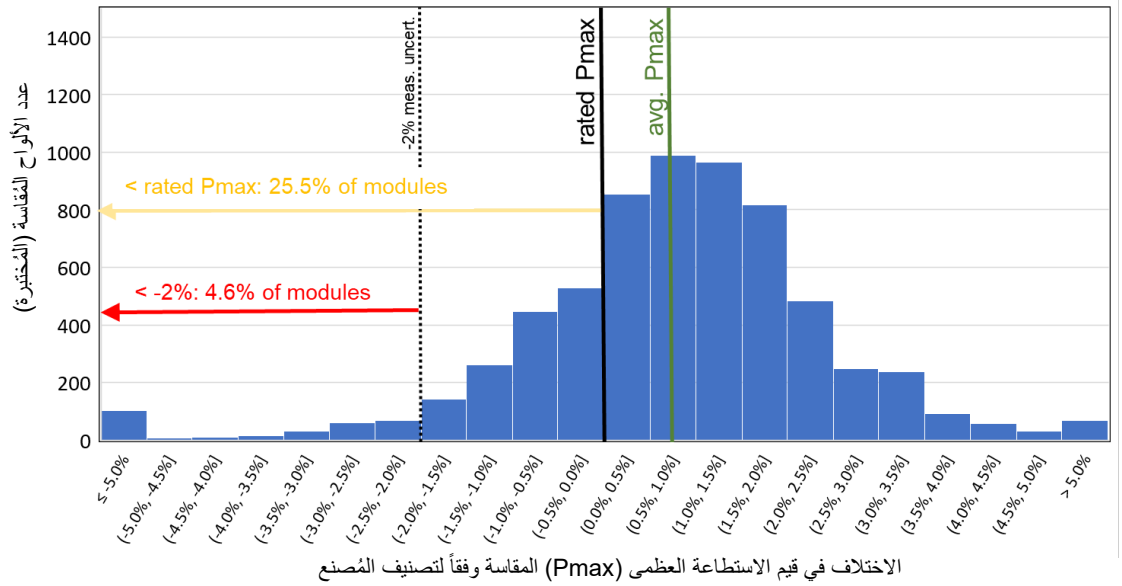
Fails to meet requirements of IEC 61215-1 5.2.2. Lower edge of power bin is 295 W on nameplate, but is 300 W on datasheet.

مثال على لوحة بيانات وملصق اسم افتراضي (a-c) متوافق، مع القيم المدرجة والتفاوتات المشتقة من المواصفة القياسية IEC61215-2021:1 على اليمين، مقارنة بمثال افتراضي لمعدل قدرة غير متوافق تحت ظروف الاختبار القياسية (STC) (د) [IEC61215-2021:1].

شدة الضرر		غير محدد (NA)

PVFS 1-16vs.01	أمثلة (الصفحة الثانية)

مثال 2



أجرت شركة Eternalsun تحليلًا إحصائيًا لحوالي 6500 لوح جديد، من 96 نوعًا مختلفًا من الألواح، ومن 29 مصنعًا مختلفًا [Herrmann21]. ووفقاً إلى هامش عدم الدقة في القياس البالغ ±2٪، تبين أن 4.6٪ من هذه الألواح تقع تحت الحد الأدنى للبوابة 1 المحدد وفقًا لمعيار [IEC 61215-1:2021].

ملاحظة: في حال كان هامش عدم الدقة في القياس ±5٪، فلن يفشل أي لوح في الاختبار، لكنها لن تكون متوافقة مع معيار IEC 61215 الذي يحدد الحد الأقصى لهامش عدم الدقة في القياس لألواح السيليكون البلوري (c-Si) عند ±3%.

شدة الضرر		

المكون العيب	**اللوح الكهروضوئي** **التقادم المحفز بالضوء (LID/LeTID) في ألواح السيلكون شبه الموصلة**	**PVFS 1-17vs.02**

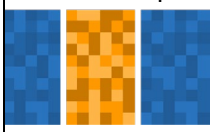
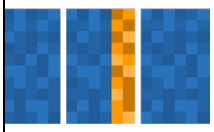
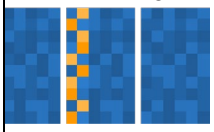
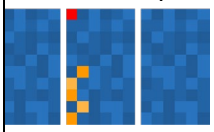
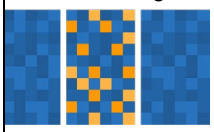
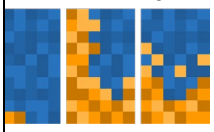
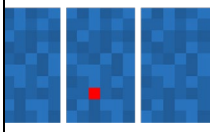
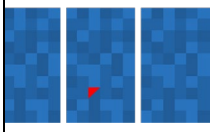
المظهر الخارجي	يُعرف التقادم المحفز بالضوء في الألواح المصنوعة من السيليكون البلوري بشكل رئيسي من خلال انخفاض في القدرة المنتجة عند ظروف الاختبار المعيارية بالإضافة إلى انخفاض في تيار دارة القصر وجهد الدائرة المفتوحة خلال الفترة الأولى من عمر نظام الطاقة الشمسية. لا يرتبط هذا التقادم بأي عيوب مرئية أو أنماط عيوب أخرى. ولكن قد يشير تزايد عدم التجانس في صور اللمعان الكهربائي (نمط الفسيفساء) في بعض الحالات إلى وجود عملية التقادم مستمرة.			
ألية الكشف	قياس التيار الجهد (IV)، (التصوير باللمعان الكهربائي (EL)، التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT))			
سبب العطل	هناك نوعان معروفان من التقادم المحفز بالضوء: (التقادم المحفز بالضوء LID) و (التقادم المحفز بالضوء والحرارة المرتفعة LeTID). على الرغم من أن كلا النوعين يحدثان على مستوى الخلية الشمسية، إلا أن الآليات الفيزيائية المسببة لهما مختلفة. يرتبط التقادم المحفز بالضوء بتركيز البورون والأكسجين في الخلايا، في حين أن التقادم المحفز بالضوء والحرارة المرتفعة يُعتقد أنه مرتبط بتركيز الهيدروجين في الخلية، إلا أن آليته الدقيقة لا تزال غير مفهومة بالكامل حتى الآن. يؤثر هذان النوعان من التقادم بشكل أساسي على الألواح الشمسية المصنوعة من السيليكون أحادي ومتعدد البلورات المشبع بالبورون من النوع P. أما الألواح التي تعتمد على السيليكون المشبع بالجاليوم، وكذلك التقنيات عالية الكفاءة التي تستخدم رقائق من النوع N، مثل n-type PERC وHJT وn-PERT، فتبدو أقل تأثرًا أو غير متأثرة على الإطلاق بهذين النوعين من التدهور. يحدث التقادم المحفز بالضوء فقط خلال الأيام الأولى من تعرض اللوح للشمس، ويؤدي إلى فاقد في الكفاءة تتراوح بين 1-3%. أما التقادم المحفز بالضوء والحرارة المرتفعة فهو آلية تدهور أكثر خطورة على المدى الطويل. وقد تم اكتشافه لأول مرة عند طرح ألواح PERC في الأسواق. يمكن أن يصل الفقد في الكفاءة بسببه إلى 10%، ويُضاف إلى الفقد في الكفاءة الناتج عن التقادم المحفز بالضوء. يحدث هذا التقادم فقط عند درجات حرارة مرتفعة تتجاوز 50° درجة مئوية، وتعتمد سرعة حدوثه على متوسط درجة حرارة الألواح، مما يجعله مرتبطًا بشكل كبير بموقع التركيب. يستغرق حدوث التدهور فترة زمنية تمتد لعدة سنوات. بمجرد وصول التقادم إلى أقصى حدوده، يمكن أن تبدأ الخلايا في استعادة استطاعتها بشكل تدريجي، إلا أن هذه العملية بطيئة للغاية وتعتمد على الظروف المناخية. في بعض الحالات، قد لا تستعيد الألواح الاستطاعة المفقودة بالكامل طوال العمر الافتراضي المتوقع للألواح، والذي يبلغ عادةً 25 عامًا. توجد بعض الحلول التي تسرّع عملية استعادة الأداء للألواح الحساسة لتأثير التقادم المحفز بالضوء والحرارة، لكنها غالبًا ما تكون مكلفة وغير سهلة التطبيق. خلال السنوات الأخيرة، قام معظم مصنعي الألواح بتعديل عمليات إنتاج الخلايا الشمسية لجعلها أكثر استقرارًا في خط الإنتاج نفسه.			
	الإنتاج ■	التركيب ☐	التشغيل ☐	
التأثير الناتج	يُعد كل من التقادم المحفز بالضوء LID والتقادم المحفز بالضوء والحرارة LeTID ظواهر لا تشكل أي مخاطر تتعلق بالسلامة، لكنها تؤثر سلبًا على إنتاجية الطاقة على مدار عمر الألواح الشمسية والعائد المالي المتوقع. يؤدي التقليل من شأن التقادم الأولي إلى تأثير مباشر على توقعات إنتاج الطاقة وتقديرات المستثمرين. يعد التقادم المحفز بالضوء أقل أهمية بالنسبة للمستثمرين، نظرًا لأنها عادةً ما تكون أقل حدة ويتم أخذها في عين الاعتبار من قبل الشركات المصنعة عند تصنيف الألواح الشمسية وتشملها كفالة السنة الأولى. أما معدل التقادم المحفز بالضوء والحرارة وصعوبة التنبؤ باتجاهه بمرور الوقت، فيشكلان تحديًا أكبر لكل من كفالات الشركات المصنعة وأصحاب الأنظمة الشمسية. يمكن اختبار مدى استجابة الألواح الشمسية تجاه التقادم المحفز بالضوء والحرارة داخل المختبرات المتخصصة.			
	السلامة ⬢		الأداء: 2 3	
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)	
	التحقق من الأداء المنخفض من خلال مختبر معتمد لاختبار الألواح الشمسية. قدّم مطالبة بتعويض عن خسائر الطاقة.	التحقق من كفالات الطاقة والتأكد من استخدام الخلايا المقاومة لتأثير التقادم المحفز بالضوء والحرارة من قبل الشركة المصنعة للألواح.	طلب تقارير الاختبار التي توضح نسبة فاقد الطاقة للحصول على تقديرات واقعية. تحديد اتفاق تعاقدي بشأن نسبة الفقدان المسموح بها. اختبار الألواح الفردية. التحقق من قائمة المواد المستخدمة (نوع الخلايا).	

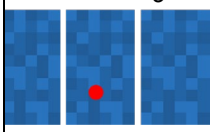
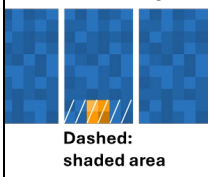
<table>
<tr><td>المكون
العيب</td><td colspan="3">اللوح الكهروضوئي
أعطال العزل</td><td>PVFS 1-18vs.01</td></tr>
<tr><td>المظهر الخارجي</td><td colspan="4">اللوح الذي يعاني من ضعف العزل بين أجزائه الناقلة للتيار والإطار (أو البيئة الخارجية) ولا يمكن اكتشاف هذا العطل بالعين المجردة بشكل مباشر. ولا يمكن تحديد هذا الخلل بشكل قاطع إلا من خلال قياس مقاومة العزل للوح في ظروف جافة (≤40 ميجا أوم/م²) أو في ظروف رطبة/مبللة حيث يكون القياس أكثر دقة. في بعض الحالات، قد يتم الاستدلال على ضعف العزل من خلال وجود عيوب بصرية يمكن أن تؤدي إلى مشكلات في العزل. تحت ظروف معينة، مثل بعد هطول الأمطار أو في ساعات الصباح الباكر عندما تكون الألواح مغطاة بالندى، يمكن أن يتم اكتشاف هذا النوع من العيوب بواسطة العاكس (عطل انخفاض العازلية) أو قد يتوقف العاكس عن العمل عندما تنخفض قيمة المقاومة إلى ما دون الحد المسموح به.</td></tr>
<tr><td>ألية الكشف</td><td colspan="4">اختبار العزل (INS)، (مراقبة البيانات (MON))</td></tr>
<tr><td>سبب العطل</td><td colspan="4">يمكن أن تحدث أعطال العزل عن عدة أسباب مختلفة. فقد تحدث خلال مرحلة التصميم أو الإنتاج نتيجة لتقارب الخلايا الشمسية بشكل مفرط من الإطار، أو بسبب نقاط ضعف في المواد، مثل استخدام مواد تغليف أو طبقة خلفية غير مناسبة، أو نتيجة عملية تصفيح غير متقنة. أما في مرحلة التركيب، فقد يكون السبب أضرارًا ميكانيكية تصيب اللوح الشمسي، في حين أن مرحلة التشغيل قد تشهد هذه الأعطال بسبب أحداث كارثية، أو عملية انفصال الطبقات بالقرب من حواف اللوح، أو تسرّب المياه وتكاثفها داخل صندوق التجميع. كما أن الألواح التي فشلت في اجتياز اختبار العزل أو لم تخضع له أثناء الإنتاج، بسبب ضعف إجراءات ضمان الجودة، تعد مصدرًا رئيسيًا لهذه المشكلة. وتشمل الإخفاقات المختلفة التي تؤدي إلى فشل العزل: انفصال الطبقة الخلفية ومواد التغليف، الأضرار التي تلحق بالطبقة الخلفية، علامات الاحتراق، وتكسّر الزجاج.
الإنتاج ☐ التركيب ☐ التشغيل ☐</td></tr>
<tr><td>التأثير الناتج</td><td colspan="4">لا يؤدي انخفاض مقاومة العزل على مستوى اللوح بحد ذاته إلى فاقد في الأداء، إلا في حال حدوث عطل في العاكس. ولكن وجود تيار تسرب كهربائي إلى الإطار قد يشكل خطرًا على السلامة، مما قد يعرض الأشخاص لخطر الصعق الكهربائي. قد يؤدي لمس الأجزاء غير المعزولة من السلسلة أو الإطار إلى إصابات خطيرة، ما لم يتم استخدام معدات السلامة وأجهزة القياس الآمنة
السلامة e الأداء: 1 2 3 4 5</td></tr>
<tr><td>الحد من الضرر</td><td colspan="2">الإجراءات التصحيحية</td><td>الإجراءات الوقائية (موصى بها)</td><td>الإجراءات الوقائية (اختيارية)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. يجب إجراء عمليات تفتيش منتظمة لمراقبة حالة الألواح التي لم يتم استبدالها. في حال إجراء اختبار فردي للألواح، يجب استبدال جميع الألواح التي فشلت في اختبار العزل و/أو اختبار تسرب المياه.</td><td>يجب التحقق من صلاحية شهادة IEC61215 وقائمة مواد التصنيع، وتشغيل النظام باستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء، بالإضافة إلى التحقق من أعطال التأريض من خلال العاكس أو الأجهزة الأخرى بشكل مستمر.</td><td>ينبغي إجراء عمليات فحص دورية للنظام، واختبار عزل الألواح في مركز اختبار متنقل قبل التركيب</td></tr>
</table>

المكون العيب	**اللوح الكهروضوئي** **البقع الساخنة (أنماط حرارية)**	**PVFS 1-19vs.02**

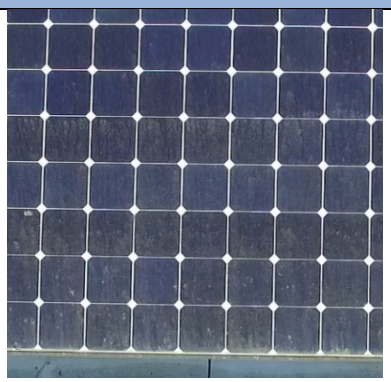
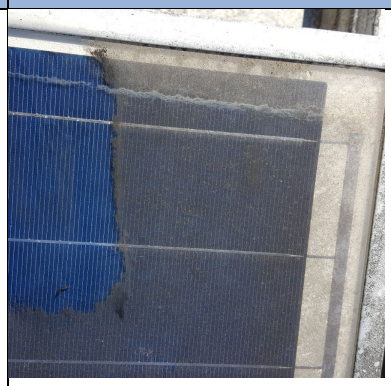
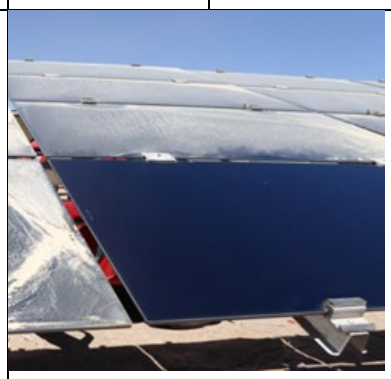
المظهر الخارجي	البقع الساخنة (Hot Spots) هي شذوذ حراري يتمثل بحدوث ارتفاع موضعي في درجة الحرارة أو نمط حراري يختلف عن السلوك الطبيعي للخلية الكهروضوئية. لا يمكن الكشف عنها إلا باستخدام تقنيات التصوير، مثل التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT). ولا يمكن رؤيتها بالعين المجرّدة إلا بعد أن تؤدي إلى أضرار لا رجعة فيها، مثل الاصفرار الموضعي، أو آثار الحروق، أو تكسّر الزجاج أو الخلية. يعتمد موضع وحجم وشدة وشكل البقعةالبقع الساخنة على سبب ومراحل تطوّر العطل، وكذلك على ظروف تشغيل الخلية، مثل التظليل، الأحمال، أو مستوى الإشعاع الشمسي.		
ألية الكشف	التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT)، (الفحص البصري (VI)).		
سبب العطل	يمكن أن تنشأ البقع الساخنة نتيجة عدة عوامل، منها **(i) أعطال سابقة**، مثل خلايا متضررة (راجع PVFS 1-01)، تكسّر الزجاج (راجع PVFS 1-08)، توصيلات كهربائية ضعيفة (راجع PVFS 1-09 و1-14)، حماية غير كافية بواسطة دايودات العبور (راجع PVFS 1-15)، تدهور ناتج عن الجهد الكهربائي (PID) (راجع PVFS 1-10). **(ii) مشكلات متعلقة بعملية التصنيع**، مثل التفاوت الكبير بين الخلايا (Mismatch)، الخلايا الشمسية الرديئة الجودة، أو ضعف في جودة تصنيع الخلية الكهروضوئية. **(iii) ظروف تشغيل غير مثالية**، مثل التظليل أوالإتساخ راجع (PVFS 1-20). عند حدوث التظليل، تُجبر الخلية أو مجموعة من الخلايا المتأثرة على الدخول في حالة انحياز عكسي (Reverse Bias)، مما يؤدي إلى استهلاكها للطاقة على شكل حرارة، وقد يتسبب ذلك بحدوث سخونة مفرطة. وفي حال كانت كمية الطاقة المستهلكة عالية أو مركّزة في منطقة محددة، قد تؤدي هذه الحالة إلى انصهار نقاط اللحام، أو تدهور المادة المغلّفة أو الطبقة الخلفية (Backsheet)، وحتى تكسّر الزجاج. ولتقليل تأثيرات البقع الساخنة، يتم تركيب دايودات العبور (Bypass Diodes) بالتوازي مع الخلايا. وعندما تكون هذه الصمامات مصممة بشكل سليم وتعمل بكفاءة، فإنها تساعد على الحد من الأضرار الناتجة عن البقع الساخنة.		
	الإنتاج ☐	التركيب ☐	التشغيل ☐
التأثير الناتج	لا يؤدي تشكل البقع الساخنة دائمًا إلى خسارة كبيرة في الاستطاعة. فبسبب التفاوت الطبيعي في فرز الخلايا وعملية إنتاج الألواح الكهروضوئية، فإن الشذوذات الحرارية التي تظهر في أقل من 10% من الألواح المفحوصة غالبًا لا تُعدّ مؤشّراً على وجود مشاكل في الجودة. في معظم الحالات، عندما يحتوي اللوح على خلية واحدة ساخنة، فإن الخسارة في الاستطاعة تكون طفيفة وغير مؤثرة. تصبح الخسارة في الاستطاعة ملحوظة فقط عندما يتم تفعيل الصمام بشكل دائم، مما يؤدي إلى فصل سلسلة الخلايا عن إنتاج الطاقة في الخلية. أما تأثير ذلك على أداء النظام ككل، فلا يظهر إلا في العائد الطاقي (Energy Yield) عندما تتأثر عدة ألواح شمسية. ويمكن أن تحدث خسائر شديدة في حال كان سبب السخونة غير الطبيعية هو تدهور ناتج عن الجهد الكهربائي (PID). كما أن سلامة الخلية قد تكون مهددة إذا أدى ارتفاع الحرارة إلى أضرار خطيرة في الخلية أو إلى نشوب حريق. إن فروقات درجات الحرارة بمقدار 10 إلى 20 كلفن (عند إشعاع شمسي يقارب 800 واطام²) يجب مراقبتها عن كثب، لأنها قد تشير إلى دايود العبور أو أعطال في صندوق التوصيل (Junction Box)، ما يشكل خطراً مباشراً على السلامة (راجع PVFS 1-14 و1-15). أما الفروقات التي تتجاوز 20 كلفن (عند 800 واطام²) فهي تُعدّ حرجة، وقد تؤدي إلى تسارع تدهور المواد البوليمرية وفقدان خصائص العزل الكهربائي. وإذا لم يتم استبدال الألواح المتأثرة، فقد تزداد درجات الحرارة أكثر. كما أن قلة التنظيف والصيانة الدورية قد تؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة، نتيجة وجود مخلفات الطيور أو تفاوت في استطاعة الألواح (Mismatch)، مما يسبب أضراراً للخلية. وفي مثل هذه الحالات، قد يكون من الصعب تحديد ما إذا كان السبب يعود إلى مشكلة في الجودة أو إهمال في أعمال الصيانة.		
	السلامة: غير محدد (NA)	الأداء:	غير محدد (NA)

الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال الألواح التي تمثل خطراً مباشراً على السلامة أو التي تكون شدة العطل فيها 5. إذا أظهرت أكثر من 10% من الألواح شذوذات حرارية، فيجب تقييم سبب هذا السلوك وتنفيذ الإجراءات التصحيحية اللازمة.	تشغيل النظام (Commissioning) باستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT) أو اختبار ما قبل التسليم (BYT).	فحوصات دورية للنظام مثال: التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT).

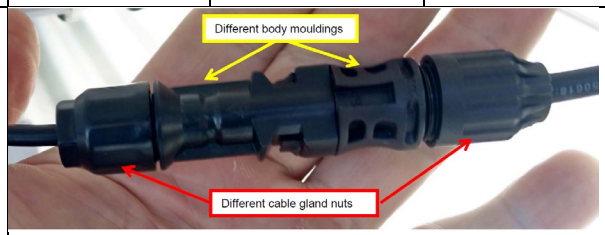
أمثلة (الصفحة الأولى)					PVFS 1-19vs.02
الحالة	التوصيف	السبب	الأداء	الملاحظات	درجة الأمان
حالة 1 	لوح واحد أكثر حرارة من غيره	قد يكون اللوح مفتوح الدارة – غير متصل بالنظام	اللوح يعمل بشكل طبيعي	تحقق من التوصيلات	
حالة 2 	سلسلة فرعية واحدة من الخلايا المتصلة على التوالي أكثر حرارة من باقي الخلايا في اللوح	سلسلة فرعية مفتوحة الدارة – فصل في صندوق التوصيل أو في السلسلة الفرعية	فقدان استطاعة من السلسلة الفرعية، انخفاض في جهد الدارة المفتوحة Voc	قد توجد بقعة محترقة على الخلية. يجب استبدال الخلية.	f
حالة 3 	سلسلة فرعية واحدة ساخنة بنمط غير منتظم	قصر في الصمام الثنائي الالتفافي أو سلسلة فرعية قصيرة الدارة	فقدان استطاعة من السلسلة الفرعية، انخفاض في جهد الدارة المفتوحة Voc	استبدال اللوح	f
حالة 4 	خلية واحدة فقط أكثر حرارة، مع وجود خلايا أخرى أكثر حرارة بنمط غير منتظم في سلسلة فرعية متصلة بالتوازي	خلية مظلّلة أو معيبة (تفعيل دايود العبور)	انخفاض في الاستطاعة غير دائم بالضرورة، مثل ظل ناتج عن ورقة	يتطلب فحص بصري وتنظيف (تفاوت بين الخلايا)	f
حالة 5 	خلايا منفردة أكثر حرارة، دون نمط محدد (نمط مرقّع)	قصر في كامل اللوح – قصر في جميع الديودات + خلل في توصيل الأسلاك	انخفاض كبير جدًا في استطاعة اللوح (يكاد يساوي الصفر)، انخفاض شديد فيجهد الدارة المفتوحة Voc	تحقق من التوصيلات (راجع PVFS 1-15)	f
حالة 6 	خلايا منفردة أكثر حرارة، الأجزاء القريبة من الإطار أكثر سخونة من الأجزاء الوسطى والعليا (راجع PVFS 1-10)	تيارات تسريبية شديدة نتيجة تدهور ناتج عن الجهد (PID) أو استقطاب	انخفاض في استطاعة الخلية ومعامل الملء FF، تأثر الأداء في الإشعاع المنخفض أكثر منه في ظروف الاختبار المعيارية STC	استبدل شروط تأريض المصفوفة. إمكانية الاسترداد عبر الجهد العكسي	
حالة 7 	خلية واحدة أكثر حرارة من البقية	تدني أداء تيار القصر للخلية - وجود تظليل أو خلل في الخلية	قد لا يكون انخفاض الاستطاعة دائمًا، كما في حالات التظليل المؤقت الناتج عن ورقة شجر أو نمو الطحالب.	تتطلب فحصًا بصريًا وتنظيفًا (Cell Mismatch) (راجع أيضًا PVFS 1-1، 1-3، 3-3)	f
حالة 8 	جزء من الخلية أكثر حرارة من البقية	- تدني أداء تيار القصر للخلية - وجود تظليل أو خلل في الخلية - انقطاع في توصيل السلسلة	قد لا يكون انخفاض الاستطاعة دائمًا، كما في حالات التظليل المؤقت الناتج عن ورقة شجر أو نمو الطحالب، مع انخفاض في معامل الامتلاء (FF)	يتطلب فحصًا بصريًا وتنظيفًا (تفاوت بين الخلايا). يُستبدل اللوح الكهروضوئي عند الحاجة (راجع أيضًا PVFS 1-1، 1-7، 9-1)	f

أمثلة (الصفحة الثانية)					PVFS 1-19vs.02
الحالة	**التوصيف**	**السبب**	**الأداء**	**الملاحظات**	**درجة الأمان**
حالة 9 	بقعة ساخنة	- تشكُّل قوس دقيق (Micro-Arc) في دارة التوصيل البيني - انهيار نقطة التوصيل في الخلية بسبب التظليل	انخفاض في الاستطاعة	يمكن كشف التشققات بعد إجراء فحص بصري دقيق للخلية. يُنصح باستبدال اللوح الكهروضوئية (راجع أيضًا PVFS 1-1، 1-7، 1-9)	f
حالة 10 	جزء من سلسلة فرعية أكثر سخونة بشكل ملحوظ من البقية رغم حدوث تظليل موحّد	سلسلة فرعية تحتوي على دايود العبور مفقود أو مفتوح الدارة	انخفاض شديد في تيار القصر وفي الاستطاعة عند حدوث تظليل على هذا الجزء من السلسلة	قد يشكّل خطرًا كبيرًا بنشوب حريق في حال تشكّلت بقعة ساخنة ضمن هذا الجزء من السلسلة الفرعية (راجع أيضًا PVFS 1-15، 3-3)	f
تمت مراجعة أنماط الصور بالأشعة تحت الحمراء (IR) النموذجية، كما تم رصدها خلال قياسات ميدانية خارجية [Köntges14].					

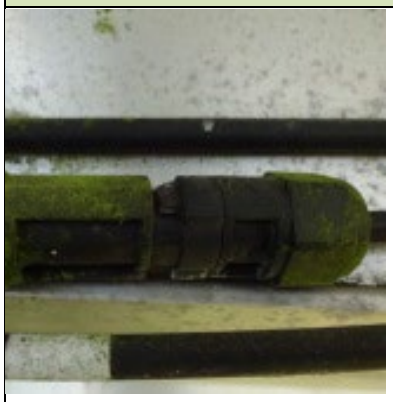
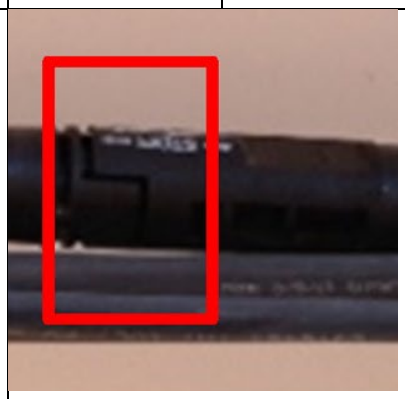
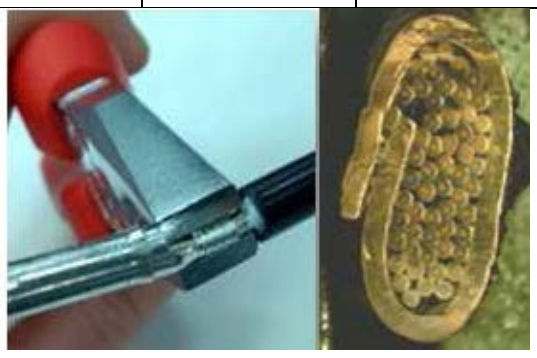
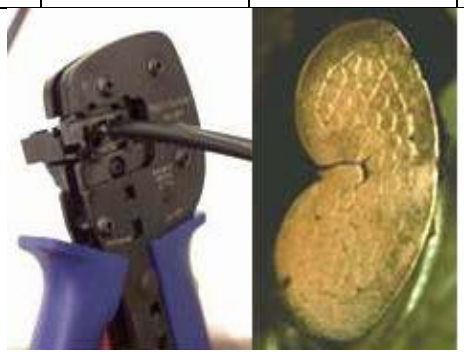
<table>
<tr><td>المكون
العيب</td><td colspan="3">اللوح الكهروضوئي
تراكم الغبار على سطح اللوح (اتساخ اللوح)</td><td>PVFS 1-20vs.01</td></tr>
<tr><td>المظهر الخارجي</td><td colspan="4">يظهر اتّساخ اللوح الكهروضوئي على شكل ترسّب للغبار أو الأوساخ أو الملوّثات الأخرى على سطح اللوح. قد يكون هذا الترسّب منتظمًا أو غير منتظم، وقد يختلف في السماكة. ونظرًا لإمكانية تسبّب الإتساخ غير المنتظم في تكوّن بقع ساخنة، فمن الممكن كشفه باستخدام التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT).</td></tr>
<tr><td>ألية الكشف</td><td colspan="4">الفحص البصري (VI)، (التصوير الحراري (IRT)، المراقبة (MON)).</td></tr>
<tr><td>سبب العطل</td><td colspan="4">يمكن أن ينشأ اتّساخ الألواح الكهروضوئية من عدّة مصادر، مثل تراكم الغبار، التلوّث الهوائي، فضلات الطيور، أو نمو الطحالب، الأشنيات أو الطحلب الأخضر. وقد يكون الإتساخ ناتجًا عن عوامل طبيعية، كوجود اللوح في مناطق صحراوية، أو بسبب حبوب اللقاح الموسمية أو الانبعاثات البركانية أو بسبب الأنشطة البشرية، مثل وجود النظام الكهروضوئي قرب مناجم، أو طرق سريعة، أو سكك حديدية، أو مناطق حضرية، أو زراعية. يعتمد مستوى الإتساخ ومدى استمراريته على عوامل متعددة، منها زمن التعرّض، التركيب الكيميائي وحجم الجزيئات، بالإضافة إلى ظروف المناخ المحلي. ورغم أن الأمطار والرياح قد تساهم في تنظيف طبيعي للألواح، إلا أن الرطوبة قد تؤدي إلى نتائج عكسية، من خلال زيادة التصاق الغبار وتثبيته على سطح اللوح. يلعب تصميم اللوح دورًا مهمًا في ذلك، مثل طلاء الزجاج، الإطار، المسافة بين الخلايا وحافة اللوح، اتجاه التركيب (زاوية الميل، السمت، أفقي أو عمودي)، وشروط التركيب (مثل نوع الحوامل، الارتفاع عن الأرض، وتوصيلات السلاسل). عادةً ما يزداد الإتساخ مع انخفاض زاوية الميل. كما أن اتجاه الرياح أو وجود عوائق في المكان قد يؤثّر على نمط الإتساخ، ما يؤدي إلى توزيع غير منتظم للاتساخ على مستوى النظام أو اللوح.</td></tr>
<tr><td></td><td>الإنتاج ☐</td><td>التركيب ■</td><td colspan="2">التشغيل ■</td></tr>
<tr><td>التأثير الناتج</td><td colspan="4">تؤدي طبقة الأوساخ المترسّبة إلى خسائر، حيث تُقلّل من كمية الضوء التي تصل إلى الخلايا الشمسية، مما يؤدي إلى انخفاض في الأداء العام للنظام. ولا يُعتبر الإتساخ عطلاً حقيقيًا في اللوح الكهروضوئي، كونه قابلاً للعكس بمجرد تنظيف اللوح، إلا أنّه يؤثر سلبًا على العائد الطاقي التراكمي مدى الحياة وعلى العائد المالي للاستثمار. يُعد الإتساخ مسألة مرتبطة بموقع المشروع. ففي المناطق الجافة التي تشهد مواسم جفاف وغبار، قد تصل خسائر الإتساخ إلى 25% سنويًا في حال عدم تنظيف الألواح. أما في المناطق المعتدلة التي تشهد هطولات مطرية على مدار السنة، فتتراوح خسائر الإتساخ السنوية عادةً بين 0%- 4%. وفي حال وجود مصادر اتّساخ محدّدة (مثل السكك الحديدية أو الأنشطة الزراعية)، أو في حال عدم فعالية التنظيف الطبيعي بسبب شروط تركيب غير مناسبة (مثل زاوية ميل منخفضة)، فقد تُسجّل خسائر أعلى بكثير من القيم المعتادة. يتسبب الإتساخ غير المنتظم بخسائر إضافية نتيجة عدم تطابق التيار بين الخلايا (Current Mismatch)، وهو ما يؤدي إلى مزيد من الانخفاض في الاستطاعة، وتكوّن بقع ساخنة قد تؤدي في الحالات الشديدة إلى تلف دائم في اللوح الكهروضوئي. في الألواح المتأثرة بظاهرة التقادم المحفّز بالتوتر (PID) يمكن أن يُسرّع الإتساخ من عملية التدهور. يمكن الحد من آثار الإتساخ من خلال تنظيف الألواح أو منع تراكم الأوساخ المفرط. ويجب أن تكون طريقة التنظيف مناسبة لنوع الإتساخ وظروف الموقع (مثل سهولة الوصول وتوفّر المياه). كما يجب أن يأخذ جدول التنظيف بالحسبان تأثير العوامل الطبيعية مثل الأمطار، الرياح، أو الندى التي قد تؤدي إلى تنظيف ذاتي. ويمكن أن تساعد الطلاءات المقاومة للإتساخ (ASC) في تقليل تراكم الأوساخ وتمديد فترات التنظيف، لكن فقط في حال كانت هذه الطلاءات مناسبة لنوع الإتساخ الموجود، ويتم اتباع طرق تنظيف لا تُلحق ضررًا بها. ومن الجدير بالذكر أيضًا أن بعض أنواع الطلاءات المقاومة للإتساخ قد تتسبّب في زيادة خسائر النفاذية الضوئية بحد ذاتها.</td></tr>
<tr><td></td><td>السلامة</td><td> </td><td>الأداء:</td><td> </td></tr>
<tr><td>الحد من الضرر</td><td>الإجراءات التصحيحية</td><td>الإجراءات الوقائية (موصى بها)</td><td colspan="2">الإجراءات الوقائية (اختيارية)</td></tr>
<tr><td></td><td>يُوصى بتنظيف الألواح من قبل أشخاص مؤهّلين، عندما تكون خسارة العائد المالي الناتجة عن فقدان الإنتاج الطاقي أعلى من تكلفة التنظيف. يجب تحديد الوقت الأمثل للتنظيف.</td><td>عمليات كشف ميدانية أولية لتقييم خطر الإتساخ. تقدير تكلفة تنفيذ تدابير التخفيف. فحوصات بصرية دورية لمراقبة مستوى الإتساخ.</td><td colspan="2">تقدير أو قياس خسائر الإتساخ قبل تركيب النظام. تركيب حساسات اتّساخ لتحديد أنسب وقت للتنظيف من الناحية الاقتصادية.</td></tr>
</table>

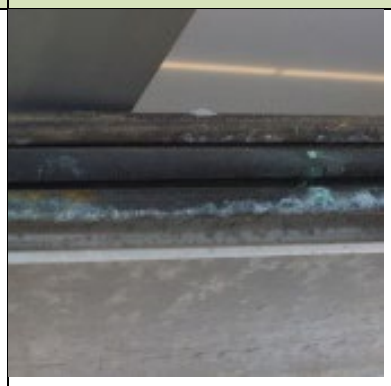
أمثلة (الصفحة الأولى)				PVFS 1-20vs.01	
أمثلة 3-1					
	اتّساخ خفيف منتظم للسطح، والذي يُزال ذاتيًا في الظروف المثالية عند هطول الأمطار (من مختبر SUPSI PVLab)		اتّساخ ثقيل منتظم ناتج عن محطة سكك حديدية (من مختبر SUPSI PVLab)		اتّساخ غير منتظم ناتج عن انخفاض زاوية الميل وقرب التركيب من سطح السقف (من مختبر SUPSI PVLab)
شدة الضرر	2		3 4		2 3
أمثلة 6-4					
	نمو الطحالب على حافة لوح كهروضوئي مع تراكم للأوساخ على الأطراف (Köntges17)		نمط اتّساخ على نظام كهروضوئي في صحراء أتاكاما (من معهد ISE FhG)		نمط اتّساخ يُظهر اتجاه الرياح السائد في موقع اختبار في صحراء أتاكاما (من معهد ISE FhG)
شدة الضرر	2 3	e	3 4		3 4
أمثلة 9-7					
	اتّساخ شديد بطبقة حيوية (Biofilm) (Köntges16)				
شدة الضرر	4 5				

المكون العيب	**الكابلات والتوصيلات** **عدم التطابق في كابل \ موصل التيار المستمر**	**PVFS 2-1vs.01**
المظهر الخارجي	توصيل قابس ذكر وأنثى (DC) من شركتين مصنّعتين أو طرازين مختلفين (توصيل غير متطابق – Cross-mating) بين الألواح أو السلاسل أو المصفوفات أو مع العاكس.	
ألية الكشف	الفحص البصري (VI)، (التصوير الحراري (IRT))	
سبب العطل	لا يوجد حتى الآن معيار موحّد لوصلات التيار المستمر (DC) في الأنظمة الكهروضوئية يحدد الأبعاد والتفاوتات المسموح بها. لذلك، من الممكن العثور في السوق على موصلات تبدو متشابهة جدًا شكليًا، بل وتبدو متوافقة عند التوصيل، وتُسوَّق على أنها "متوافقة". لكن الاختلافات الطفيفة في تصميم الموصل قد تؤدي إلى ضعف في إحكام الإغلاق ضد الماء والبخار. كما قد تنشأ مشاكل إضافية بسبب عدم توافق المواد (مثل عدم التوافق الكيميائي أو اختلاف معاملات التمدد الحراري) بين أجزاء الموصل، مثل الملامسات المعدنية أو الحشوات أو مواد العزل. وغالبًا ما يحدث عدم تطابق الموصلات في نهاية السلاسل، حيث تُستخدم كوابل تمديد، أو عند توصيل العاكس أو صندوق دمج السلاسل الذي قد يكون مزوّدًا بموصلات غير متوافقة.		
	الإنتاج ☐	التركيب ☐	التشغيل ☐
التأثير الناتج	توصيل موصلات (Connectors) من شركات مصنّعة مختلفة قد يزيد بشكل كبير من خطر تدهور الأداء وظهور أعطال قد تشكل خطرًا على الإنسان والبيئة وفقًا للمواصفة IEC TR 63225:2019. تشمل العواقب المحتملة لهذه الحالة ما يلي: تآكل نقاط التلامس احتراق الموصلات حدوث أقواس كهربائية(Arcing) وفي أسوأ الحالات: نشوب حريق. ومن أكثر الأعطال شيوعًا في هذه الحالة هو عدم مرور التيار نهائيًا عبر نقطة التوصيل. ولا تظهر هذه المشاكل فورًا، بل تتطور مع مرور الوقت نتيجة ازدياد مقاومة التلامس و/أو تدهور الموصل. وفي ظروف الطقس الرطبة، يمكن أن يؤدي استخدام موصلات غير متطابقة إلى فشل جزئي في العاكس أو إلى أعطال تأريض. يزداد خطر الحريق بشكل أكبر عندما لا يتم تثبيت الموصلات بشكل صحيح، خاصة إذا كانت قريبة من مواد قابلة للاشتعال مثل دعائم الأسقف الخشبية أو مواد العزل الحراري. وغالبًا ما يتم تركيب الموصلات في أماكن يصعب الوصول إليها أثناء الفحوصات البصرية الروتينية، مثل: داخل القطاعات المعدنية (Profiles) أسفل الألواح المركبة بشكل موازي للسقف أو حتى داخل الأنظمة المُدمجة بالمبنى (BIPV). وعند الجمع بين كل هذه العوامل، إلى جانب غياب الوضوح حول توافقية الموصلات، فإن توصيل موصلات من علامات تجارية أو أنواع مختلفة قد يؤدي إلى مخاطر عالية.		
	السلامة e f	الأداء:	1 2 3 4 5
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال جميع الموصلات غير المتماثلة	يجب سؤال المورّد أو التحقق من المواصفات الفنية للوح الشمسي أو العاكس لمعرفة نوع/شركة تصنيع الموصل. يُسمح فقط بتوصيل موصلات من نفس الشركة المصنّعة، والمُعتمدة على أنها متوافقة فيما بينها.	التأكّد من أن الألواح الشمسية والعواكس الشمسية يتم توريدها مع نفس نوع الموصلات. يُوصى بتأمين موصلات احتياطية وكابلات سلاسل مزوّدة بموصلات من نفس نوع موصلات الألواح الشمسية.

أمثلة (الصفحة الأولى)				PVFS 2-1vs.01	
أمثلة 2-1					
	الموصلات (ذكر أو أنثى) من علامات تجارية أو أنواع مختلفة، ومن الواضح أنها غير متوافقة. [Moser17]		الموصلات (ذكر أو أنثى) من علامات تجارية أو أنواع مختلفة، ومن الواضح أنها غير متوافقة. [Moser17]		
شدة الضرر	e f	1 2 3 4 5	e f	1	
أمثلة 5-3					
	موصل متآكل نتيجة توصيل غير متطابق (Cross-mating) (بتصرف من شركة Stäubli)		موصل منصهر نتيجة توصيل غير متطابق (Cross-mating) (بتصرف من شركة Stäubli)		موصل محترق نتيجة توصيل غير متطابق (Cross-mating) (بتصرف من شركة Stäubli)
شدة الضرر	e f	3 4 5	e f	5	e f 5
أمثلة 7-6					
	أنواع مختلفة من الموصلات يمكن تمييزها من خلال اختلاف تصميم الغلاف الخارجي أو صواميل تثبيت الكابل (دليل ESV)		أنواع مختلفة من الموصلات يمكن تمييزها من خلال اختلاف الحلقات المطاطية "O-Rings" أو الشعارات (دليل ESV)		
شدة الضرر	e f	1	e f	1	

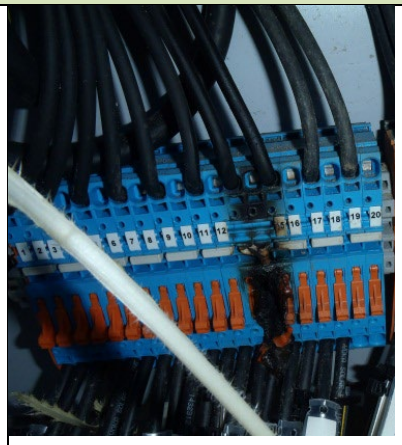
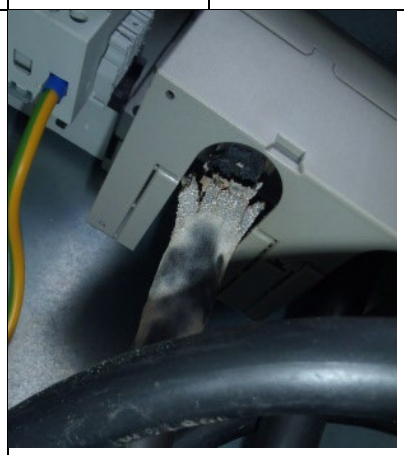
المكون العيب	**الكابلات والتوصيلات** **عدم التطابق في كابل \ موصل التيار المستمر**	**PVFS 2-2vs.01**
المظهر الخارجي	يظهر الموصل أو الكابل المتضرر على شكل انصهار، احتراق، تكسّر، هشاشة، تصدّع، أو تغيّر في اللون إلى الأبيض. وقد تبدي الموصلات المفتوحة علامات تآكل. غالبًا ما تبدي الموصلات المتأثرة سخونة زائدة أو بقعًا ساخنة في مراحل مبكرة، في حال تم إجراء فحص حراري (بالأشعة تحت الحمراء).	
آلية الكشف	الفحص البصري (VI)، (التصوير الحراري (IRT))	
سبب العطل	من الأسباب الرئيسية لتلف الموصلات الدمج بين **مكونات غير متوافقة** مثل عدم تطابق موصلات التيار المستمر، واستخدام موصل منخفض الجودة أو تركيب غير سليم. في الحالة الأخيرة، قد لا يتم تركيب الموصلات وفقًا للتعليمات مثل (كبس غير صحيح، توصيل سيء، تعرّض للرطوبة أو الملوّثات قبل التركيب، استخدام موصلات تالفة)، أو قد لا يتم تثبيت الموصلات بشكل جيد، مما يعرضها لفترات طويلة للرطوبة أو الأوساخ دون أن تجف بشكل صحيح. أما بالنسبة لتلف الكابلات، فغالبًا ما يعود إلى استخدام مواد رديئة الجودة أثناء الإنتاج (مثل مواد العزل أو الأسلاك النحاسية) أو اختيار مكونات غير مناسبة خلال مرحلة التصميم مثل كابلات ذات مقطع غير كافٍ، أو استخدام وصلات بكابلات غير محكمة، أو تصنيف حماية (IP) غير ملائم، أو ضعف الحماية من الأشعة فوق البنفسجية. أو بسبب التعامل أو التثبيت الخاطئ للكابلات أثناء التركيب مثل تمرير الكابلات فوق حواف حادة أو خشنة، أو تعليق الكابلات قرب نقاط التوصيل، أو ثنيها بشكل مفرط، أو غياب أو سوء تركيب وصلات الكابل، أو تعرّضه بشكل مباشر للأشعة فوق البنفسجية. الإنتاج ☐ التركيب ☐ التشغيل ☐	
التأثير الناتج	تُشكّل الموصلات أو الكابلات المتضررة خطرًا كبيرًا على السلامة، وقد تؤدي إلى فقدان استطاعة السلسلة بالكامل. في هذه الحالة، لا تعود استمرارية الدارة مضمونة، وقد تحدث أعطال في العاكس مثل أخطاء في العزل المنخفض أو توقف العاكس عن العمل، مما يؤدي إلى خسائر جزئية أو كاملة في الاستطاعة. وفي أسوأ الحالات، قد تتسبب الموصلات المتضررة أو غير المثبّتة جيدًا في حدوث أقواس كهربائية. وفي كثير من الحالات، تكون الموصلات والكابلات أقرب بكثير إلى مواد قابلة للاشتعال، مثل عوارض السقف الخشبية أو مواد العزل الحراري، مقارنةً بطبقة تغليف اللوح الشمسي، مما يزيد من خطر نشوب الحريق. السلامة e f e f الأداء: 1 2 3 4 5	
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية: **يجب استبدال أي مكوّن يُشكّل خطرًا مباشرًا على السلامة.** ويُنصح بإجراء فحوصات دورية لمراقبة حالة المكونات التي لم يتم استبدالها. الإجراءات الوقائية (موصى بها): يجب حماية الموصلات والكابلات من الرطوبة أثناء التركيب. كما يُشترط استخدام أدوات كبس مناسبة، ويجب أن يتم التركيب على يد فنيين مدرّبين. الإجراءات الوقائية (اختيارية): التوقيع على اتفاقية تعاقدية لضمان الصيانة، في حال تم استبدال الموصلات من قبل المُركّب. ويُنصح بإجراء فحوصات دورية للنظام.	

أمثلة (الصفحة الأولى)				PVFS 2-2vs.01	
أمثلة 3-1					
	موصل متضرر بفعل العوامل الجوية [Köntges17].		موصل متشقّق [Köntges17].		موصل متآكل [Köntges17].
شدة الضرر	2 3	e f	5	e f	3 4 e f f
أمثلة 6-4					
	موصل غير موصول أو مؤمَّن بشكل كامل [Yang19].		موصل منصهر [Köntges17].		عزل كابل متشقّق أو متفكك [Köntges17].
شدة الضرر	2 3	e f	4 5	e f	3 4 5 e f f
مثال 7					
	كبس غير صحيح (يمين) مقابل كبس صحيح (يسار) [PVSurvey19].				
شدة الضرر	e f		2 3		

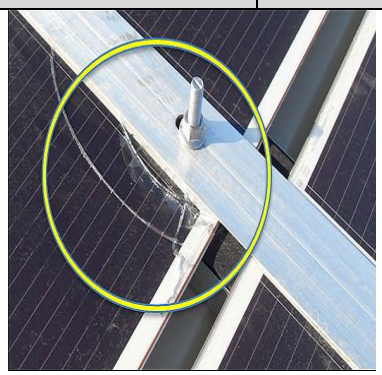
أمثلة (الصفحة الثانية)				PVFS 2-2vs.01	
أمثلة 10-8					
	عضّة حيوان في الكابل [Köntges17].		كابل متآكل [Köntges17].		موصل محترق [Köntges17].
شدة الضرر	e f	5	e f	1 2 3	e f f	3 4 5

المكون العيب	**الكابلات والتوصيلات** **فشل العازلية**		**PVFS 2-3vs.01**
المظهر الخارجي	العزل السيئ للكابلات لا يكون ظاهرًا للعين المجرّدة دائمًا. ولا يمكن التأكد من وجود هذا الخلل إلا من خلال قياس مقاومة العزل، وذلك تحت ظروف جافة أو رطبة/مبلّلة. وفي بعض الحالات، يمكن الاستدلال على وجود المشكلة من خلال ملاحظة كابلات أو موصلات متدهورة أو متضرّرة. وفي ظروف معيّنة، مثل بعد هطول الأمطار أو في ساعات الصباح الباكر عند تعرّض الكابلات أو الموصلات للرطوبة، قد يؤدي هذا النوع من الأعطال إلى فشل في عمل العاكس (مثل ظهور خطأ في العزل المنخفض أو انطفاء العاكس تلقائيًا).		
ألية الكشف	الفحص البصري (VI)، (قياس العزل الكهربائي (INS)، أو المراقبة (MON))		
سبب العطل	تحدث أعطال العزل الكهربائي نتيجة حصول دارة قصر (Short Circuit). وغالبًا ما تكون ناتجة عن مزيج من الرطوبة وتلف أو تدهور في كابلات أو موصلات التيار المستمر (DC).		
	الإنتاج ☐	التركيب ☐	التشغيل ☐
التأثير الناتج	إن انخفاض مقاومة العزل الناتج عن الكابلات أو الموصلات لا يؤدي بحد ذاته إلى خسارة في الاستطاعة، إلا في حال تسبّب بخلل في عمل العاكس. لكن يمكن أن يؤدي خلل العزل إلى جهود كهربائية خطيرة في الأجزاء الموصلة ضمن النظام، مما قد يشكّل خطر التعرّض لصدمة كهربائية. وقد يؤدي لمس الأجزاء غير المعزولة إلى إصابة خطيرة، خصوصًا عند غياب أدوات الحماية الشخصية أو أجهزة القياس الآمنة. وفي أسوأ الحالات، قد تؤدي الكابلات أو الموصلات التالفة إلى حدوث قوس كهربائي ونشوب حريق.		
	السلامة: e f e f	الأداء:	2 3 4 5
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال الكابلات أو الموصلات التي تُشكّل خطرًا مباشرًا على السلامة. ويُنصح بإجراء فحوصات منتظمة لمراقبة حالة العناصر التي لم يتم استبدالها.	الكشف عن أعطال التأريض يجب أن يتم من خلال العاكس أو أجهزة أخرى بشكل مستمر.	إجراء فحوصات منتظمة للنظام.

المكون العيب	**الكابلات والتوصيلات** **فشل العازلية**	**PVFS 2-4vs.01**
المظهر الخارجي	تظهر الأعطال داخل صندوق التجميع على شكل تغيّر في لون أو احتراق في توصيلات الكابلات أو المنصهرات (الفيوزات). يمكن اكتشاف الأجزاء المتضررة من خلال الفحص البصري أو التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT).	
آلية الكشف	الفحص البصري (VI)، (التصوير الحراري (IRT)، أو المراقبة (MON))	
سبب العطل	قد تحدث الأضرار الحرارية في صندوق التجميع نتيجة (اختيار مكوّنات غير مناسبة مثل فيوزات أو حوامل فيوزات غير ملائمة للتصنيف الكهربائي، توصيل غير صحيح لكابلات التيار المستمر (DC) مثل شد غير كافٍ لأسلاك التوصيل أو غياب الفيوزات، أو توصيل خاطئ للألواح أو السلاسل في الموقع أو على السطح)	
	الإنتاج ☐	التركيب ☐ التشغيل ☐
التأثير الناتج	ينتج هذا الضرر عن الحرارة الزائدة المتولدة في حامل الفيوز وموصلات\كابلات التيار المستمر (DC) المتضررة. يؤدي الضرر الحراري الجزئي أو الكامل في صندوق التجميع إلى خسائر في الاستطاعة، ومخاطر صدمة كهربائية، وخطر نشوب حريق. يجب اتخاذ إجراءات فورية من قِبل فنيين مختصين لتفادي تفاقم الضرر.	
	السلامة: m e f m e f	الأداء: 1 2 3 4 5
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها) / الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	استبدال المكوّنات التي تُظهر خللًا أو حرارة غير طبيعية.	استخدام التصوير الحراري (IRT) لفحص المكوّنات والتوصيلات، بهدف الكشف عن توصيلات ضعيفة أو مكوّنات معيبة.

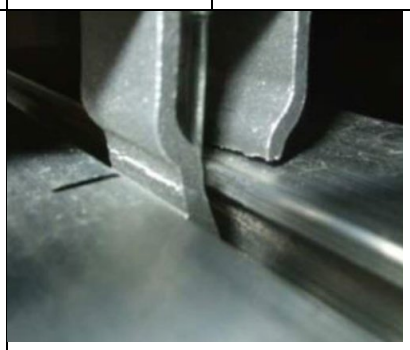
أمثلة (الصفحة الأولى)				PVFS 2-4vs.01	
أمثلة 3-1					
	كتلة طرفية محترقة داخل صندوق التجميع (TÜV Rheinland)		شد غير سليم لأسلاك التوصيل تسبب في نشوب حريق (Köntges16)		علامات تآكل ظاهرة على نقاط التوصيل (TÜV Rheinland)
شدة الضرر	m e f	5	m e f	5	m e f	1 2
مثال 4					
	أطراف التوصيل تُظهر آثار احتراق، أو انصهار، أو تفحّم (TÜV Rheinland)				
شدة الضرر	m e f	5			

المكون العيب	**هياكل التثبيت** **استخدام غير صحيح للملاقط Clamp**	**PVFS 3-1vs.01**
المظهر الخارجي	تثبيت غير كافٍ، أو تلف في اللوح الشمسي أو الإطار بسبب الملقط (Clamp).	
ألية الكشف	الفحص البصري (VI)	
سبب العطل	يرجع السبب إلى عدم الالتزام بتعليمات تركيب اللوح وهيكل التثبيت الصادرة عن الشركة المصنّعة. ومن الأخطاء الشائعة في مرحلة التخطيط أو التركيب: استخدام ملاقط غير مناسبة لنوع اللوح الشمسي و/أو هيكل التثبيت، مثل الحواف الحادة التي قد تُتلف الألواح الزجاجية المزدوجة (Glass\Glass)، أو الدمج غير الصحيح بين الملاقط والألواح أو هيكل التركيب. استخدام ملاقط قصيرة جدًا أو ضيّقة جدًا. عدم اختيار مواقع ونوع وعدد ملاقط على اللوح وفقًا لدليل الشركة المصنّعة. ومن الأخطاء الأخرى: شد البراغي بشكل مفرط أو غير كافٍ خلال مرحلة التركيب الميكانيكي.	
	الإنتاج ☐	التركيب ☐	التشغيل ☐
التأثير الناتج	يتسبب التثبيت غير السليم للملقط في إضعاف سلامة هيكل التركيب وقدرة اللوح الشمسي على البقاء ثابتًا في ظروف الرياح الشديدة أو الأحمال العالية. وقد يؤدي انفصال اللوح الشمسي إلى تأثير متسلسل، نظرًا لأن الألواح تشترك في الملاقط مع الألواح المجاورة لها. فعند انفصال لوح واحد، يفقد الملقط قدرته على تثبيت اللوح الثاني مباشرةً، مما قد يؤدي إلى انفصال متتالي للألواح. يشكّل انفصال اللوح/الألواح عن هيكل التركيب خطرًا جسيمًا على الأشخاص، ويزيد من احتمالية تضرّر بقية النظام و/أو الممتلكات القريبة من موقع التركيب. ويمكن أن تحدث مشكلات مثل: تلف في الإطار، تكسر في الزجاج، تشققات في الخلايا وهي مشاكل قد تؤثر سلبًا على الأداء والسلامة الكهربائية للنظام على المدى الطويل.	
	السلامة: m e m e f	الأداء: 1 2 3 4 5	
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال الألواح الشمسية التي تُشكّل خطرًا على السلامة أو التي تصل درجة الخطورة فيها إلى 5.	استخدام ملاقط متوافقة فقط بين هيكل التركيب/الألواح الشمسية/الملاقط، والتقيّد بتعليمات التركيب الصادرة عن الشركة المصنّعة.	إجراء اختبارات على تكوينات التركيب غير القياسية من قبل مختبر معتمد (مثل التركيب على الواجهات). كما يُنصح بإجراء فحوصات دورية للنظام.

PVFS 3-1vs.01	أمثلة (الصفحة الأولى)			
أمثلة 3-1				
	تركيب غير سليم للمشبك (من مختبر SUPSI PVLab)	دمج غير صحيح بين المشابك والألواح الشمسية (Moser17)	تكسر في الزجاج نتيجة شد البراغي بشكل مفرط. (Herrmann21) ، (راجع أيضًا PVFS 1-8)	
شدة الضرر	1 e e f	1 e e f	2 3 4 m e m f	
مثال 4				
	تكسر في الزجاج نتيجة تصميم سيئ للملقط (Moser17)، (راجع أيضًا PVFS 1-8)			
شدة الضرر	2 3 4 m e m f			

المكون العيب	**هياكل التثبيت** **هيكل تثبيت غير مناسب أو معيب**	**PVFS 3-2vs.01**
المظهر الخارجي	أضرار ميكانيكية (مثل التشققات أو الانحناءات) أو عيوب مرئية أخرى (مثل تآكل في الإطار أو في فتحات التثبيت) يمكن ملاحظتها على هيكل التركيب.	
ألية الكشف	الفحص البصري (VI)	
سبب العطل	غالبًا ما تحدث هذه الأعطال عندما لا يكون هيكل التركيب مصممًا لتحمّل أحمال الرياح أو الثلوج التي تُعتبر نموذجية للموقع الذي تم تركيب النظام فيه، (مثل: عدم توافق هيكل التركيب مع الحسابات الإنشائية، أو التقليل من تقدير الظروف البيئية). كما يمكن أن تحدث الأعطال عند وجود ضعف في تثبيت الهيكل على الأرض أو السطح، (مثل: عدم أخذ خصائص التربة بعين الاعتبار عند اختيار نظام التثبيت). وقد يكون السبب أيضًا عدم التحقق من قدرة السطح على تحمّل الوزن الإضافي للنظام الكهروضوئي، بما في ذلك أعمال التشغيل والصيانة المستقبلية. من الأسباب الأخرى لفشل هيكل التثبيت: استخدام مواد غير مناسبة (مثل مواد قابلة للتآكل في بيئة تآكلية، أو كلفنة غير كافية، أو مواد رديئة بسبب ضعف أو غياب مراقبة الجودة أثناء الإنتاج)، مما يؤدي إلى تدهور مبكّر أو فشل ميكانيكي في الهيكل. كما قد تنتج الأعطال عن أخطاء في التركيب، مثل مكوّنات ناقصة أو غير أصلية، براغي مشدودة أكثر من اللازم أو أقل من المطلوب	
	الإنتاج ☐	التركيب ☐	التشغيل ☐
التأثير الناتج	إن استخدام هيكل تثبيت غير مناسب أو متضرر يؤثر سلبًا على سلامة الألواح الكهروضوئية المثبّتة عليه، وقد يمتد التأثير إلى البنية التحتية مثل عزل السقف. وفي أسوأ الحالات، قد يؤدي ذلك إلى انفصال ألواح فردية أو الهيكل كاملًا عن السقف أو الأرض، أو حتى انهيار السقف، مما يُشكّل خطرًا جسيمًا على الأشخاص بالإضافة إلى خطر إتلاف باقي النظام أو الممتلكات المحيطة بموقع التركيب. كما يُتوقّع حدوث خسائر في الاستطاعة بحسب الضرر الحاصل على مستوى الألواح، مثل: عدد الألواح أو السلاسل المفصولة تكسّر الزجاج تشققات في الخلايا تلف في الطبقة الخلفية تلف أو انفصال في صندوق التوصيل. ويُعد الصدأ الكلفاني (Galvanic Corrosion) أمرًا مهمًا يجب مراعاته عند استخدام معادن مختلفة في التلامس المباشر، مثل تثبيت إطار ألمنيوم على هيكل فولاذي، خاصة في المناطق الرطبة أو الساحلية. حيث أن الاتصال المباشر بين المعادن المختلفة يؤدي إلى تآكل كلفاني، والذي يحدث غالبًا حول براغي التثبيت. لذلك، يجب استخدام عوازل بين المعادن المختلفة في البيئات الرطبة أو الساحلية.	
	السلامة		الأداء:	

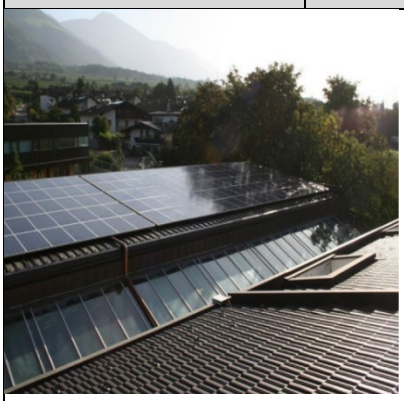
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال أو إصلاح هياكل التركيب التي تُشكّل خطرًا مباشرًا على السلامة.	استخدام هياكل تركيب متوافقة فقط (أرض/هيكل تركيب/ألواح شمسية)، والتقيّد بتعليمات التركيب الصادرة عن الشركة المصنّعة. كما يجب التحقق من أحمال الرياح والثلوج وغيرها من الظروف المحلية.	إجراء فحوصات دورية للنظام. اختبار تكوينات التركيب غير القياسية من خلال مختبر اختبار معتمد (مثل تركيب على الواجهات). يُنصح أيضًا بإجراء فحوصات منتظمة للنظام.

PVFS 3-2vs.01	أمثلة (الصفحة الأولى)				
أمثلة 3-1					
	تآكل ناتج عن مياه مالحة (Köntges16)	تشققات في هيكل التركيب بسبب إجهاد ميكانيكي (Köntges16)	انحناء في مجرى البرغي نتيجة إجهاد ميكانيكي (Köntges16)		
شدة الضرر	1 2	m e f	1	m	1	m
أمثلة 6-4					
	تكسر في الحامل (Bracket) بسبب إجهاد ميكانيكي (Köntges16)	هيكل تركيب غير كافٍ لتحمّل أحمال الثلوج المحلية (Köntges16)	هيكل تركيب غير كافٍ لتحمّل أحمال الرياح المحلية (India13)		
شدة الضرر	1	m	5	m	5	m

المكون العيب	**هياكل التثبيت** **تظليل اللوح الكهروضوئي**	**PVFS 3-3vs.01**

المظهر الخارجي	بحسب موقع الشمس (وقت النهار والفصل)، يمكن رؤية التظليل إما بالعين المجرّدة أثناء الفحص البصري، أو من خلال مقارنة بيانات المراقبة بين سلاسل مظللة وغير مظللة، أو باستخدام محاكاة التظليل. قد يأخذ التظليل أنماطًا مختلفة ويتغيّر أو يتحرّك على مدار اليوم أو بين الفصول.		
ألية الكشف	الفحص البصري (VI)، المراقبة (MON)، التصوير الحراري (IRT)		
سبب العطل	يعتمد التظليل بشكل كبير على اختيار هيكل التركيب وموضع الألواح الشمسية. وقد يكون ناتجًا عن عوامل أو عوائق مثل: الأشجار، الهوائيات، الأعمدة، المداخن، الصحون اللاقطة، نتوءات السطح أو الواجهة، المباني المجاورة، الكابلات، أو حتى تظليل ذاتي (بين الألواح أو بين الصفوف)، أو اتّساخ. تتغيّر ظروف التظليل مع الزمن بسبب: نمو النباتات أو ظهور أبنية أو عناصر إنشائية جديدة ويمكن التمييز بين نوعين من الظلال: ظل مباشر يمنع وصول الإشعاع المباشر للوح، أو ظل منتشر (Diffuse).		
	الإنتاج ☐	التركيب ■	التشغيل ■
التأثير الناتج	عندما لا تتلقى الخلية أو اللوح الشمسي الإشعاع الشمسي الكافي نتيجة التظليل، فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض في الأداء العام للنظام الكهروضوئي. عادةً ما تكون خسائر التظليل السنوية التراكمية بين 1-5%، لكن يمكن أن تصل إلى 20-30% في أنظمة الأسطح أو الواجهات. وبسبب التوصيل التسلسلي للخلايا والألواح، فإن خسارة الاستطاعة تكون أكبر بكثير من المساحة المظللة فعليًا. تعتمد الخسارة النهائية على التصميم الفعلي للنظام في الموقع، وتدابير التخفيف مثل: تنظيم السلاسل والألواح بشكل أمثل (مثل التثبيت الأفقي)، استخدام إلكترونيات التحكّم على مستوى اللوح (MLPEs) مثل العاكس الميكروي أو منظمات DC، خصائص العاكس (مثل خوارزميات تعقّب تتبع نقطة الاستطاعة العظمى (MPPT) والتحكم بالسلاسل)، أو استخدام تقنيات ألواح مقاومة للتظليل (مثل أنصاف الخلايا، أو خلايا التلامس الخلفي (خطوط توصيل على الوجه الخلفي)). لا يشكّل التظليل بحد ذاته مشكلة في السلامة، لكن البقع الساخنة الناتجة عن التظليل المستمر يمكن أن تؤدي إلى أعطال لاحقة، مثل: آثار احتراق فشل في دايود العبور، وتكسّر الزجاج، وحدوث قوس كهربائي أو نشوب حريق كما يمكن أن يساهم التظليل في تسريع عملية التقادم، مما يؤدي إلى معدلات تدهور أعلى. يُفضّل أخذ أثر التظليل بعين الاعتبار أثناء مرحلة التخطيط للنظام، لأن المعالجة اللاحقة تكون غالبًا متأخرة أو غير فعّالة. رغم أن استخدام أجهزة مثل MLPEs قد يحسّن الأداء تحت التظليل، إلا أن المكاسب الناتجة قد لا تغطّي الخسائر المرتبطة بهذه الأجهزة نفسها (بسبب كفاءتها المنخفضة)، كما أن التظليل ما يزال يؤدي إلى تفعيل دايود العبور وتشكل بقعة ساخنة على الخلية المظللة، مما يزيد خطر مشاكل الموثوقية. لذلك، يُنصح باستخدام هذه الأجهزة فقط في المناطق المتأثرة بالتظليل، بدلًا من تركيبها على كل الألواح. ويُفضّل دائمًا إجراء تحليل جدوى اقتصادية لتحديد الخيار الأمثل.		
	السلامة	الأداء:	

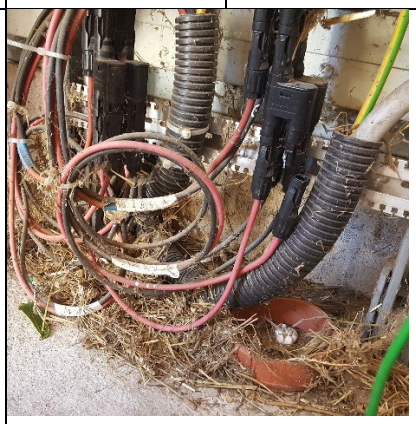
الحد من الضرر	الإجراءات التصحيحية	الإجراءات الوقائية (موصى بها)	الإجراءات الوقائية (اختيارية)
	يجب استبدال أو إصلاح الألواح الشمسية المتضررة بشكل غير مباشر والتي تُشكّل خطرًا على السلامة أو تصل درجة الخطورة فيها إلى 5. كما يجب إزالة الأشجار أو النباتات التي تتسبب في خسائر تظليل مرتفعة.	إجراء تحليل تظليل أساسي (يتضمن بيانات تظليل/شمسي سنوية كاملة) لتحديد المناطق والفترات التي تشهد تظليلًا كبيرًا. ويُفضّل تجنّب المناطق المعرضة للتظليل خلال الجزء المركزي من اليوم أو موسم السطوع الشمسي، أو تطبيق تدابير مناسبة وفعّالة من حيث التكلفة لتخفيف التظليل.	إجراء تحليل تفصيلي لخسائر التظليل، يتضمّن تقدير ومقارنة تكوينات النظام المختلفة وتدابير التخفيف. كما يُنصح بإجراء فحوصات دورية للنظام.

PVFS 3-3vs.01	أمثلة (الصفحة الأولى)		
أمثلة 3-1			
	تظليل ناتج عن عمود وأسلاك كهربائية (تصميم سيئ: قرب مفرط من عناصر تظليل مجاورة) (Jahn18)	تظليل بسبب تخطيط غير جيد أو بسبب عنصر إنشائي أُضيف لاحقًا (Moser17)	تظليل ناتج عن شجرة يتغير تأثيرها موسميًا حسب الأوراق (Moser17)
شدة الضرر	2 3 4	5	3 4
أمثلة 6-4			
	غياب أعمال الصيانة على سطح أخضر مستوٍ (بتصرف من SUPSI PVLab)	تظليل عمودي على لوح شمسي قياسي مزوّد بـ 3 دايودات عبور (بتصرف من J. Lin – PV Guider)	تظليل ناتج عن درابزين (حاجز حماية) (بتصرف من J. Lin – PV Guider)
شدة الضرر	5	3 4 5	2 3 4
مثال 7			
	تظليل دائم ناتج عن مدخنة (بتصرف من SUPSI PVLab)		
شدة الضرر	3 4 5		

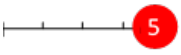
<table>
<tr><td>المكون
العيب</td><td colspan="3">العاكس
ارتفاع حرارة العاكس بشكل مفرط</td><td>PVFS 4-1vs.01</td></tr>
<tr><td>المظهر الخارجي</td><td colspan="4">يقوم العاكس بتقليل استطاعته أو بإيقاف نفسه تلقائيًا لحماية مكوّناته من الحرارة الزائدة (أي ما يُعرف بـ خفض الاستطاعة الحراري – Temperature Derating). ولا يصدر العاكس دائمًا رسالة واضحة مثل "تخفيض الاستطاعة" أو "خفض حراري"، لذلك يُوصى بمراقبة سلوك العاكس من خلال تحليل منحنيات الأداء (الاستطاعة مقابل الإشعاع الشمسي).</td></tr>
<tr><td>آلية الكشف</td><td colspan="4">المراقبة (MON)، منحني الجهد والتيار (IV)، التصوير الحراري (IRT)</td></tr>
<tr><td>سبب العطل</td><td colspan="4">قد يحدث خفض الاستطاعة الحراري في العاكس لأسباب متعددة، مثل تركيب غير صحيح للعاكس، أو فشل في عمل المروحة، أو تراكم الغبار الذي يمنع تبديد الحرارة، أو برمجة غير صحيحة للعاكس
الإنتاج ☐ | التركيب ☐ | التشغيل ☐</td></tr>
<tr><td>التأثير الناتج</td><td colspan="4">عند وصول المكوّنات الخاضعة للمراقبة داخل العاكس إلى درجة الحرارة التشغيلية القصوى، ينتقل العاكس إلى نقطة تشغيل منخفضة الاستطاعة. يتم تقليل الاستطاعة تدريجيًا خطوة بخطوة، وفي الحالات القصوى، قد يتوقف العاكس عن العمل كليًا. وبمجرّد أن تنخفض درجة حرارة المكونات المتأثرة إلى ما دون القيمة الحرجة، يعود العاكس إلى نقطة التشغيل المثلى. يؤدي هذا الخلل الجزئي أو الكلي في عمل العاكس إلى خسائر في الأداء، ويمكن أن تتفاقم الخسائر إذا لم يتم حل المشكلة. في أسوأ الحالات، يتوقف العاكس بالكامل. مع ذلك، فإن ارتفاع حرارته لا يؤثر على سلامة الألواح الشمسية.
السلامة ⬢ | الأداء: 3 4 5</td></tr>
<tr><td>الحد من الضرر</td><td>الإجراءات التصحيحية</td><td>الإجراءات الوقائية (موصى بها)</td><td colspan="2">الإجراءات الوقائية (اختيارية)</td></tr>
<tr><td></td><td>بعد تحديد سبب خفض الاستطاعة الحراري، يجب معالجة الخلل. كما يجب تنظيف الفلاتر ومسارات تبديد الحرارة من أي انسدادات أو شوائب.</td><td>الالتزام بإجراءات التركيب الصحيحة استخدام تقنيات تبريد مناسبة إجراء فحوصات دورية لوحدات التهوية.</td><td colspan="2">مراقبة درجة حرارة العاكس الشمسي بشكل مستمر.</td></tr>
</table>

PVFS 4-1vs.01	أمثلة (الصفحة الأولى)				
أمثلة 3-1					
	تراكم الغبار يعيق تبديد الحرارة (بتصرف من TÜV Rheinland)		فلتر هواء متّسخ يسبب ارتفاع حرارة العاكس (بتصرف من TÜV Rheinland)		تركيب غير مناسب (تعرض مباشر لأشعة الشمس) (بتصرف من TÜV Rheinland)
شدة الضرر						

<table>
<tr><td>المكون
العيب</td><td colspan="3">العاكس
التركيب الخاطئ للعاكس</td><td>PVFS 4-2vs.01</td></tr>
<tr><td>المظهر الخارجي</td><td colspan="4">يجب تركيب العاكس وفقًا لتعليمات التركيب. ومن الأعطال الشائعة: تركيبه بالقرب من مصادر قابلة للاشتعال، أو متفجّرة، أو تآكلية، أو رطبة. غالبًا لا يتم الالتزام بالحد الأدنى من مسافات الامان من الأعلى أو الأسفل أو الجوانب. وفي حال عدم تثبيت كابلات الدخل بشكل محكم، قد تحدث نقاط تماس مرتخية، مما يؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة في تلك النقاط، وبالتالي انخفاض الأداء أو خطر نشوب حريق. يجب أن يكون العاكس قابلًا للوصول بسهولة لأغراض التشغيل والصيانة، وأن يتم تثبيته بأمان على قاعدة مناسبة.</td></tr>
<tr><td>ألية الكشف</td><td colspan="4">الفحص البصري (VI)، والمراقبة (MON)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">سبب العطل</td><td colspan="4">مخالفة تعليمات دليل التركيب، مثل تركيب العاكس بالقرب من مواد قابلة للاشتعال مثل الخشب، أو تحت أشعة الشمس المباشرة. عدم الالتزام بالمسافات الدنيا من الجوانب والمكوّنات المجاورة.</td></tr>
<tr><td>الإنتاج ☐</td><td>التركيب ■</td><td colspan="2">التشغيل ☐</td></tr>
<tr><td>التأثير الناتج</td><td colspan="4">قد يؤدي التركيب غير الصحيح للعاكس إلى خطر على المستخدمين أو ظروف تشغيل خطرة وقد ينتج عنه ارتفاع حرارة العاكس. كما أن تشغيل العاكس في بيئة تحتوي على أبخرة أو غازات قابلة للاشتعال قد يؤدي إلى انفجار. حيث يمكن أن يصبح العاكس شديد السخونة أثناء التشغيل. لذلك يجب: الالتزام بتعليمات المسافات من الجانبين والأعلى لضمان تبريد كافٍ تجنّب تعرّض العاكس لأشعة الشمس المباشرة وضمان سهولة الوصول إليه لتفادي الحوادث أثناء أعمال الصيانة.</td></tr>
<tr><td>السلامة</td><td>m e f</td><td>الأداء:</td><td colspan="2">1 2 3 4 5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">الحد من الضرر</td><td>الإجراءات التصحيحية</td><td>الإجراءات الوقائية (موصى بها)</td><td colspan="2">الإجراءات الوقائية (اختيارية)</td></tr>
<tr><td>تفكيك المكوّن وإعادة تركيبه وفق تعليمات التركيب الصحيحة.</td><td>الالتزام بتعليمات التركيب المعتمدة، واستخدام تقنيات تبريد مناسبة، وإجراء فحوصات دورية لوحدات التهوية</td><td colspan="2">مراقبة درجة حرارة العاكس بشكل مستمر.</td></tr>
</table>

PVFS 4-2vs.01	أمثلة (الصفحة الأولى)		
أمثلة 3-1			
	تركيب تحت أشعة الشمس المباشرة (بتصرف من TÜV Rheinland)	يصعب الوصول إلى العواكس لأغراض التشغيل والصيانة (بتصرف من TÜV Rheinland)	مسافات غير كافية من الأسفل أو الأعلى أو الجوانب (بتصرف من TÜV Rheinland)
شدة الضرر	3	2	3
		m e	f
أمثلة 5-4			
	غلاف خارجي غير مناسب (بتصرف من TÜV Rheinland)	وجود مواد قابلة للاشتعال بالقرب من العاكس (بتصرف من SUPSI PVLab)	
	1	1	f

<table>
<tr><td>المكون
العيب</td><td colspan="3">العاكس
العاكس لا يعمل (فشل كامل في عمل العاكس)</td><td>PVFS 4-3vs.01</td></tr>
<tr><td>المظهر الخارجي</td><td colspan="4">عند عدم عمل العاكس رغم وجود ظروف إنتاج جيدة، فمن المشاكل الشائعة: عدم إعادة التشغيل بعد أعطال الشبكة أو أعطال العزل. قد يُظهر العاكس رموز خطأ تساعد في فهم المشكلة، ويمكن ملاحظتها عبر شاشة العرض أو سجل البيانات في نظام المراقبة. من أمثلة الأعطال المادية (Hardware) في العاكس: تغير في لون التوصيلات الكهربائية أو احتراقها، احتراق الفيوزات. يمكن الكشف عن الأجزاء التالفة من خلال الفحص البصري أو التصوير الحراري بالأشعة تحت الحمراء (IRT).</td></tr>
<tr><td>ألية الكشف</td><td colspan="4">المراقبة (MON)، (الفحص البصري (VI)، فمنحنى التيار والجهد (I–V)، جهد الدارة المفتوحة (Voc))</td></tr>
<tr><td rowspan="2">سبب العطل</td><td colspan="4">يحدث التوقف الكامل في العاكس نتيجة خلل في مكوّن واحد أو أكثر من مكونات الجهاز (سواء كانت مادية أو برمجية)، أو بسبب أعطال مرتبطة بالتأريض، مثل رطوبة عالية داخل العاكس أو مشكلة في البرنامج الثابت (سوفت وير)</td></tr>
<tr><td>الإنتاج ☐</td><td>التركيب ☐</td><td>التشغيل ☐</td><td></td></tr>
<tr><td>التأثير الناتج</td><td colspan="4">يؤدي التوقف الكامل في عمل العاكس إلى خسائر كبيرة في الأداء، ويجب اتخاذ إجراءات فورية. في حال عدم نجاح إعادة التشغيل، أو تكرار الخطأ، يجب تحديد السبب غالبًا من قبل فريق خدمة فني مختص. يمكن حل المشاكل البرمجية من خلال تحديث البرنامج الثابت (سوفت وير) سواء لأسباب فنية أو لتحديث توافق النظام مع المعايير الجديدة ومتطلبات الشبكة. في حين أن المكونات المادية التالفة في العواكس المركزية (Central Inverters) غالبًا ما يتم إصلاحها، أما عواكس السلسلة (String Inverters) عادةً ما يتم استبدالها لأسباب اقتصادية. وقد تتسبب المكونات المادية التالفة في خطر نشوب حريق أو صعقة كهربائية، ولذلك يجب معالجتها من قبل فنيين مؤهّلين فقط.
السلامة الأداء: </td></tr>
<tr><td rowspan="2">الحد من الضرر</td><td colspan="2">الإجراءات التصحيحية</td><td>الإجراءات الوقائية (موصى بها)</td><td>الإجراءات الوقائية (اختيارية)</td></tr>
<tr><td colspan="2">إعادة تشغيل العاكس استبدال المكوّنات التي تُظهر خللًا أو حرارة غير طبيعية تحديث البرنامج (سوفت وير)</td><td>استخدام التصوير الحراري (IRT) وقياس جهد الدارة المفتوحة (Voc) للكشف عن توصيلات ضعيفة أو مكوّنات معيبة.</td><td></td></tr>
</table>

PVFS 4-3vs.01	أمثلة (الصفحة الأولى)				
أمثلة 3-1					
	فشل في العزل الكهربائي (TÜV Rheinland)		توقف كامل عن التشغيل (TÜV Rheinland)		مكوّن مادي تالف (Sinclair17)
شدة الضرر						

ISBN 978-3-907281-71-0