Machine Translated by Google

Đánh giá năng lư ợng tái tạo và bền vững 110 (2019) 83–100

Danh sách nội dung có sẵn tại ScienceDirect

Đánh giá năng lư ợng tái tạo và bền vững

trang chủ tạp chí: www.elsevier.com/locate/rser

# Đánh giá các yếu tố môi trư ờng làm giảm hiệu suất của các mô-đun quang điện dựa trên wafer silicon: Phư ơ ng pháp phát hiện lỗi và các kỹ thuật giảm thiểu cần thiết

Manju Santhakumari ,Netramani Sagar

CSIR-Viện nghiên cứu địa vật lý quốc gia, Hyderabad, Telangana, Ấn Độ

THÔNG TIN BÀI VIẾT

Từ khóa:
Các yếu tố môi trư ờng
Pin mặt trời
Công nghệ quang điện
Chế độ lỗi
Sự suy thoái
Giảm nhẹ

TÓM TẮT

Năng suất năng lư ợng từ nhà máy quang điện mặt trời chủ yếu phụ thuộc vào thông lư ợng mặt trời có sẵn, chất lư ợng của thiết bị điều hòa điện liên quan đư ợc tích hợp trong hệ thống, thông số kỹ thuật của tấm pin, vị trí địa lý và các thông số môi trư ờng. Nghiên cứu này cung cấp đánh giá toàn diện về tác động của các yếu tố môi trư ờng lên các thành phần khác nhau của hệ thống quang điện. Nghiên cứu nhấn mạnh các yếu tố môi trư ờng như bụi, nhiệt độ môi trư ờng, tốc độ gió, độ ẩm, tuyết rơ i, mư a đá và bão cát, làm giảm hiệu suất năng lư ợng của nhà máy điện mặt trời và các chế độ hỏng hóc khác nhau của tấm pin do các yếu tố này gây ra. Cuối cùng, trọng tâm là các phư ơ ng pháp tìm ra các chế độ hỏng hóc khác nhau của tấm pin quang điện và các kỹ thuật giảm thiểu khác nhau để cải thiện năng suất năng lư ợng. Các kỹ thuật giảm thiểu này rất cần thiết để định vị các mảng quang điện ở vùng xa xôi, sa mạc, nhiều bụi và gần với tốc độ gió cao hơ n. Đánh giá này cung cấp triển vọng cho các nhà phát triển thực hiện các biện pháp phòng ngừa trư ớc khi xác định vị trí và thiết kế nhà máy điện mặt trời.

## 1. Giới thiệu

Ánh sáng mặt trời, nguồn năng lư ợng tự nhiên và chủ yếu, chiếu xuống bề mặt trái đất, đáp ứng nhu cầu năng lư ợng của hàng tỷ ngư ời. Mặc dù năng lư ợng mặt trời không liên tục, như ng nó cung cấp độ tin cậy cao hơ n, an ninh năng lư ợng, độc lập và gián tiếp giúp giảm sự nóng lên toàn cầu. Việc khai thác năng lư ợng mặt trời bằng các công nghệ luôn phát triển đã tồn tại từ thời cổ đại. Tuy nhiên, ứng dụng này gần đây đã đư ợc thúc đẩy trong các lĩnh vực sư ởi ấm không gian, bơ m nư ớc, khử muối và phát điện bằng các mô-đun PV [1].

Pin quang điện (PV) là thiết bị chuyển đổi năng lư ợng quang hóa giúp chuyển đổi năng lư ợng ánh sáng thành điện thông qua hiện tư ợng quang điện.
Số lư ợng các tế bào quang điện đư ợc kết nối nối tiếp tạo thành một mô-đun và nhiều các mô-đun đư ợc kết nối theo chuỗi và song song tạo thành một mảng [2]. Hiệu suất của một tế bào quang điện là tỷ lệ giữa công suất đầu ra đư ợc cung cấp với lư ợng năng lư ợng mặt trời chiếu vào bề mặt. Theo đó, hiệu suất của hệ thống PV phụ thuộc vào công suất đầu ra từ mô-đun, liên quan đến đặc điểm của tế bào và cũng phụ thuộc vào điều kiện xung quanh [3]. Hệ thống PV chủ yếu bao gồm các tế bào quang điện, pin, bộ biến tần, bộ điều khiển, v.v. Các vật liệu khác nhau có hiệu suất và chi phí khác nhau đư ợc sử dụng để chế tạo các tế bào PV, sản xuất điện với sự trợ giúp của các thành phần phụ trợ khi ánh sáng Mặt trời chiếu vào các tế bào này.

bề mặt. Hiệu suất của các công nghệ PV phụ thuộc vào nhiều yếu tố khí hậu như bức xạ mặt trời tích lũy, nhiệt độ tế bào, nhiệt độ hoạt động, tốc độ gió, bóng râm tự nhiên hoặc nhân tạo trên tấm pin, mư a đá, sét, tuyết, băng, khối không khí, mây, bụi bẩn trên bề mặt PV, vĩ độ lắp đặt, sự xuống cấp của mô-đun, v.v. Năng suất của các tấm pin PV tích hợp vào hệ thống ảnh hư ởng đáng kể đến hiệu quả của toàn bộ thiết bị và do đó ảnh hư ởng đến tốc độ sản xuất điện [4]. Hiệu suất của tấm pin mặt trời phụ thuộc vào nhiều yếu tố, chẳng hạn như kích thư ớc của mảng PV đư ợc sử dụng, loại mô-đun, hư ớng từ chính nam, bư ớc của tấm pin mặt trời, góc từ phư ơ ng ngang, độ dày cáp, bộ điều khiển sạc, biến tần và hiệu suất của pin.

Mục đích của bài báo là cung cấp một bản tóm tắt ngắn gọn về các yếu tố môi trư ờng như bụi, nhiệt độ môi trư ờng, tốc độ gió, độ ẩm, tuyết rơ i, mư a đá và bão cát ảnh hư ởng xấu đến sản lư ợng năng lư ợng của các hệ thống PV. Bài báo này xem xét các thành phần khác nhau của hệ thống PV và ảnh hư ởng của các yếu tố môi trư ờng đến các thành phần này. Bài báo này làm nổi bật tác động của các điều kiện khí hậu và môi trư ờng đến hiệu suất PV và tóm tắt các lỗi mô-đun khác nhau. Nghiên cứu tập trung vào các phư ơ ng pháp khác nhau để phân tích cơ chế suy thoái của các mô-đun PV. Bài đánh giá cũng đề cập đến các kỹ thuật có thể giúp khách hàng hoặc nhà đầu tư thực hiện các phư ơ ng pháp phòng ngừa để nâng cao hiệu suất của PV mặt trời

Tác giả liên hệ.
Địa chỉ email: smanju@ngri.res.in (M. Santhakumari).

https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.024 Nhận ngày 6 tháng 6 năm 2018; Nhận dư ới dạng đã sửa đổi ngày 25 tháng 2 năm 2019; Chấp nhận ngày 8 tháng 4 năm 2019
1364-0321/ © 2019 Elsevier Ltd. Bảo lư u mọi quyền.

Machine Translated by Google



Viết tắt

3D ba chiều
AC dòng điện xoay chiều
Tại bạc
Al2O3 nhôm oxit
Phân tích phư ơ ng sai ANOVA
ARC lớp phủ chống phản xạ
Công ty dầu khí BAPCO Bahrain
Thiết tòa nhà tích hợp quang điện
CCD bị ghép nối điện tích BIPV
Trung tâm CEEE về năng lư ợng và kỹ thuật môi trư ờng
Dòng điện một chiều DC
ĐỘNG LỰC khóa tối nhiệt ảnh
DUBIT trư ờng đại học nghiên cứu khoa học và công nghệ
trung tâm ứng dụng và nghiên cứu
EDS màn hình điện động lực học
ANH TA sự phát quang điện
EVA etilen vinyl axetat
H·V điện áp cao
TIẾNG ANH khóa nhiệt độ đư ợc chiếu sáng
VÀ hồng ngoại
IV dòng điện-điện áp
DẪN ĐẾN điốt phát sáng
ĐỀ N khóa nhiệt độ
Trung tâm vũ trụ MBRSC mohammed bin rashid
MENA Trung Đông và Bắc Phi
VỚI viện công nghệ massachusetts
Transistor hiệu ứng trư ờng kim loại-ôxit-bán dẫn MOSFET
NISE Viện năng lư ợng mặt trời quốc gia
Viện công nghệ quốc gia NIT-H, hamirpur
Nhiệt độ hoạt động danh nghĩa của NOCT
Môi trư ờng đất bình thư ờng NTE
Vật liệu thay đổi pha PCM
PEDOT poly (3,4-ethylene dioxythiophene)
độ pH tiềm năng của hydro
PSS poly (4-styrene sulfonat)
p-TYPE điện tích dư ơ ng của lỗ
PV quang điện
Điện áp điện PV
PV/T quang điện/nhiệt
Nghiên cứu và phát triển R&D
Kính hiển vi điện tử quét SEM
Vâng silicon
SPSS gói thống kê cho khoa học xã hội
Kính hiển vi điện tử truyền qua TEM
TiO2 titan dioxit
_____ Các Tiểu Vư ơ ng quốc Ả Rập Thống nhất
MỘT trư ờng đại học malaysia
Đơ n vị nghiên cứu năng lư ợng tái tạo URERMS tại khu vực sa mạc Sahara
Huỳnh quang cực tím UV-F
nhiễu xạ bột tia X-quang XRD

Danh pháp

MỘT diện tích bề mặt (m2 )
hằng số a và b
là trư ớc buổi trư a: trư ớc buổi trư a
D tỷ lệ suy thoái
d T chênh lệch nhiệt độ (°C)
FF hệ số lấp đầy, một chỉ số chất lư ợng của pin mặt trời
Gr grash của số
GT thông lư ợng bức xạ 1000 W/m2
h hệ số truyền nhiệt đối lư u (W/m2 °C)
Hcond tốc độ truyền nhiệt trên một đơ n vị diện tích mặt cắt ngang (W/
tôi 2 )
Hconv truyền nhiệt đối lư u (W/m2 )
Đậu truyền nhiệt bức xạ (W/m2 )
IV dòng điện-điện áp
Trong dòng điện điểm công suất cực đại tư ơ ng ứng với đư ờng cong dòng
điện-điện áp của một tế bào quang điện (A)
Có dòng điện ngắn mạch (A)
thể k độ dẫn nhiệt của vật liệu (W/m °C)
Chiều dài L của các tế bào năng lư ợng mặt trời (m)
mm milimét
N số năm
N số nusselt
Nc sét đánh chấp nhận đư ợc
Nd sét đánh trực tiếp
tư ơc xông nano mét
PV điện áp nguồn
Chiều công suất cực đại của pin mặt trời (W)
chiều chiều: sau buổi trư a
Tiền số prandtl
mặt trời số rayleigh
đối mặt nhiệt độ môi trư ờng (°C)
Tc nhiệt độ hoạt động của mô-đun PV (°C)
ĐẾN nhiệt độ cao mà hiệu suất của mô-đun PV giảm
đến 0 (°C)
Vm điện áp điểm công suất cực đại (V)
Học nghề điện áp mạch hở (V)
TRONG oát
x hư ớng và khoảng cách (m)

Biểu tư ợng Hy Lạp

€ dấu hiệu euro
tham chiếu hệ số nhiệt độ (%/°C)
hệ số bức xạ mặt trời
c ΔT sự khác biệt giữa máy thu và nhiệt độ môi trư ờng xung quanh
(K)
hiệu quả độ phát xạ của bề mặt
c hiệu suất điện của tế bào
Tôi Hiệu suất hoạt động của tấm pin PV
Ồ hiệu quả của biển tên
ηTref hiệu suất điện của mô-đun ở nhiệt độ tham chiếu Tref
S hằng số stefan-boltzmann (W/m2 K 4 )

hệ thống. Các kỹ thuật giảm thiểu bao gồm các cơ chế làm mát khác nhau, hệ thống chống sét và nhiều cách tiếp cận khác nhau để loại bỏ bẩn từ bề mặt của các tấm. Mặc dù bài báo này tập trung chủ yếu là trên các mô-đun PV dựa trên silicon-wafer, một số đánh giá có thể cũng có thể liên quan đến một số mô-đun PV màng mỏng.

## 2. Hệ thống PV và ảnh hư ởng của các yếu tố môi trư ờng

Hệ thống điện mặt trời bao gồm các tấm pin mặt trời, bộ biến tần, pin, hệ thống dây điện, thiết bị điều hòa điện và tải điện. Thời tiết, điều kiện khí hậu, thiết kế và lắp đặt các thành phần PV đã có vai trò đáng kể trong việc cung cấp công suất đầu ra từ hệ thống PV. Các phần sau đây thảo luận về tác động của các yếu tố môi trư ờng lên

Machine Translated by Google



nhiều thành phần PV khác nhau.

### 2.1. Mô-đun PV

Tuổi thọ của mô-đun PV phụ thuộc vào độ tin cậy (dễ hỏng sớm) và độ bền (tốc độ suy thoái chậm), mà lần lượt phụ thuộc vào các chế độ suy thoái. Việc tiếp xúc ngoài trời gây ra ứng suất môi trường nghiêm trọng cho các mô-đun PV và do đó, công suất đầu ra bị cản trở. Các yếu tố môi trường ảnh hưởng rộng rãi đến độ ổn định của mô-đun và việc dự đoán sự suy thoái rất phức tạp vì nhiều ứng suất khác nhau sẽ được kích hoạt thông qua nhiều cơ chế khác nhau. Sự suy thoái của mô-đun PV chủ yếu bị ảnh hưởng bởi bốn yếu tố khí hậu, tức là nhiệt độ, bức xạ, độ ẩm và ứng suất cơ học, từ đó gây ra sự suy thoái như ăn mòn, đổi màu, tách lớp và vỡ [5]. Độ thấm của tấm nền của mô-đun PV tăng lên ở nhiệt độ và độ ẩm cao hơn, vì nhiệt độ của mô-đun luôn cao hơn nhiệt độ môi trường. Độ ẩm xâm nhập vào mô-đun làm suy giảm vật liệu bám dính giữa tế bào PV và kim loại tiếp xúc, gây ra sự ăn mòn và do đó dẫn đến rò rỉ dòng điện. Sự xâm nhập của độ ẩm do độ ẩm và nhiệt độ cao hơn sẽ ăn mòn bề mặt kim loại và làm tăng sự tách lớp giữa tế bào quang điện và vật liệu bao bọc. Tia UV làm suy giảm vật liệu đóng gói của mô-đun PV (EVA) gây ra hiện tượng đổi màu vàng hoặc nâu. Sự thay đổi màu sắc làm tăng tổn thất truyền quang và do đó làm giảm hiệu suất của mô-đun. Các yếu tố khí hậu khác như tuyết và gió tạo ra tải trọng cơ học lên mô-đun PV. Mưa đá gây hư hỏng cho các mô-đun kính và bão cát gây mài mòn bề mặt mô-đun [6].

### 2.2. Cấu trúc kim loại

Khung mô-đun PV là cấu trúc kim loại dễ bị sét đánh và phải được nối đất đúng cách để giảm thiểu thiệt hại cho hệ thống PV. Cấu trúc nhôm hoặc thép mạ kẽm có khả năng chống chịu gió và các điều kiện khí hậu khác. Việc thiết kế và lắp đặt các cấu trúc kim loại này phải được thực hiện thận trọng để đáp ứng các yêu cầu về tốc độ gió của địa điểm; nếu không, các tấm pin sẽ bị nhấc khỏi cấu trúc.

### 2.3. Dây hệ thống PV

Dây PV là dây điện một dây dẫn để kết nối các tấm pin PV với các thành phần điện khác trong hệ thống PV. Việc lựa chọn dây phù hợp và bảo dưỡng định kỳ ảnh hưởng tích cực đến hiệu suất PV. Việc sử dụng cáp kém chất lượng không phù hợp với điều kiện môi trường làm tăng khả năng hỏng hóc của PV

hệ thống. Dây PV phải mềm dẻo, chống thấm nước, chống tia cực tím và chịu được sự thay đổi nhiệt độ do tiếp xúc ngoài trời.

Dây điện hở chịu các yếu tố lão hóa do các thành phần hóa học, bức xạ mặt trời, sự phát triển của vi khuẩn và nhiệt độ. Dây điện hoặc cáp điện trong môi trường ngoài trời phải được bảo vệ bằng ống dẫn kim loại mềm để tránh ánh nắng mặt trời và mưa. Cáp cố định trong ống dẫn ngầm phải được bịt kín ở cả hai đầu. Nếu không, chúng sẽ bị bão hòa với nước dẫn đến hỏng điện trở cách điện. Ngâm trong nước lâu hơn sẽ dẫn đến rò rỉ dòng điện và đoản mạch. Mặc dù nhà sản xuất cung cấp xếp hạng như khả năng chống tia cực tím và chịu được nhiệt độ, cáp vẫn bị lão hóa (vỏ ngoài của cáp trở nên giòn và ảnh hưởng đến độ ổn định của tia cực tím) theo thời gian do tiếp xúc liên tục với bức xạ cao. Cáp tiếp xúc với lớp phủ tuyết cũng dễ bị hư hỏng. Sự hiện diện của hóa chất trong đất làm tăng ứng suất hóa học trên cáp PV thông qua các vết nứt phát triển trên đó. Độ ẩm trong khí quyển gây ra đoản mạch và ăn mòn các dây dẫn bằng đồng. Việc lựa chọn cáp bền đáp ứng các chứng chỉ và lắp đặt đúng cách sẽ khắc phục được sự cố hỏng PV ở một mức độ nào đó.

### 2.4. Pin

Việc lắp pin vào hệ thống quang điện để lưu trữ năng lượng là giải pháp thông minh giúp khắc phục tính không liên tục của năng lượng mặt trời.
Tuổi thọ của pin chủ yếu phụ thuộc vào các thành phần, phương pháp sạc, nhiệt độ, tần suất xả và thiết kế của hệ thống PV. Mặc dù có công nghệ tiên tiến, một hệ thống lưu trữ pin mạnh mẽ, có thể chịu được nhiệt độ cực cao và khí hậu lạnh giá vẫn còn là vấn đề gây tranh cãi. Nhiệt độ hoạt động là một thông số quan trọng cần được xem xét khi định cỡ ngân hàng pin. Pin sử dụng phản ứng điện hóa học và ở nhiệt độ cao, phản ứng hóa học tăng cường khiến tuổi thọ pin giảm sút. Nhưng ở nhiệt độ cao hơn, dung lượng và hiệu suất của pin tăng lên.

Tuy nhiên, vận hành pin ở nhiệt độ thấp hơn làm giảm tốc độ phản ứng, hiệu suất và dung lượng, nhưng tuổi thọ của pin tăng lên. Do đó, việc lựa chọn nhiệt độ vận hành là điều tất yếu để hệ thống PV hoạt động bình thường. Một giải pháp khả thi để duy trì nhiệt độ pin là làm mát thụ động (quạt cách nhiệt hoặc hệ thống tuần hoàn nước) và hệ thống làm mát chủ động (điều hòa không khí) giúp cải thiện tuổi thọ của pin. Tuy nhiên, hệ số hoàn trả năng lượng cho pin tăng lên theo quá trình làm mát hàng ngày của phòng pin [7]. Pin bị mất đáng kể trong điều kiện khí hậu lạnh do lớp mạ bị thoái hóa, dung lượng năng lượng và công suất thấp hơn. Ở nhiệt độ thấp hơn, pin phải đối mặt với tình trạng phản ứng hóa học chậm lại khiến độ dẫn điện của chất điện phân thấp hơn. Các quá trình này làm giảm năng lượng và công suất của cell, do đó khiến pin bị hỏng hiệu suất trong điều kiện khí hậu lạnh. Quản lý nhiệt của pin là một lựa chọn khả thi để tăng tuổi thọ của pin ở các quốc gia lạnh [8].
Sưởi ấm chủ động hoặc thụ động dựa trên vật liệu không khí, chất lỏng và thay đổi pha làm ấm pin hiệu quả đến nhiệt độ môi trường trước khi khởi động.

### 2.5. Biến tần

Bộ não của hệ thống PV, các bộ biến tần chuyển đổi đầu ra dòng điện một chiều từ các mô-đun PV thành dòng điện xoay chiều. Môi trường hoạt động (trong nhà hoặc ngoài trời), các điều kiện lắp đặt như nhiệt độ môi trường, yêu cầu chống nước hoặc chống bụi, mức độ tiếng ồn có thể nghe thấy của bộ biến tần và các quy định về chất lượng điện năng ảnh hưởng đến hiệu suất chuyển đổi của bộ biến tần. Ở những vị trí có nhiệt độ cao, việc lắp đặt bộ biến tần trong phòng tiện ích kín sẽ làm tăng nhiệt độ của phòng cũng như bộ biến tần, từ đó làm giảm tuổi thọ của bộ biến tần và làm giảm hiệu suất. Cần có thông gió và luồng không khí thích hợp để đáp ứng nhiệt độ hoạt động phù hợp do nhà sản xuất cung cấp.

Biến tần được đặt gần khu dân cư sẽ truyền nhiệt đến nơi xung quanh. Tuy nhiên, đối với khí hậu lạnh, điều này sẽ giúp duy trì nhiệt độ phòng xung quanh. Thiết bị phải được lắp đặt ở những nơi được bảo vệ khỏi các điều kiện môi trường như độ ẩm, nhiệt độ, hơi nước và các hạt bụi để hoạt động bình thường và đáp ứng các thông số kỹ thuật do nhà sản xuất cung cấp. Việc đưa vào thiết bị chống sét lan truyền giúp bỏ qua điện áp cao do sét gây ra ở những khu vực không thể nối đất hoặc những nơi dễ bị sét đánh.

## 3. Các yếu tố và ảnh hưởng của điều kiện môi trường đến hiệu suất PV

Hiệu quả và độ tin cậy mà hệ thống điện mặt trời tạo ra phụ thuộc vào nhiều thông số thay đổi và bất biến.
Hiệu quả của hệ thống PV được cải thiện bằng cách thay đổi một số biến số của người dùng, theo chỉ định của nhà sản xuất. Hai thành phần thiết yếu cung cấp năng suất tối ưu là tấm pin PV và lượng bức xạ mặt trời chiếu vào bề mặt PV. Các thông số biến đổi giúp cải thiện hiệu suất của mô-đun PV bao gồm vật liệu được triển khai để sản xuất tế bào PV và lớp phủ để bảo vệ khỏi các điều kiện môi trường. Các thành phần bất biến bao gồm

Machine Translated by Google



Bảng

| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
|---|---|---|---|---|---|
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |

hiệu suất của các cell đư ợc sử dụng, đặc điểm của lớp kính phủ trên tấm pin, tổn thất quang học và phản ứng của nhiệt độ liên quan đến điện áp đầu ra của hệ thống PV.

Ngoài ra, nhiều thông số môi trư ờng và thiết kế của tấm pin cũng ảnh hư ởng đến hiệu suất của tấm pin mặt trời và do đó cản trở hệ thống PV cung cấp năng lư ợng đầu ra đồng đều.

Các yếu tố sinh thái có thể điều chỉnh bao gồm vật liệu phản xạ năng lư ợng mặt trời (gư ơ ng kính tráng bạc, gư ơ ng phản xạ nhôm và gư ơ ng mặt trư ớc), giúp cải thiện khả năng hấp thụ năng lư ợng mặt trời mà không làm tăng khả năng tản nhiệt của bộ thu nhiệt PV; các chất gây ô nhiễm tại chỗ như ô nhiễm độc hại tiềm ẩn từ khí thải, carbon dioxide, ozone, hơ i nư ớc, khí dung; và lắp đặt tấm pin phù hợp để chịu đư ợc áp lực của bão.

Ngoài ra còn có các đặc điểm môi trư ờng tự nhiên cụ thể ảnh hư ởng đến bức xạ mặt trời và không thể thay đổi. Những đặc điểm này bao gồm cư ờng độ bức xạ mặt trời, bụi, vận tốc gió, lư ợng mư a, độ ẩm và nhiệt độ khí quyển. Các yếu tố thiết kế linh hoạt ảnh hư ởng đến sản lư ợng năng lư ợng từ tấm pin PV bao gồm việc kết hợp các bộ theo dõi năng lư ợng mặt trời và lắp đặt PV dựa trên góc nghiêng. Các khía cạnh ổn định ảnh hư ởng đến thiết kế lắp đặt bao gồm vị trí lắp đặt tấm pin PV theo chiều dọc hoặc chiều ngang, hư ớng giữa hư ớng đông nam và tây nam, tọa độ địa lý chính xác và độ cao để lắp đặt mô-đun PV. Phần sau đây thảo luận về các thông số khí quyển khác nhau chịu trách nhiệm làm giảm sản lư ợng năng lư ợng tối đa từ mô-đun PV và tác động của nó đến hiệu suất của tấm pin.

### 3.1. Bụi

Bụi là thuật ngữ chung đư ợc áp dụng cho các hạt vật chất có đư ờng kính thay đổi từ 0,10 μm đến 1000 μm. Lắng đọng bụi là một hiện tư ợng tự nhiên ảnh hư ởng xấu đến sản lư ợng năng lư ợng từ các tấm pin mặt trời bằng cách hấp thụ hoặc phản xạ bức xạ mặt trời. Sự tích tụ bụi chủ yếu bao gồm sự phát triển của các loài hữu cơ như vi khuẩn và nấm, chim làm tổ, phân chim, ăn mòn do phân chim, ô nhiễm bởi các sản phẩm thực vật, quá trình phong hóa hóa học, cacbon trong công nghiệp, xi măng, đá vôi, các hạt trong không khí, sợi nhỏ từ thảm và vải. Các điều kiện giúp bụi bám vào tấm pin là vận tốc không khí, hư ớng gió, độ ẩm, lư ợng mư a, tần suất của các cơ n bão bụi, nhiệt độ môi trư ờng, bề mặt hoàn thiện, góc nghiêng, loại đất và thảm thực vật xung quanh [ 9].

Các đặc tính của bụi liên quan đến các đặc tính hóa học, tĩnh điện, sinh học và vật lý của nó. Sự lắng đọng hoặc tích tụ bụi trên tấm pin mặt trời phụ thuộc vào các đặc tính vật lý của nó như hình dạng, kích thư ớc, trọng lư ợng và điều kiện môi trư ờng. Các hạt bụi nhỏ lắng đọng nhanh hơ n các hạt thô hơ n [10] và do lực Coulomb, các hạt tích điện có xu hư ớng tập hợp nhiều hơ n các hạt trung tính [11].

Dựa trên các điều kiện môi trư ờng, thành phần hóa học cũng như khoáng chất của bụi thay đổi tùy theo từng địa điểm [12]. Cư ờng độ bám dính [13] giữa bề mặt tấm PV và các hạt bụi phụ thuộc vào lư ợng bụi bị gió cuốn đi và hiệu ứng này tỷ lệ nghịch với đư ờng kính hạt bụi. Môi trư ờng cũng như điều kiện thời tiết cũng ảnh hư ởng đến quá trình lắng bụi và đặc điểm lắng đọng. Bụi tích tụ trên bề mặt PV dư ới dạng cặn ẩn, cặn khô và cặn ư ớt. Cặn ẩn xuất hiện khi hơ i ẩm trong sư ơ ng mù, sư ơ ng mù hoặc mây, độ ẩm tư ơ ng đối cao [13] và sư ơ ng [14] lắng xuống bề mặt tấm PV. Điều kiện khô khiến gió cuốn trôi các hạt bụi và lực hút Coulomb thu thập nhiều bụi hơ n, trong khi lực đẩy làm lơ lửng các hạt trong không khí do gió thổi. Tốc độ gió ảnh hư ởng đến quá trình lắng đọng bụi bẩn trên bề mặt PV theo hư ớng tích cực và tiêu cực dựa trên tốc độ gió, hư ớng gió, nguồn bụi và lắp đặt PV [15]. Giống như gió, lư ợng mư a cũng giúp cải thiện (làm sạch bề mặt PV) và làm giảm (các chất ô nhiễm không khí bị giữ lại do lư ợng mư a trên bề mặt PV) hiệu quả của tấm pin PV cùng một lúc. Nhiệt độ môi trư ờng cao hơ n làm tăng độ ẩm, giúp các hạt bụi bám vào bề mặt PV [15]. Lư ợng bụi lắng đọng trên bề mặt mô-đun giảm khi các tấm pin PV đư ợc lắp đặt ở khoảng cách lớn hơ n

Machine Translated by Google



góc nghiêng do tác động của trọng lực [10]. Vị trí lắp đặt PV cũng ảnh hưởng đến sự tích tụ bụi vì tỷ lệ lắng đọng cao hơn gần đến các ngành công nghiệp, vùng núi lửa và các khu vực dễ xảy ra bão cát [16].

Nơi bụi rơi trên bề mặt của tấm pin PV, năng suất tối đa từ các mô-đun PV được phân loại thành có thể thay đổi hoặc không thể thay đổi các yếu tố [9]. Bụi ảnh hưởng đến hiệu quả năng lượng của hệ thống PV theo những cách khác nhau. Bảng 1 [17–22] cho thấy một số công trình đã công bố về tác động của việc bám bẩn lên hiệu suất PV. Bụi làm giảm lượng ánh sáng mặt trời chiếu vào bề mặt tấm pin bằng cách phân tán ánh sáng mặt trời chiếu tới bức xạ vì kích thước của các hạt bụi lớn hơn bước sóng của bức xạ phát ra từ Mặt trời. Các nhà nghiên cứu [23] đã nhận thấy hiệu suất PV giảm 60% do sự hiện diện của bụi và không khí chất gây ô nhiễm trong khí quyển. Lớp bụi dày trên mô-đun bề mặt làm thay đổi các đặc tính quang học của tấm pin bằng cách tăng khả năng phản xạ ánh sáng, giảm khả năng truyền qua và do đó làm giảm PV đầu ra của tấm pin. Việc giảm độ truyền dẫn dẫn đến hiện tượng che bóng hạt do bụi tích tụ trên bề mặt tấm dựa trên kích thước bụi và mật độ. Sự che bóng một phần này gây ra sự thay đổi trong các đặc điểm điện của mảng PV dẫn đến mất điện do phân cực ngược tế bào và sự giảm tiếp theo trong hệ số lấp đầy [24]. Bụi lắng đọng cũng gây ra sự khác biệt về nhiệt độ giữa tấm được làm sạch và tấm phủ bụi, do đó dẫn đến sự thay đổi nhỏ trong ngắn mạch dòng điện và giảm đáng kể điện áp mạch hở. Một thí nghiệm được tiến hành trên các tế bào quang điện Si đa tinh thể cho thấy bụi lắng đọng trên bề mặt tấm kính làm giảm khả năng truyền sáng của tấm kính, và nhiệt độ của mô-đun, làm giảm mô-đun PV công suất đầu ra [19]. Bụi tích tụ trên tấm pin quang điện gây ra sự suy giảm quang phổ mặt trời đến bề mặt mô-đun. Sự giảm này dẫn đến sự suy giảm toàn bộ phạm vi mặt trời từ tia cực tím có thể nhìn thấy được do sự hấp thụ, phản xạ và tán xạ ánh sáng bởi bụi tích tụ [25].

### 3.2. Nhiệt độ

Trong hệ thống PV, nhiệt độ môi trường đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra công suất đầu ra và hiệu suất của mô-đun PV, vì nó phụ thuộc tuyến tính vào nhiệt độ hoạt động. Dựa trên loại ô được sử dụng trong mô-đun năng lượng mặt trời, tấm pin quang điện chuyển đổi gần 6–20% lượng bức xạ chiếu vào bề mặt của nó. Nhiệt độ môi trường tăng làm tăng nhiệt độ của tấm pin quang điện do đó làm giảm hiệu suất của mô-đun. Các thông số khí hậu như khí quyển nhiệt độ, tốc độ gió, hướng gió và các kiểu mây mạnh mẽ ảnh hưởng đến nhiệt độ của tấm pin, nhưng tốc độ mà sự thay đổi nhiệt độ phụ thuộc vào loại vật liệu PV được sử dụng và cách lắp đặt tấm pin PV. Khi nhiệt độ của tấm pin tăng lên, điện áp đầu ra của mô-đun sẽ giảm và tăng dòng điện một lượng nhỏ, làm giảm công suất đầu ra của toàn bộ hệ thống PV. Bảng 2 [26–30] nêu bật một số tài liệu đã xuất bản về ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường xung quanh đến hiệu suất PV. Tác động của nhiệt độ lên ô/mô-đun PV liên quan đến phương trình cơ bản như

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (1)$$

Khi nhiệt độ tăng, cả Voc và FF đều giảm tăng nhẹ Isc dẫn đến mối quan hệ tuyến tính đối với điện của tế bào hiệu quả được đưa ra bởi Ref. [31],

$$\eta_{tham\ chiếu} = \eta_{tham\ chiếu} [1 - \beta_{tham\ chiếu} (T_{tham\ chiếu} - T_{tham\ chiếu}) + \gamma \log_{10} G] \quad (2)$$

Một biểu thức tuyến tính truyền thống cho hiệu suất mô-đun sau việc coi giá trị γ bằng không được đưa ra bởi Tài liệu tham khảo [32],

$$\eta_{tham\ chiếu} = \eta_{tham\ chiếu} [1 - \beta_{tham\ chiếu} (T_{tham\ chiếu} - T_{tham\ chiếu})] \quad (3)$$

$\eta_{Tref}$ và βref là các giá trị do nhà sản xuất chỉ định mà sau này phụ thuộc vào vật liệu PV và Tref được đưa ra bởi, $= \frac{1}{\beta_{tham\ chiếu}}$ xúc của các tấm pin mặt trời trong bầu khí quyển mở gây ra sự gia tăng mô-đun nhiệt độ và cần phải tìm nhiệt độ hoạt động dự kiến của mô-đun PV để tính ra công suất đầu ra của hệ thống năng lượng mặt trời cell. NOCT là nhiệt độ đạt được bởi mô-đun PV với kết nối không tải và hoạt động trong NTE được liệt kê dưới đây [33]:

Thông lượng mặt trời trên bề mặt tế bào: 800 W/m2,
Nhiệt độ không khí: 293,16 K (20 °C),
Tốc độ gió trung bình: 1 m/s,
Lắp đặt: Mở mặt sau và nghiêng về phía có ánh nắng mặt trời vào buổi trưa.

Biểu thức gần đúng để tìm ra nhiệt độ hoạt động của mô-đun PV đối với độ rọi, GT (W/m2 ) được đưa ra bởi,

$$T_{cài đó} = T_{môi trường} + \frac{NOCT - 20}{800} \times G_T \quad (4)$$

Nhiệt độ hoạt động có tác động rất lớn đến hiệu suất và hiệu quả của pin mặt trời. Nhiệt độ của pin tăng sẽ làm giảm hiệu suất của tấm pin và do đó làm giảm hiệu quả của mô-đun. Phần giảm thiểu thảo luận về các kỹ thuật khác nhau để cải thiện hiệu quả bằng cách giảm nhiệt độ hoạt động.

Bảng 2

Tác động của nhiệt độ đến hiệu suất PV

| Thẩm quyền giải quyết | Hiệu ứng nhiệt độ | Vị trí | Loại tế bào |
|---|---|---|---|
| Rahman và cộng sự [26] | Cứ mỗi 100 W/m2 tăng bức xạ, nhiệt độ của tế bào quang điện được cải thiện lên 4,93 °C và 2,64 °C tương ứng với và không có làm mát. Đối với chiếu xạ 1000 W/m2 và 80 L/h hệ thống làm mát bằng nước, nhiệt độ của tế bào năng lượng mặt trời giảm xuống còn 22,4 °C, công suất đầu ra và hiệu suất được cải thiện lần lượt là 8,04 W và 1,23%. | UM, Malaysia. | Đơn tinh thể |
| Touati et al. [27] | Đối với PV đơn tinh thể, trong ngày (8:30 sáng đến 15:45 chiều), sự thay đổi trong nhiệt độ (41,9, 48, 49,9 và 40,4 °C) làm tăng hiệu suất PV (0,71, 0,76, 0,78 và 0,8). Đối với PV vô định hình, trong ngày (8:30 sáng đến 15:45 chiều), sự thay đổi trong nhiệt độ (42,9, 48,4, 45,4 và 40,9 °C) làm tăng hiệu suất PV (0,385, 0,383, 0,358 và 0,616). | Doha, Qatar. | Đơn tinh thể và vô định hình |
| Rahman và cộng sự [28] | Hiệu suất điện giảm 0,22% khi nhiệt độ của tế bào quang điện tăng 1 °C. Tương tự như vậy, nhiệt độ của tế bào năng lượng mặt trời và công suất đầu ra tăng 3,82 °C và 3,14 W, bức xạ mặt trời tăng lên 100 W/m2 . Kết hợp hệ thống làm mát bằng nước tăng hiệu suất lên 15,72%. | UM, Malaysia. | Đơn tinh thể |
| Gaglia et al. [29] | Điện áp PV giảm giữa 91 và 97 mV/°C đối với mức độ chiếu xạ 400 và 1000 W/m2 cao hơn các điều kiện tiêu chuẩn của phòng thí nghiệm (73 mV/°C). Tức thời hiệu suất giảm từ 10% xuống 7% khi điện áp giảm 5 V. | Athens, Hy Lạp. | Đa tinh thể |
| Elibol et al. [30] | Nhiệt độ không khí xung quanh tăng 1 °C làm tăng hiệu quả của chất vô định hình tấm tinh thể giảm 0,029%, tấm đa tinh thể giảm 0,033% và giảm năng suất của tấm pin đơn tinh thể tăng 0,084%. | DUBIT ở Duzce Tỉnh ở Thổ Nhĩ Kỳ. | Đơn tinh thể, đa tinh thể và tinh thể vô định hình |

Machine Translated by Google



### 3.3. Tốc độ gió

Hiệu suất của tế bào quang điện nhạy cảm với vận tốc gió ở cả hai cách tích cực và tiêu cực. Gió mang đi các hạt bụi cho lắp đặt PV nghiêng và giảm bụi bám trên bề mặt PV do đó ảnh hưởng tích cực. Bảng 3 [34–38] cung cấp một số công trình đã công bố về ảnh hưởng của luồng không khí đến hiệu suất PV. Tuy nhiên, tốc độ gió tăng sẽ mang theo bụi và các hạt cát khác trên bề mặt mô-đun, do đó làm giảm hiệu suất PV [10]. Việc tiếp xúc ngoài trời của các tấm pin mặt trời dẫn đến việc tạo ra của quá trình trao đổi năng lượng cũng như nhiệt giữa bộ thu PV và môi trường bên ngoài. Nhiệt độ mà bảng điều khiển hoạt động phụ thuộc vào sự cân bằng được thiết lập giữa nhiệt sinh ra bởi Mô-đun PV và năng lượng bị mất ra môi trường bên ngoài do dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ như thể hiện trong Hình 1 [10]. Dưới điều kiện trạng thái ổn định, sự dẫn điện một chiều xác định sự truyền nhiệt diễn ra bên trong cơ thể khi có sự chênh lệch ở nhiệt độ, tỷ lệ thuận với chênh lệch nhiệt độ (dT) qua khoảng cách (x) như trong phương trình (6) [10]:

$$Hk_{\text{tình trạng}} = \frac{dT}{dx} \tag{5}$$

Dấu âm ngụ ý một luồng nhiệt dương theo hướng độ dốc nhiệt độ âm ($\frac{dT}{dx}$). Sự mất nhiệt do bức xạ xảy ra khi có sự chênh lệch nhiệt độ giữa bộ thu nhiệt mặt trời và khí quyển. Sự truyền nhiệt bức xạ được đưa ra như sau,

$$H_{\text{rad}} = \frac{H_{\text{Hỏi}}}{\text{MỘT}} = \text{với}_{\text{eff}}\,\sigma\, T^4 \tag{6}$$

Đối lưu là phương thức truyền nhiệt giữa hai vật thể sử dụng chất lỏng chảy. Đối với tấm pin mặt trời, sự mất nhiệt do sự đối lưu xảy ra do luồng gió thổi qua bề mặt tấm pin. phương trình tổng quát [10] để giải thích sự truyền nhiệt đối lưu là:

$$H_{\text{chuyển đổi}} = \frac{H_{\text{Hỏi}}}{\text{MỘT}} = h\ T \tag{7}$$

Hệ số truyền nhiệt đối lưu tỷ lệ thuận với N, số Nusselt và độ dẫn nhiệt và tỷ lệ nghịch với chiều rộng khe hở giữa các tấm kính của tấm.

hệ số truyền nhiệt đối lưu h là một [10] được định nghĩa thông qua N, tỷ lệ giữa truyền nhiệt đối lưu và truyền nhiệt dẫn và là một hàm số của Gr , số Grashof và Pr , Số Prandtl .

$$\text{Số lượng} \frac{hL}{\text{tôi}} \tag{8}$$

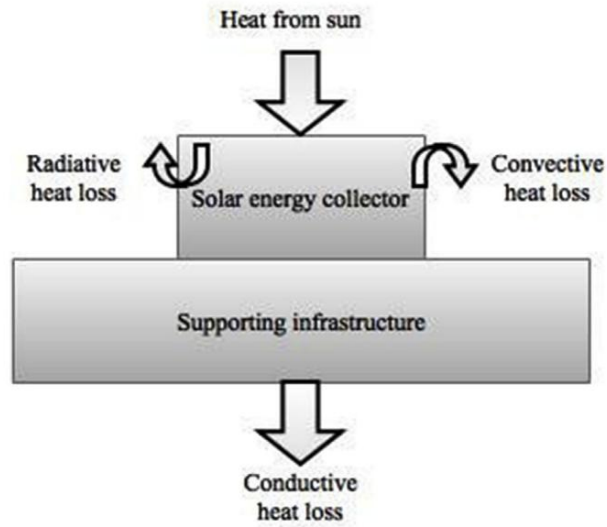
$$N = aGP\ (\ )\ ^{b}_{tr} \tag{9}$$

Ra, số Rayleigh được thể hiện theo GrPr như

$$_{\text{Một tôi}} = \text{Tổng hợp}_{tr} \tag{10}$$

Ở Pr không đổi và Gr thay đổi , dòng chảy tầng và dòng chảy nhiễu loạn quan sát một số Rayleigh trong khoảng từ 107 đến 109. Bảo toàn năng lượng là nguyên lý cơ bản của truyền nhiệt. Vì vậy, áp dụng định luật bảo toàn năng lượng,

$$H_{\text{chuyển đổi}} = H_{\text{rad}} \tag{11}$$




Hình 1. Hiện tượng truyền nhiệt trong pin quang điện (trích từ Tài liệu tham khảo. [10]).

Do đó, khi tốc độ gió tăng, nhiệt độ của không khí giảm, do đó làm giảm nhiệt độ hoạt động của pin mặt trời. Sự tăng cường luồng không khí này gây ra sự gia tăng lượng nhiệt bị mất từ tấm pin do dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ. Theo cách này, vận tốc không khí hoạt động tích cực để cải thiện hiệu suất và hiệu quả của pin mặt trời [39].

### 3.4 Độ ẩm

Tác động của độ ẩm đến hiệu suất PV phụ thuộc rất nhiều vào các giọt hơi nước lơ lửng có trong khí quyển. Kéo dài việc tiếp xúc của các tấm pin quang điện với độ ẩm có thể gây ra sự xâm nhập của độ ẩm dẫn đến sự tách lớp của chất đóng gói. Tan et al. [40] thử nghiệm đã nghiên cứu sự suy thoái trong tế bào quang điện khi chịu độ ẩm môi trường. Khi thời gian thí nghiệm tăng lên, độ ẩm bên trong tế bào quang điện làm hỏng các liên kết dính giao diện gây ra hiện tượng tách lớp và đường đi vào cao hơn, do đó dẫn đến mất thụ động. Nghiên cứu cho thấy dòng điện ngắn mạch cho thấy một sự thay đổi đáng kể suy giảm hơn điện áp mạch hở gây ra sự suy thoái nghiêm trọng trong công suất đầu ra tối đa. Touati et al. [27] nhận thấy rằng loại bảng điều khiển được sử dụng cũng ảnh hưởng đến hiệu suất PV trong khi nghiên cứu tác động của độ ẩm tương đối trên hiệu quả của tấm pin. Các tác giả đã kiểm tra tác động của độ ẩm tương đối và so sánh hiệu suất giữa hệ thống PV đơn tinh thể và vô định hình. Nghiên cứu cho thấy rằng tấm pin quang điện vô định hình bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi nhiệt độ và tương đối độ ẩm cao hơn các mô-đun PV đơn tinh thể. Sự giảm hiệu quả này cho thấy các tấm pin PV đơn tinh thể có khả năng chống chịu tốt các yếu tố khí hậu như độ ẩm tương đối và nhiệt độ. Độ ẩm cũng ảnh hưởng đến bức xạ mặt trời chiếu tới gây ra sự giảm mức độ bức xạ do sự phản xạ, nhiễu xạ và khúc xạ của nước các giọt có trong khí quyển. Gwandu và Creasey [41] đã phân tích

Bảng 3

Tác động của vận tốc không khí đến hiệu suất PV

| Thẩm quyền giải quyết | Tác động của vận tốc không khí | Vị trí | Loại tế bào |
|---|---|---|---|
| Said và cộng sự [37] | Nhiệt độ mô-đun cao hơn đối với mọi mức gió và bức xạ trong khoảng từ 200 đến 1200 W/m2 . | Ả Rập Saudi | Đơn tinh thể |
| Kurnik và cộng sự [34] | Sự khác biệt giữa mô-đun và nhiệt độ môi trường giảm xuống một nửa giá trị cho bất kỳ chuyển đổi khác không nào hiệu quả khi tốc độ gió tăng từ 0 đến 12 m/s. | Slovenia. | – |
| Kaldellis et al. [38] | Ở tốc độ gió cao hơn 3,5 m/s, giá trị hệ số Ross giảm từ 0,03 ± 0,005 xuống 0,015 ± 0,005. | Hy Lạp. | Đa tinh thể |
| Gokmen et al. [35] | Tốc độ gió làm tăng ước tính năng lượng lên 3,5%. | Đan Mạch. | Đa tinh thể |
| Goverde et al. [36] | Tốc độ gió làm giảm nhiệt độ từ 4 đến 5 °C gần mép trước của mô-đun PV. | Bỉ. | Đa tinh thể |

Machine Translated by Google



sự thay đổi cư ờng độ bức xạ mặt trời theo độ ẩm để nghiên cứu hiệu quả của mô-đun PV trong bầu khí quyển ẩm ư ớt của vùng nhiệt đới Sudan Savannah. Các tác giả nhận thấy sự khác biệt không tuyến tính của điện áp mạch hở với mức bức xạ và sự thay đổi tuyến tính của dòng điện ngắn mạch. Khu vực này dễ có tốc độ gió cao làm giảm nhiệt độ mô-đun và do đó bù đắp cho mức độ chiếu xạ thấp hơ n bằng độ ẩm cao hơ n. Bảng 4 tập trung vào tác động của độ ẩm đến năng suất PV [26,27,40,42,43].

### 3.5. Tuyết rơ i

Công nghệ PV ở các quốc gia lạnh hơ n trên thế giới phải đối mặt với những mối đe dọa nghiêm trọng do mư a đá và tuyết rơ i. Tuyết và băng tích tụ trên bề mặt tấm pin hạn chế ánh sáng mặt trời chiếu tới các tế bào quang điện và do đó làm giảm sản lư ợng năng lư ợng. Các nghiên cứu thực nghiệm đã phát hiện ra rằng góc nghiêng, hư ớng của mô-đun PV và các yếu tố khí tư ợng ảnh hư ởng đến hiệu suất hệ thống PV hàng năm và hàng tháng [44].
Powers và cộng sự đã nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hư ởng của nhiều góc nghiêng khác nhau đến việc giảm tổn thất năng lư ợng do tuyết phủ từ các tấm pin PV đư ợc vệ sinh thư ờng xuyên cũng như không đư ợc vệ sinh. Kết quả cho thấy sản lư ợng năng lư ợng hàng năm giảm 12%, 15% và 18% tư ơ ng ứng với độ nghiêng 39°, 24° và 0°. Phát hiện quan trọng từ công trình nghiên cứu này là việc giảm tổn thất điện năng phụ thuộc vào lư ợng tuyết phủ trên bề mặt tấm pin PV và góc nghiêng của mảng PV [45]. Marion và cộng sự đã nghiên cứu tổn thất năng lư ợng từ hệ thống PV do tuyết phủ đối với sáu hệ thống PV đư ợc lắp đặt tại Colorado và Wisconsin trong mùa đông năm 2010–2011 và 2011–2012. Nghiên cứu phát hiện ra rằng tổn thất năng lư ợng giảm 90% và sản lư ợng năng lư ợng hàng năm giảm từ 1% xuống 12% [44]. Bảng 5 đề cập đến tác động của tuyết rơ i đến năng suất PV [44–48].

### 3.6. Mư a đá

Mư a đá là mư a từ trên trời rơ i xuống dư ới dạng những viên đá hoặc cục băng lớn hơ n. Bão mư a đá có thể gây ra mối đe dọa nghiêm trọng đối với các mô-đun PV bằng cách tạo ra các vết nứt trong ô [49] và cuối cùng làm vỡ kính tấm PV [50] dẫn đến giảm hiệu suất. Những viên mư a đá di chuyển nhanh gây ra thiệt hại đáng kể cho các ô năng lư ợng mặt trời bên trong mà không gây ra thiệt hại bên ngoài. Quá trình này đư ợc gọi là nứt vi mô có thể làm giảm sản lư ợng của hệ thống PV. Forman [51] đã nghiên cứu 11.000 tấm pin PV do Phòng thí nghiệm Lincoln của MIT lắp đặt tại các địa điểm thực địa ở Hoa Kỳ. Nghiên cứu phát hiện ra rằng gần 320 mô-đun bị hỏng điện đã đư ợc tháo ra do nứt ô, hỏng mối hàn, chập ô hoặc kết nối giữa các ô và kết nối giữa các ô bị đứt. Một nửa số tấm pin PV đư ợc kiểm tra bị nứt do va đập do mư a đá. Muehleiden và cộng sự [52] đã theo dõi thực nghiệm tác động của mư a đá đến bản chất xuống cấp của các mô-đun PV. Các tác giả đã thử nghiệm ba nhà máy PV ở miền nam Áo bị ảnh hư ởng bởi mư a đá có đư ờng kính 40 mm và phát hiện thiệt hại có thể nhìn thấy của các tấm kính PV. Hình ảnh UV-F và phép đo EL đã xác nhận các ô bị phân đoạn hoàn toàn, các vết nứt hình đư ờng thẳng và các vết nứt nhỏ hình chữ thập trong các tấm pin. Tổn thất điện năng đư ợc tìm thấy trong các mô-đun này là khoảng 30%, điều này đã đư ợc xác nhận thêm bằng các phép đo công suất song song.

### 3.7. Bão cát

Bão cát là thời tiết nguy hiểm, khi các hạt cát bị thổi từ bề mặt lên không khí khiến không khí trở nên đục. Các tấm pin PV đư ợc lắp đặt ở các vùng sa mạc thư ờng xuyên phải hứng chịu bão cát. Bão cát làm tăng lư ợng bụi bám trên bề mặt tấm pin và làm cho bề mặt trở nên mờ đục, gây ra sự giảm đáng kể sản lư ợng năng lư ợng. Mostefaoui và cộng sự [53] đã nghiên cứu ảnh hư ởng của bụi cát và bão cát đến hiệu suất của tấm pin PV ở vùng sa mạc của thành phố Adrar, phía nam Algeria. Các tấm pin PV đã tiếp xúc với khí hậu ngoài trời trong sáu tháng mà không đư ợc vệ sinh, sau đó, các tấm pin này đư ợc vệ sinh bằng khăn lau kính và nư ớc. Nghiên cứu cho thấy hiệu suất PV giảm với đặc tính dòng điện-điện áp (IV)/công suất-điện áp (PV) và các thông số hiệu suất thấp hơ n vào ngày có bão cát so với ngày quang đãng. Bouraiou và cộng sự [54] đã đánh giá ảnh hư ởng của việc che bóng một phần và tích tụ cát trên các tấm pin PV trong môi trư ờng sa mạc trong hai tháng tại thành phố Adrar. Nghiên cứu cho thấy sản lư ợng giảm từ 79,7 W xuống 16,45 W do bóng râm một phần. Việc tiếp xúc liên tục các tấm pin trong môi trư ờng sa mạc đã làm hỏng các mô-đun, dẫn đến đổi màu chất đóng gói và tách lớp. Bảng 6 tập trung vào tác động của bão cát đến năng suất PV [53,55–59].

## 4. Các khiếm khuyết trong mô-đun PV do các yếu tố môi trư ờng gây ra

Tuổi thọ của mô-đun PV phụ thuộc vào chất lư ợng của mô-đun và khí hậu nơ i lắp đặt tấm pin. Hiệu suất của hệ thống PV bị ảnh hư ởng rất nhiều bởi các chế độ hỏng hóc và sự xuống cấp, và việc đánh giá hiệu suất trong điều kiện ngoài trời và trong nhà là điều cần thiết để thiết kế mô hình dự đoán. Phần tiếp theo mô tả các chế độ hỏng hóc khác nhau của hệ thống PV do các yếu tố môi trư ờng khác nhau gây ra.

### 4.1. Sự đổi màu

Sự đổi màu của chất đóng gói PV (EVA) khi tiếp xúc liên tục với ánh sáng mặt trời là tác nhân chính gây ra sự suy giảm công suất trong hệ thống PV [60]. Sự đổi màu này cuối cùng làm giảm ánh sáng mặt trời chiếu tới các tấm pin PV. Bốn loại muối bạc khác nhau [61] như bạc phosphate, bạc sunfua, bạc cacbonat và bạc axetat chịu trách nhiệm cho sự đổi màu. Chúng tạo thành tinh thể trên bề mặt trư ớc gây ra hiện tư ợng kim loại hóa các ô trong các mô-đun PV. Không khí ẩm cao hơ n, nhiệt độ môi trư ờng xung quanh và chất lư ợng của chất đóng gói làm tăng hiệu quả sự đổi màu trên bề mặt PV và

Bảng 4

Ảnh hư ởng của độ ẩm đến hiệu suất PV

| Thẩm quyền giải quyết | Tác động của độ ẩm | Vị trí | Loại tế bào |
|---|---|---|---|
| Rahman và cộng sự [26] | Công suất đầu ra của PV giảm xuống còn 3,16 W khi độ ẩm tư ơ ng đối tăng 20% và xuống còn 1,58 W khi độ ẩm tư ơ ng đối tăng 10%. | UM, Malaysia. | Đơ n tinh thể |
| Touati và cộng sự [27] | Đối với PV đơ n tinh thể, trong ngày (8:30 sáng đến 15:45 chiều), việc giảm độ ẩm tư ơ ng đối (28-22%) làm tăng hiệu suất PV (0,71-0,8). Đối với PV vô định hình, trong ngày (8:30 sáng đến 15:45 chiều), việc giảm độ ẩm tư ơ ng đối (28-22%) làm tăng hiệu suất PV (0,385-0,616). | Doha, Qatar. | Đơ n tinh thể và vô định hình |
| Kazem và Chaichan [42] | Công suất mảng PV giảm 43,48, 48,42 và 58,38% và điện áp tấm pin PV giảm 23,18, 24,88 và 25% trong tháng 7, tháng 8 và tháng 9. Độ ẩm tư ơ ng đối tăng từ 67 lên 95% làm giảm dòng điện 44,44%. | Thành phố Sohar, Oman. | Đơ n tinh thể |
| Tan và cộng sự [40] | Sự suy giảm dòng điện ngắn mạch và công suất đầu ra tối đa. Sự tách lớp của chất đóng gói, các liên kết dính giữa các mặt bị yếu đi, đư ờng dẫn vào tăng lên, mẫu bị cong vênh do chất đóng gói bị phồng lên và mất khả năng thụ động. | Singapore. | Vô định hình |
| Kawano và cộng sự [43] | Lớp PEDOT: PSS không đồng nhất về mặt không gian, hình thành các mảng cách điện, mất dòng điện thiết bị và hiệu suất thiết bị. | - | Pin mặt trời hữu cơ |

Machine Translated by Google



Bảng 5

Tác động của tuyết rơ i đến hiệu suất PV

| Thẩm quyền giải quyết | Tác động của tuyết rơ i | Vị trí | Loại tế bào |
|---|---|---|---|
| Meyta và Savrasov [46] | Hiệu suất giảm 13% vào ngày trời quang và 40% vào ngày nhiều mây | Nư ớc Nga. | Đơ n tinh thể |
| Marion và cộng sự [44] | Tổn thất sản xuất là 1–12% | Colorado và Wisconsin Canada. | Đa tinh thể |
| Andrews và cộng sự [47] | Tổn thất dòng điện ngắn mạch, giảm công suất 29– | | Silic vô định hình và tinh thể |
| Heidar và cộng sự [48] | 34% tổn thất năng lư ợng hàng năm | Michigan. | Đa tinh thể |
| Powers và cộng sự [45] | Tổn thất điện năng hàng năm từ 12–18% | Hoa Kỳ và Canada. | Đa tinh thể |

các ngón tay lư ới.

### 4.2. Ăn mòn

Ăn mòn là phản ứng điện hóa của kim loại với độ ẩm từ môi trư ờng xung quanh. Khả năng phản ứng của kim loại trong các mô-đun PV gây ra các vết nứt trong các liên kết hàn, sự hình thành của Ag ngón tay, sự ăn mòn của tế bào và sự suy thoái của phản xạ lớp phủ [62]. Nhiệt độ cao hơ n, độ ẩm [63], điện áp hệ thống và sự hấp thụ độ ẩm của chất đóng gói làm tăng tốc độ ăn mòn và quá trình oxy hóa làm tăng điện trở nối tiếp, làm giảm hệ số lấp đầy và làm giảm công suất đầu ra của hệ thống PV.

### 4.3. Kính vỡ và nứt

Kính vỡ và nứt đư ợc hình thành do ứng suất cơ học, mư a đá và ném đá, vận chuyển, ứng suất nhiệt do tiếp xúc ngoài trời, bảo trì và xử lý [5]. Các vết nứt nhỏ hình thành trong quá trình sản xuất các mô-đun PV rất khó nhận thấy bằng mắt thư ờng. Những vết nứt này gây ra sự xâm nhập của hơ i ẩm, nguy cơ bị điện giật và giảm công suất [64]. Sự vỡ tấm pin quang điện cũng làm tăng sự ăn mòn, tách lớp và đổi màu.

### 4.4. Đư ờng mòn của ốc sên

Các mô-đun PV tiếp xúc với môi trư ờng ngoài trời trong một số tháng phát triển sự đổi màu của các ngón tay tiếp xúc trên khắp tế bào [65]. Tấm sau bị bong ra do thấm hơ i nư ớc và kết quả trong các sọc tối không đều đư ợc gọi là đư ờng mòn ốc sên hoặc đư ờng đi của ốc sên. Hiện tư ợng này ảnh hư ởng đáng kể đến sản lư ợng PV và các nhà nghiên cứu vẫn chư a xác định đư ợc lý do thực sự đằng sau sự hình thành các vệt ốc sên.

### 4.5. Sự suy giảm lớp phủ chống phản xạ (ARC)

Sự hình thành bụi bẩn trên bề mặt mô-đun đáng kể làm hỏng lớp phủ chống phản xạ. Thiệt hại này gây ra sự thay đổi trong độ truyền quang phổ trong phạm vi nhìn thấy đư ợc là 600–700 nm. Bụi sự tích tụ gây ra sự giảm công suất mạnh mẽ trong các mô-đun chống phản xạ [37].

### 4.6. Điểm nóng

Phân chim, lá cây và bụi bẩn cản trở một số tế bào của mô-đun PV và chặn dòng điện đư ợc tạo ra từ các ô khác. Điều này việc che bóng vận hành diode ở chế độ phân cực ngư ợc, làm nóng các cell và gây ra điểm nóng, làm hỏng mô-đun PV. Dhimish và cộng sự đã đề xuất kỹ thuật giảm thiểu các điểm nóng để tăng cư ờng sản lư ợng điện PV sử dụng bóng bán dẫn hiệu ứng trư ờng oxit kim loại công suất (MOSFET). Phư ơ ng pháp này duy trì một phần điện áp phân cực ngư ợc trên các ô đư ợc tô bóng [66].

### 4.7. Tách lớp

Sự tách lớp của chất đóng gói là sự suy thoái chính trong PV mô-đun do mất độ bám dính giữa lớp tách lớp thủy tinh-chất đóng gói, tế bào-chất đóng gói và lớp tách lớp mặt sau-chất đóng gói [67]. Sự hiện diện của khả năng khuếch tán oxy và nư ớc của chất đóng gói bảo vệ các tế bào PV từ bức xạ UV và điều kiện thời tiết bên ngoài. Liên tục tiếp xúc với bức xạ UV, độ ẩm và nhiệt độ môi trư ờng xung quanh khiến EVA đổi màu thành vàng hoặc nâu [6]. Tế bào này quá trình tẩy trắng cuối cùng tạo thành bọt khí ở EVA, tấm nền và cuối cùng ăn mòn tế bào quang điện dẫn đến hiệu suất kém của hệ thống quang điện.

## 5. Phát hiện lỗi trong mô-đun PV

Tất cả các tấm pin quang điện đều trải qua hiện tư ợng suy thoái do quá trình lão hóa. Qua nhiều năm, điều này dẫn đến mất điện từ PV hệ thống và sự suy giảm tổng thể về công suất do sự cố của một pin mặt trời trong mô-đun. Các sự kiện đặc biệt mà các tấm pin này trải qua khi nó trải qua sự suy thoái đư ợc gọi là chế độ hỏng hóc. Sau đây phư ơ ng trình cung cấp tốc độ suy thoái (D) như

$$D = \frac{\text{cái các}}{N} \tag{12}$$

Phân loại các lỗi trong các mô-đun PV bao gồm quang học sự suy thoái, sự suy thoái về điện và các khuyết tật không đư ợc phân loại. sự suy thoái quang học bao gồm sự tách lớp và hình thành bong bóng, vỡ lớp kính phía trư ớc và lớp keo bị đổi màu. Hàn kém, che bóng, phân luồng và các cell bị ngắn mạch, các vết nứt cell và các dây kết nối bị đứt sẽ bị suy thoái về điện. Các lỗi không đư ợc phân loại bao gồm một diode bypass bị lỗi, hở mạch phụ và sự suy thoái tiềm ẩn gây ra [68]. Việc điều tra các quá trình suy thoái khác nhau đang thu hút sự chú ý ngày nay do sự triển khai rộng rãi của các hệ thống PV quy mô lớn. phần sau đây giải thích một số kỹ thuật như hình ảnh

Bảng 6

Tác động của bão cát đến hiệu suất PV

| Thẩm quyền giải quyết | Tác động của bão cát | Vị trí | Loại tế bào |
|---|---|---|---|
| Mostefaoui et al. [53] | Mật độ lắng đọng hạt 2,6 g/m2 , hiệu ứng che bóng, giảm công suất, giảm ngắn mạch hiện hành | Saharan của Adrar, Algeria. | Đơ n tinh thể |
| El-Nashar và cộng sự [56] | Giảm khả năng truyền dẫn, giảm sản lư ợng hàng năm 60% Năng | Abu Dhabi, các Tiểu vư ơ ng quốc Ả Rập Thống nhất. | – |
| Dabou và cộng sự [57] | suất thấp hơ n, hiệu suất biến tần, mô-đun và hệ thống không đều Mất tư ơ ng đối | Nam Algeria. | Đơ n tinh thể |
| Semaoui và cộng sự [58] | dòng điện ngắn mạch 1,75%, mất điện Bóng râm một phần, Mất điện Khả | Nam Algeria. | Đơ n tinh thể |
| Bouraiou và cộng sự [55] | năng truyền dẫn (T), khả năng | Phía tây nam của Algeria. | Đơ n tinh thể và đa tinh thể |
| Cabrera và cộng sự [59] | phản xạ (R) và mất dòng điện ngắn mạch cao hơ n | Đức và Chile. | Các loại tế bào khác nhau |

Machine Translated by Google



kiểm tra, đo lư ờng các đặc điểm của mô-đun IV, hình ảnh IR, LIT, hình ảnh EL và hình ảnh huỳnh quang UV [69] để phát hiện các lỗi và hư hỏng trong mô-đun.

### 5.1. Kiểm tra bằng mắt

Sau thời gian dài sử dụng hệ thống PV, mô-đun PV sẽ gây ra một số khiếm khuyết làm ảnh hư ởng đến đặc tính điện của hệ thống PV.
Những khiếm khuyết này dẫn đến tình trạng ố vàng, tách lớp, hình thành bong bóng và vết nứt, cháy tế bào và lỗi trong lớp phủ chống phản xạ, gây ra nguy cơ tiềm ẩn cho hiệu suất của các mô-đun. Kiểm tra trực quan là phư ơ ng pháp tốt nhất và đầu tiên để tìm ra các khiếm khuyết của con ngư ời
mắt tự nhiên dư ới ánh sáng mặt trời tự nhiên. Đánh giá này phải đư ợc thực hiện để phân biệt các lớp ở các góc độ khác nhau mà lỗi có thể xảy ra do hình ảnh phản chiếu [70]. Bouraiou et al. [55] đã kiểm tra trực quan các lỗi có thể phát hiện đư ợc của 608 mô-đun PV bên trong địa điểm của các cánh đồng trung bình Saharan và trung tâm PV của Melouka trong điều kiện vận hành thực tế trong môi trư ờng sa mạc ở Algeria. Các tác giả đã quan sát thấy độ nghiêng không tối ư u là 17°, các tấm kính bị vỡ do nhiệt độ cao và bụi cát tích tụ ở mép dư ới của mô-đun tại cánh đồng trung tâm PV Melouka. Ngoài ra, sự đổi màu EVA và ăn mòn kim loại hóa đã làm hỏng các tấm PV (Hình 2). Các tấm PV tại cánh đồng Saharan đã bị hiệu ứng vệt ốc sên, trầy xư ớc kính, ăn mòn kim loại hóa, đổi màu EVA, nứt các tế bào quang điện, ăn mòn thanh cái và tách lớp.

### 5.2. Kiểm tra trong nhà bằng bộ mô phỏng năng lư ợng mặt trời

Việc sử dụng bộ mô phỏng năng lư ợng mặt trời và phơ i tấm pin dư ới ánh sáng mặt trời tự nhiên giúp xác định Isc, Voc, Vm, FF, điện trở nối tiếp và điện trở phân luồng, hiệu suất của cell và mô-đun, đặc tính IV và PV. Những tính toán này giúp tìm ra các tính năng của các mô-đun với các công nghệ khác nhau như công nghệ mono, poly và màng mỏng bằng cách phơ i các tấm pin với sự phân bố ánh sáng đồng nhất với phổ ánh sáng liên tục. Các điều kiện môi trư ờng phải đư ợc quan sát để duy trì nhiệt độ ổn định nhằm giảm hiệu chỉnh điện áp và dòng điện do hệ số nhiệt độ cụ thể của từng tấm pin [70]. Sharma và Chandel [64] đã nghiên cứu hệ thống PV 1 kW bao gồm 10 mô-đun gồm các mô-đun Si đa tinh thể 100 W đư ợc lắp đặt trên mái nhà của CEEE, NIT-H ở vùng Himalaya của Himachal Pra-desh, Ấn Độ. Các tác giả đã tiến hành thử nghiệm trong nhà các mô-đun bằng bộ mô phỏng Mặt trời Endeas Quick Sun 700 loại A và so sánh các định mức của tấm pin sau 2,5 năm phơ i ngoài trời. Nghiên cứu cho thấy sự suy giảm công suất trung bình ở mô-đun số 2, 6 và 10 đạt 50% khi so sánh với các mô-đun khác. Do giá trị Voc giảm , mô-đun số 2 và 10 bị suy giảm công suất trong khi giá trị Isc và FF giảm khiến công suất của mô-đun số 6 giảm (Hình 3).

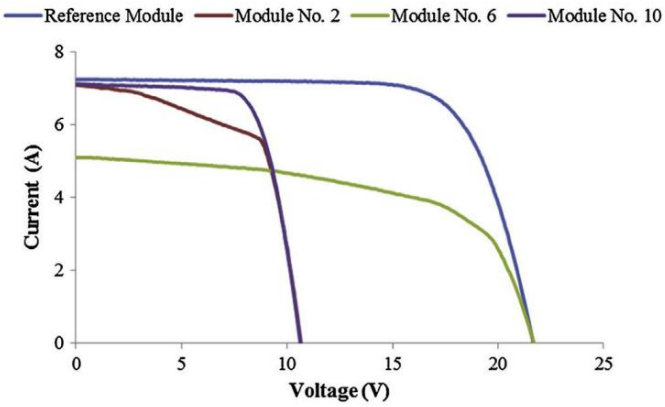
### 5.3. Hình ảnh hồng ngoại (IR)

Phư ơ ng pháp không tiếp xúc và không phá hủy, hình ảnh IR đo các lỗi về điện và nhiệt trong mô-đun PV, trong đó phép đo đư ợc thực hiện trong điều kiện trạng thái ổn định. Công nghệ này sử dụng camera IR nhạy cảm với phát xạ vật đen trong phạm vi từ 3,6–5 μm. Bằng cách phơ i các tấm pin với hình ảnh nhiệt hoặc IR, các ô kém cũng như các ô bị phân luồng sẽ xuất hiện dư ới dạng các điểm nóng sáng khi so sánh với các ô khác do tản nhiệt. Bằng cách tạo ra dòng điện bên ngoài theo hư ớng về phía trư ớc hoặc bằng cách chiếu sáng vào mô-đun PV, các tấm pin cho thấy một gradient nhiệt độ giúp phân tích các hình ảnh nhiệt. Những hình ảnh này hỗ trợ tìm ra các khu vực có thể xảy ra các vấn đề tiềm ẩn [70]. Rajput và cộng sự [71] đã phân tích các chế độ suy thoái và cơ chế của 90 mô-đun PV silicon đơ n tinh thể đư ợc lắp đặt trên mái nhà khách NISE, Gurgaon, Ấn Độ sau 22 năm tiếp xúc ngoài trời. Ở mức độ chiếu xạ 800 W/m2 vào một ngày nắng, máng mô-đun PV đã trải qua các phép đo nhiệt bằng Máy ảnh nhiệt EasIR-4000. Góc nhìn đư ợc giữ ở

Hình 2. Các khiếm khuyết quan trọng đư ợc tìm thấy trong tấm pin quang điện ở trung tâm Melouka (đư ợc chuyển thể từ Tài liệu tham khảo [55]).

Machine Translated by Google






Hình 3. So sánh các đặc tính IV (dòng điện-điện áp) của các mô-đun bị suy giảm (Số: 2, 6 và 10) với mô-đun tham chiếu (Số: 7) (đư ợc chuyển thể từ Tài liệu tham khảo [64]).

90° trong khi chụp ảnh ở khoảng thời gian 60 giây. Nghiên cứu phát hiện ra rằng 37 mô-đun cho thấy 2 điểm nóng, 15 mô-đun cho thấy 1 điểm nóng, 12 mô-đun cho thấy 2 điểm nóng, 9 mô-đun cho thấy 3 điểm nóng và 1 mô-đun cho thấy 4 điểm nóng. So sánh hình ảnh IR của tấm pin với một điểm nóng và bốn điểm nóng cho thấy nhiệt độ thấp hơ n trong trư ờng hợp 4 điểm nóng do diện tích lớn mà dòng rò rỉ nhỏ hơ n trư ờng hợp 1 điểm nóng (Hình 4).

## 5.4. Khóa nhiệt độ (LIT)

Một kỹ thuật không phá hủy, LIT đư ợc sử dụng để xác định lỗi trong các mô-đun PV tinh thể, màng mỏng và hữu cơ . Công nghệ này sử dụng camera nhạy IR, máy phát hàm, bộ khuếch đại công suất, đèn LED để kích thích quang học và máy tính để phân tích dữ liệu. Ở đây, quá trình kích thích tế bào quang điện đư ợc thực hiện bằng cách đư a xung dòng điện vào trong điều kiện tối (DLIT) hoặc sử dụng nguồn sáng (ILIT). Sự hiện diện của các shunt cục bộ trong tế bào quang điện làm tăng nhiệt độ của tế bào và camera IR sẽ chụp ảnh nhiệt truyền qua tế bào. Sinha và cộng sự [72] đã nghiên cứu phân tích định tính và định lư ợng không gian về sự suy giảm quang học do sự đổi màu của chất đóng gói trong các mô-đun PV (mô-đun màu nâu và không phải màu nâu). Các tác giả đã sử dụng DLIT để xác định đặc tính nhiệt bằng camera IR bằng cách chụp ảnh các tấm pin trong 100 giây ở tốc độ khung hình 150 Hz. Nghiên cứu phát hiện ra rằng nhiệt độ thay đổi nhiều hơ n ở các mô-đun màu nâu so với các mô-đun không phải màu nâu (Hình 5). Tính toán độ lệch chuẩn trong dữ liệu pixel thu đư ợc của ảnh nhiệt cho thấy mô-đun màu nâu có độ lệch điện lớn hơ n do sự đổi màu dẫn đến giảm FF và công suất đầu ra. Kỹ thuật này hiệu quả trong việc tìm ra tổn thất điện năng do hiệu ứng đổi màu bằng cách chụp ảnh chênh lệch nhiệt độ và các vùng khuyết tật trong mô-đun đư ợc đóng gói.

## 5.5. Chụp ảnh điện phát quang (EL)

Hình ảnh EL là một cách hiệu quả để xác định mô-đun đặc điểm khi nó phát hiện các vết nứt trong các tế bào xuất hiện dư ới dạng tối trong hình ảnh IR (đư ợc xác định bởi camera CCD). Việc tiêm các chất mang thiểu số vào đáy của tế bào năng lư ợng mặt trời dẫn đến sự phát xạ các photon từ tế bào năng lư ợng mặt trời. Các photon này đư ợc phát hiện bởi camera cho thấy các khuyết tật bên trong và bên ngoài làm giảm nồng độ chất mang thiểu số. Sinha et al. [72] đã sử dụng hình ảnh EL ngoài kỹ thuật DLIT để tìm mức độ mất màu trong chất đóng gói.

Hình ảnh EL (Hình 6) cho thấy các mẫu tối ở trung tâm của các mô-đun màu nâu do sự đổi màu của EVA làm giảm sự truyền bức xạ EL từ pin mặt trời. Các mô-đun không phải màu nâu cũng cho thấy

mẫu tối trong một số cell khác với các tấm pin màu nâu do các vấn đề về điện như gãy ngón tay. So sánh hình ảnh EL với hình ảnh DLIT đã xác nhận xu hư ớng bóng mờ trong các tấm pin PV. Kỹ thuật EL cũng giúp phân tích sự khác biệt về điện áp phân cực cell trong mô-đun bằng cách quan sát sự đổi màu không đều.

## 5.6. Chụp ảnh huỳnh quang cực tím (UV)

Huỳnh quang UV của EVA giúp phân tích hiệu ứng ngả vàng của mô-đun PV. Việc EVA tiếp xúc liên tục với ánh sáng mặt trời dẫn đến nứt các phân tử bên trong lá kim loại và do đó dẫn đến sự hình thành các sắc tố trong EVA. Theo thời gian, sự hiện diện của oxy phân hủy các sản phẩm huỳnh quang thành các sản phẩm không huỳnh quang thông qua cơ chế oxy hóa quang. Sau đó, oxy đi vào bên trong các vết nứt và cạnh của mô-đun, dẫn đến sự phân hủy. Huỳnh quang giúp xác định số lư ợng, vị trí và hư ớng của các vết nứt bên trong các ô [69]. Muehleisen và cộng sự [52] đã phát hiện ra thiệt hại do mư a đá gây ra đối với các tế bào năng lư ợng mặt trời bằng cách sử dụng hình ảnh huỳnh quang UV khi vết nứt không nhìn thấy đư ợc bằng mắt thư ờng hoặc không nhận biết đư ợc bằng nhiệt ảnh. Các tác giả đã kiểm tra ba nhà máy PV bị mư a đá ở phía nam Áo bằng máy ảnh kỹ thuật số đư ợc kích thích bằng đèn UV gồm ba mảng đèn LED công suất có thể điều chỉnh và bộ lọc thông thấp. Các vết nứt hình mạng nhện (Hình 7) trong tế bào năng lư ợng mặt trời cho thấy tác động của mư a đá lên bề mặt tấm pin.

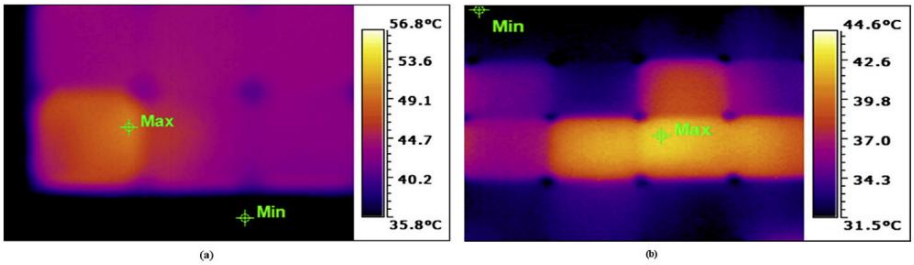
Các tác giả cũng nhận thấy sự tuyệt chủng hình điểm kỳ lạ trong mô hình huỳnh quang UV do các vết nứt nhỏ hình chữ thập trong các ô đư ợc xác nhận bằng phư ơ ng pháp EL. Bảng 7 [5,55,64,71–77] cung cấp tóm tắt các nghiên cứu gần đây về sự cố PV.

# 6. Kỹ thuật giảm thiểu

Nhận thức về việc nâng cao hiệu suất PV để cải thiện năng suất năng lư ợng đã dẫn đến sự phát triển của nhiều kỹ thuật giảm thiểu khác nhau. Các yếu tố môi trư ờng (đư ợc mô tả trong phần 3) như bụi, nhiệt độ môi trư ờng, tốc độ gió, độ ẩm, tuyết rơ i, mư a đá và bão cát có tác động đáng kể đến hiệu suất PV, có thể gây ra hỏng tấm pin và sau đó dẫn đến sự xuống cấp của các mô-đun. Các phần sau đây nêu bật các phư ơ ng pháp giảm thiểu khác nhau để giảm sự xuống cấp khác nhau của tấm pin PV.

## 6.1. Làm mát

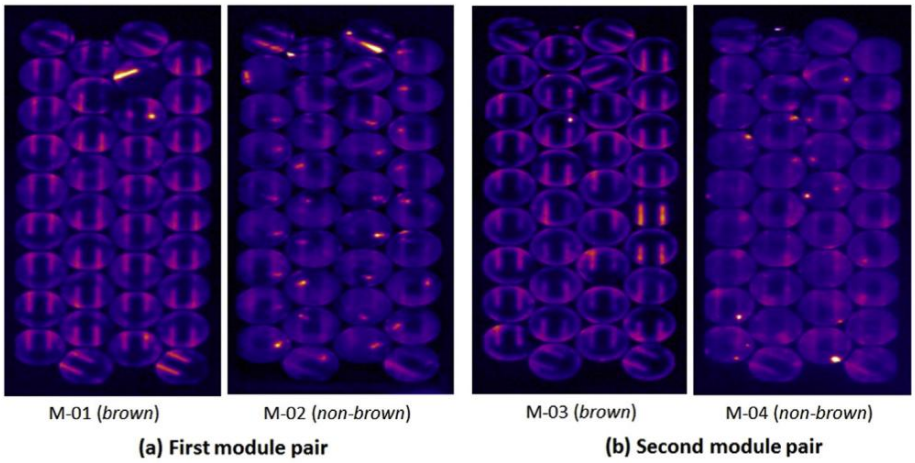
Làm mát mô-đun là một cách hiệu quả để cải thiện



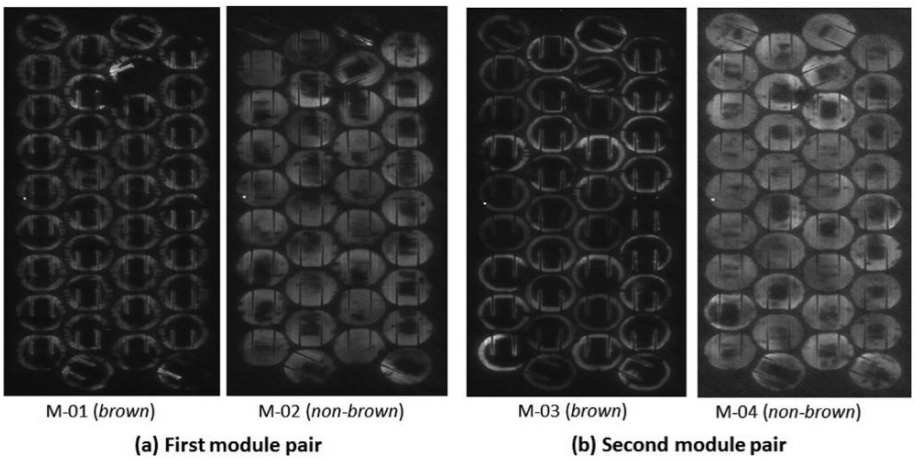

Hình 4. Hình ảnh hồng ngoại của mô-đun: (a) một điểm nóng (b) bốn điểm nóng (đư ợc chuyển thể từ Tài liệu tham khảo [71]).

Machine Translated by Google






Hình 5. Hình ảnh phát quang điện của các mô-đun quang điện bị suy giảm: (a) cặp mô-đun đầu tiên (b) cặp mô-đun thứ hai (đư ợc chuyển thể từ Tài liệu tham khảo [72]).



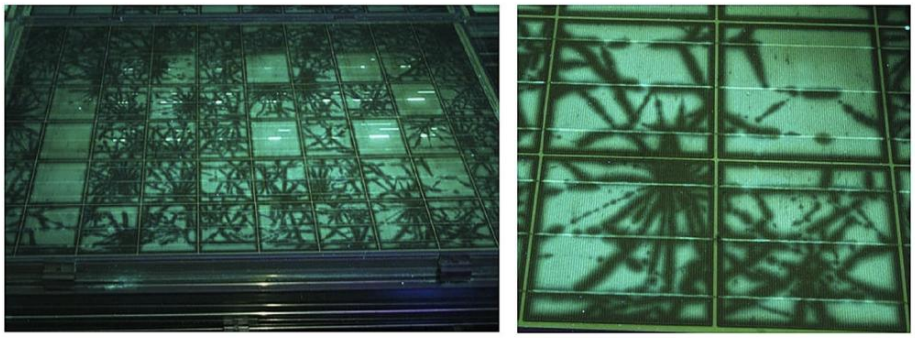

Hình 6. Hình ảnh nhiệt khóa tối của các mô-đun quang điện bị suy giảm: (a) cặp mô-đun đầu tiên (b) cặp mô-đun thứ hai (đư ợc chuyển thể từ Tài liệu tham khảo [72]).

hiệu suất của hệ thống PV, phụ thuộc vào nhiệt độ khí quyển, lắp đặt bộ phận làm mát và vật liệu hoặc loại tế bào PV. Trong tế bào quang điện Si tinh thể, nhiệt độ tăng 1 °C làm giảm hiệu suất của tế bào 0,40–0,50% và 0,25% đối với tế bào quang điện silicon vô định hình [78]. Phần phụ sau đây sẽ xem xét tài liệu về hai loại làm mát bề mặt tấm PV như chủ động và thụ động để nâng cao hiệu quả của hệ thống chuyển đổi năng lư ợng mặt trời. Phư ơ ng pháp làm mát chủ động (chủ động bằng không khí và chủ động bằng chất lỏng) yêu cầu năng lư ợng như máy bơ m hoặc quạt và làm mát thụ động (thụ động bằng không khí, thụ động bằng nư ớc và dẫn điện) cần dẫn nhiệt hoặc đối lư u để tạo điều kiện cho việc trích xuất nhiệt.

Bảng 8 [79–84] tóm tắt thông tin chung và thông tin cần thiết thông số cho các kỹ thuật làm mát chủ động và thụ động của PV.

6.1.1. Làm mát chủ

động Chế độ làm mát chủ động là một cách tiết kiệm chi phí để giảm nhiệt độ quá mức của mô-đun PV do tiếp xúc với không khí ngoài trời. Nižetić et al. [85] đã nghiên cứu hiệu suất PV bằng các kỹ thuật làm mát dựa trên nư ớc để phân tích các khía cạnh kinh tế và môi trư ờng của hệ thống PV 30 kW hoạt động tại thành phố Split, Croatia, nơ i có khí hậu Địa Trung Hải điển hình. Một quạt thổi đư ợc gắn trên giá đỡ kim loại và luồng không khí cảm ứng làm mát mặt sau của tấm PV bằng hệ thống ống dẫn để tập trung luồng không khí một cách hiệu quả. Điện năng đư ợc cung cấp hàng năm bởi mỗi PV 250 W



Hình 7. Mô-đun bị mư a đá làm hỏng của một nhà máy quang điện với hình dạng giống mạng nhện do các vết nứt nhỏ khi sử dụng kỹ thuật huỳnh quang cực tím (đư ợc chuyển thể từ Tài liệu tham khảo [52]).

Machine Translated by Google



Bảng 7

Tóm tắt công trình mới công bố về quá trình phân hủy PV

| Công nghệ PV | quốc gia | Giai đoạn | Những sai sót chính | Kỹ thuật phát hiện | Thẩm quyền giải quyết |
|---|---|---|---|---|---|
| Ấn Độ | Có tinh thể | 20 năm | EVA đổi màu, thanh cái rỉ sét, đư ờng lư ới ngón tay | Kiểm tra trực quan,<br>Đo IV,<br>Phân tích dòng điện khác biệt,<br>~~~~~~<br>Kiểm tra điện trở cách điện | Sinha và cộng sự [72] |
| Si đa tinh thể loại p của Malaysia | | Chín năm | Các vết nứt trong mô-đun, mất điện, dòng điện rò rỉ | Hình ảnh EL, Đo IV tối, Dòng rò rỉ tại<br>ứng suất điện áp cao, Đo công suất cực đại | Hồi giáo và cộng sự [73] |
| Algérie | Năm đơ n tinh thể và sáu<br>Si đa tinh thể | 20–25 tuổi | Thanh cái liên kết cell bị hỏng, các vết nứt ở cell, lớp phủ chống phản xạ bị suy giảm,<br>sự suy thoái của EVA | Kiểm tra trực quan, đo IV và PV | Kahoul và cộng sự [74] |
| Ma-rốc | Đơ n tinh thể Có | Hai năm 25– | Hộp nối bị đổi màu | Kiểm tra trực quan, đo IV và PV | Bouaichi và cộng sự [75] |
| Ấn Độ | Đơ n tinh thể Có | 30 tuổi | Phấn hóa tấm nền, thanh cái, dải liên kết cell và liên kết chuỗi<br>ăn mòn ruy băng, tách lớp ở mặt sau, điểm nóng, đổi màu EVA, ăn mòn<br>hộp nối | Kiểm tra trực quan, nhiệt ảnh IR, điện trở cách điện,<br>Đặc điểm IV | Rajput và cộng sự [71] |
| Ý | Có tinh thể | 20 năm | Vàng của chất đóng gói, tách lớp, lỗi kính phía trư ớc, ăn mòn thanh cái, hộp nối<br>rỉ sét, đổi màu ngón tay, đổi màu ruy băng kết nối tế bào | Kiểm tra trực quan, đo IV, EL, chùm tia laser<br>dòng điện cảm ứng | Bể và mẫu<br>[76] |
| Algérie | Đơ n tinh thể Có | Hơ n 12<br>năm | EVA chuyển sang màu nâu, tách lớp, ăn mòn thanh cái, vỡ kính, nứt pin mặt trời, mối hàn<br>sự thoái hóa liên kết, sự thoái hóa lớp phủ chống phản xạ | Kiểm tra trực quan, đo IV | Bouraiou và cộng sự [77] |
| Ấn Độ | Đơ n tinh thể Có | 28 năm | Tách lớp,<br>Kính vỡ, bong bóng trên tấm nền của mô-đun, chất đóng gói bị đổi màu,<br>lư ới phía trư ớc và lớp phủ chống phản xạ bị oxy hóa, hộp nối bị bẩn, điểm nóng, nứt<br>mối hàn trên thanh cái | Kiểm tra trực quan, Hình ảnh nhiệt, Truyền tĩnh mạch trong nhà<br>đo lư ờng | Chandel và cộng sự [5] |
| Algérie | Đơ n tinh thể và đa tinh<br>thể | Chín tháng để<br>32 năm | Tách lớp, đổi màu chất đóng gói, ăn mòn và đổi màu kim loại hóa, nứt pin mặt trời,<br>vỡ kính, lớp phủ chống phản xạ bị hư hỏng, ốc sên<br>đư ờng mòn, hộp nối bị hỏng, bẩn | Kiểm tra trực quan, đo IV & PV | Bouraiou và cộng sự [55] |
| Ấn Độ | Đa tinh thể Có | 2,5 năm | Đặc điểm của ốc sên, hiện tư ợng nâu hóa tế bào đơ n lẻ, hỏng hộp nối, điểm nóng, kết nối chuỗi yếu<br>ruy-băng | Kiểm tra trực quan, Hình ảnh nhiệt, Truyền tĩnh mạch trong nhà<br>đo lư ờng | Sharma và Chandel<br>[64] |

Machine Translated by Google



Bảng

| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible]crystalline | [illegible] | [illegible]/2014 | - | - | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible]2014 | [illegible] | 15 | [illegible] | [illegible] |
| [illegible]ndez [80] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | - | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | - | - | | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | - | 19,1% | | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | 50% | [illegible] | [illegible]-6,85% Nư ớc-3,75% | [illegible]% Nư ớc-16,58% | [illegible] | [illegible] |

tấm pin năng lư ợng mặt trời khoảng 334 kWh/năm và để làm mát bằng không khí, sản lư ợng là 357 kWh/năm. Tổng đầu tư đạt 6300 € khi xem xét chi phí của tấm nhôm, chân đế kim loại, quạt thổi và chi phí lao động, để có đư ợc chi phí điện bình quân là 0,097 €/kWh. đánh giá kinh tế của hệ thống PV 30 kW cho thấy không khí làm mát chủ động dựa trên không phải là một lựa chọn khả thi vì khoản đầu tư cho kỹ thuật rất cao cùng với hiệu suất không đầy đủ. Làm mát bề mặt tấm pin mặt trời phía trư ớc với nư ớc làm giảm nhiệt độ hoạt động của tấm pin mặt trời xuống 20–30 °C. Các tác giả cũng đã kiểm tra chất lỏng dựa trên kỹ thuật làm mát và ư ớc tính cải thiện hiệu suất 10-15% trong làm mát chủ động dựa trên nư ớc so với làm mát không khí (5 –10%). Nghiên cứu cho thấy hệ thống làm mát bằng nư ớc hoạt động tốt về mặt kỹ thuật và hai hệ thống làm mát chủ động hệ thống đang bị nghi ngờ từ quan điểm kinh tế. Nghiên cứu về môi trư ờng kết luận rằng kỹ thuật làm mát bằng không khí chịu tác động sinh thái cao nhất do sự nóng lên toàn cầu và tác dụng axit hóa.

Bai et al. [79] đã nghiên cứu hiệu suất thực tế của việc rắc và làm mát bằng chất làm lạnh cho các tấm pin quang điện đư ợc lắp đặt tại thành phố Keszthely, Hungary, nơ i việc bơ m nư ớc diễn ra từ giếng sau khi lọc và làm mềm. Để giảm lãng phí nư ớc và phun lư ợng nư ớc tối thiểu cần thiết cho quá trình bốc hơ i trên PV các tấm pin, đầu phun nư ớc hoạt động không liên tục và theo kiểu bốc đồng. Hai mẫu ghép t-test, ANOVA một chiều và hai chiều và SPSS 22 đã thực hiện phân tích thống kê. Nghiên cứu thực nghiệm đã tiết lộ rằng hiệu suất điện đư ợc cải thiện trung bình 12% ngay cả sau khi sử dụng trung bình 22,5 L nư ớc mỗi ngày. Các tác giả kết luận rằng làm mát dựa trên chất làm lạnh không phải là một lựa chọn khả thi cho khí hậu điều kiện của Hungary và đề xuất rằng việc phun nư ớc làm mát Phư ơ ng pháp này đư ợc coi là tốt hơ n về mặt hiệu quả năng lư ợng. Phư ơ ng pháp rắc vư ợt hiệu suất 19% và 25% (kiểm soát) và 13% và 18% (làm mát bằng chất làm lạnh) vào ngày 19 tháng 6 năm 2014 và ngày 22 tháng 6 năm 2014.

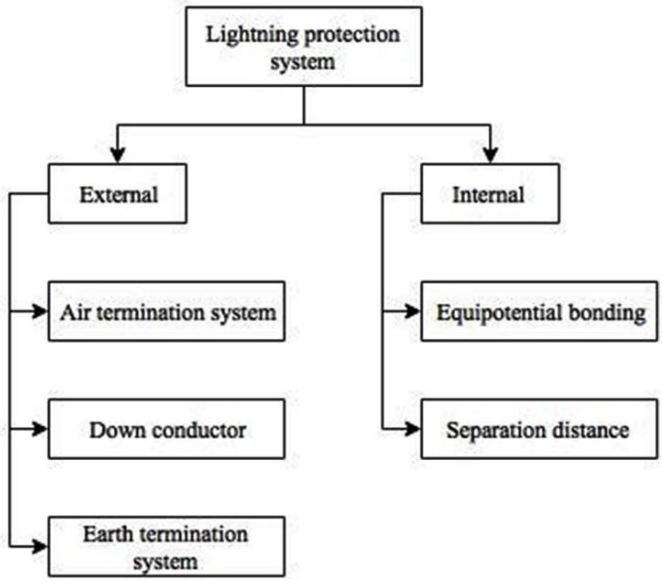
Mazón-Hernandez và cộng sự [80] đã kiểm tra tác động của các kênh không khí mặt cắt ngang, vận tốc không khí và nhiệt độ tấm pin trên điện thông số của tấm pin quang điện đư ợc lắp đặt tại trư ờng Đại học Bách khoa Cartagena ở Tây Ban Nha. Thiết lập thử nghiệm bao gồm hai mô-đun chẳng hạn như tấm A (tấm cách ly) đư ợc giữ trong điều kiện tiêu chuẩn đư ợc sử dụng làm tham chiếu và bảng B (bảng điều khiển đã sửa đổi) đư ợc giữ phía trên tấm thép với một kênh dẫn khí bên dư ới bảng điều khiển. Máy dò nhiệt độ điện trở đo nhiệt độ của tấm pin và nhiệt độ của luồng không khí bên trong kênh. Các tác giả đã đánh giá sản lư ợng điện cho cả đối lư u tự nhiên và đối lư u cư ỡng bức và cũng đề cập đến sự liên quan của khoảng cách giữa tấm pin mặt trời và mái nhà. Nghiên cứu khuyến nghị một khoảng không nổi bật hơ n giữa tấm pin quang điện và mái thép để làm mát bảng điều khiển một cách hiệu quả. Trong trư ờng hợp đối lư u tự nhiên, bảng điều khiển B là ấm hơ n tấm A và tấm cách nhiệt này chịu nhiệt độ thấp hơ n tấm A nhiệt độ do không gian bên dư ới tấm pin. Sản lư ợng điện cao hơ n đối với bảng B so với bảng A đối với sự đối lư u cư ỡng bức do cải thiện nhiệt truyền đến luồng không khí. Nghiên cứu cũng báo cáo rằng công suất đầu ra đư ợc tăng cư ờng 15% và nhiệt độ của tấm pin giảm 15 °C. Các tác giả kết luận rằng tấm pin quang điện làm mát bằng đối lư u cư ỡng bức tốt hơ n đối lư u tự nhiên cho cùng một mục đích tỉ lệ khung hình và mức độ chiếu sáng.

### 6.1.2. Làm mát thụ động

Các kỹ thuật làm mát thụ động thay thế các kỹ thuật chủ động liên quan đến tiết kiệm năng lư ợng vì trư ớc đây không cần nguồn điện bên ngoài hoạt động của nó. So sánh các kỹ thuật làm mát thụ động khác nhau cho PV cung cấp một phân tích chi tiết về kỹ thuật và hiệu suất các tính năng của hệ thống. Rajput và Yang [81] đã tiến hành thử nghiệm nghiên cứu về làm mát tấm pin quang điện thụ động bằng cách sử dụng bộ tản nhiệt hình trụ và so với bộ thu PV/T truyền thống. Các tác giả đã sử dụng 20 W tấm pin quang điện đa tinh thể và đèn halogen có cư ờng độ 1378,4 Wm-2 để tăng nhiệt độ trong nhà. Tản nhiệt vây tròn, có mật độ vây 1,22 vây cm $^2$ hạ nhiệt độ xuống

Machine Translated by Google






Hình 8. Phân loại các hệ thống sét khác nhau (đư ợc chuyển thể từ Tài liệu tham khảo [87]).

81,7 ± 2,3 °C và 88,6 °C ở mặt trư ớc và mặt sau tư ơ ng ứng.
Nghiên cứu cho thấy bộ tản nhiệt làm giảm nhiệt độ xuống 58,4 °C và nhiệt độ bộ thu xuống 47,9 °C. Các phư ơ ng pháp tự nhiên đã tăng cư ờng thông lư ợng nhiệt (667,2 Wm-2) ở mặt hiếm của tấm pin lên 30% khi sử dụng bộ tản nhiệt và 41,5% khi sử dụng bộ thu PV/T. Các tác giả cũng đề xuất cho công việc trong tư ơ ng lai là tiến hành nghiên cứu thực nghiệm sử dụng bộ tản nhiệt để làm mát tấm pin trong điều kiện gió tù.

Abd-Elhady et al. [86] đã đề xuất một phư ơ ng pháp đối lư u tự nhiên sử dụng các lỗ để ngăn ngừa quá nhiệt của các tấm pin PV do bức xạ phát ra từ Mặt trời và tiến hành các thí nghiệm và mô phỏng số tại Cairo, Ai Cập vào ngày 22 tháng 7 năm 2016 để kiểm tra ảnh hư ởng của kích thư ớc lỗ và số lư ợng lỗ trên các tấm pin PV. Các tác giả đã tiến hành các thí nghiệm trên hai tấm pin PV đơ n tinh thể 25 W giống hệt nhau với một tấm có 9 lỗ xuyên qua và tấm còn lại không có lỗ và không có khoảng trống. Việc tiếp xúc các tấm pin PV với nhiệt độ môi trư ờng xung quanh dẫn đến chênh lệch nhiệt độ giữa hai mô-đun khiến nhiệt độ của tấm pin không có lỗ cao hơ n tấm pin có lỗ là 8 °C trong ngày. Việc so sánh các kết quả thực nghiệm với mô hình số đã hỗ trợ trong việc lựa chọn kích thư ớc lỗ và số lư ợng lỗ để làm mát tấm pin. Nghiên cứu kết luận rằng các lỗ trên các tấm pin PV làm giảm nhiệt độ bề mặt và giúp làm mát các tấm pin. Việc tăng số lư ợng lỗ dẫn đến việc giảm nhiệt độ, trở nên không đáng kể sau một số lư ợng lỗ nhất định.

Các tác giả cũng khuyến nghị đư ờng kính quan trọng của các lỗ để cho phép lớp không khí nóng đi qua các lỗ này để làm mát hiệu quả.
Hasan et al. [82] đã theo dõi hiệu ứng làm mát của tấm pin PV sử dụng PCM gốc parafin trong môi trư ờng nóng của UAE. Phư ơ ng pháp thực nghiệm bao gồm việc tính toán nhiệt độ tại tấm pin mặt trời phía trư ớc có và không có PCM. Các tác giả cũng đã phát triển một mô hình để dự đoán tỷ lệ tan chảy và đông đặc của PCM trong mỗi tháng để chỉ ra tiến trình đông đặc. Các thùng chứa PCM dư ới dạng chất lỏng (10,2 L) đư ợc gắn vào PV và làm mát trư ớc khi kết tinh. Mô hình đã phát triển giúp xác định sự thay đổi trong hiệu suất làm mát của PCM trong những tháng khác nhau. Nhiệt độ môi trư ờng ấm hơ n đã đông đặc PCM vào mùa hè và nó không thể tan chảy vào mùa đông do thiếu năng lư ợng nhiệt. Vào tháng 4 và tháng 10, bức xạ mặt trời mạnh làm tan chảy hoàn toàn PCM và nó đông đặc vào ban đêm do nhiệt độ môi trư ờng thấp hơ n. Nghiên cứu kết luận rằng sự hiện diện của PCM làm giảm nhiệt độ PV trung bình 10,5 °C trong thời gian cao điểm, giúp tăng 5,9% công suất đầu ra của PV hàng năm.

Alami [83] đã đư a ra một phư ơ ng pháp làm mát chi phí thấp sử dụng đồng phủ trong đất sét tổng hợp làm vật liệu bay hơ i thụ động để thử nghiệm các tấm pin quang điện đơ n tinh thể giống hệt nhau 10 W. Tấm nền đồng đục lỗ có sẵn trên thị trư ờng với mảng lỗ 6 mm tạo ra hiệu ứng làm mát, đư ợc giữ giữa hai lớp đất sét Kera. Các tác giả đã tiến hành thử nghiệm đặc tính trên hai mô-đun quang điện giống hệt nhau đư ợc lắp đặt

bên ngoài phòng thí nghiệm truyền nhiệt của Đại học Sharjah vào buổi trư a nắng vào tuần cuối cùng của tháng 7 năm 2013. Nghiên cứu phát hiện ra rằng nhiệt độ của mô-đun PV có và không có đất sét lần lư ợt đạt 45 °C và 85 °C. Các tác giả kết luận rằng làm mát các mô-đun bằng đất sét làm tăng điện áp đầu ra 19,4% so với các mô-đun làm mát không có đất sét (19,1%).

Ebaid et al. [84] đã nghiên cứu thực nghiệm về việc làm mát các tấm pin quang điện đơ n tinh thể 50 W bằng cách sử dụng hai chất lỏng nano với lư u lư ợng thể tích là 500–5000 mL/phút ở mức 0,01–0,1 wt% trong điều kiện khí hậu của Jerash-Jordan. Một bộ trao đổi nhiệt làm bằng nhôm đư ợc giữ ở bề mặt sau của tấm pin quang điện cung cấp khả năng làm mát bằng các chất lỏng nano như $Al_2O_3$ trong hỗn hợp nư ớc-polyethylene glycol ở pH 5,7 và $TiO_2$ trong hỗn hợp nư ớc-cetyl trimethyl ammonium bromide ở pH 9,7. Bộ tản nhiệt đảm bảo tiếp xúc tốt giữa bộ trao đổi nhiệt và bề mặt sau của pin quang điện.

Rung siêu âm phá vỡ quá trình lắng đọng của các hạt nano và việc bổ sung chất hoạt động bề mặt làm giảm sức căng bề mặt của chất lỏng. Nghiên cứu cho thấy rằng việc tăng tỷ lệ khối lư ợng hạt nano và tốc độ dòng chảy đã giảm thiểu nhiệt độ bề mặt của tế bào PV. Chất lỏng nano $Al_2O_3$ cung cấp khả năng giảm nhiệt độ bề mặt PV tốt hơ n khi so sánh với chất lỏng nano $TiO_2$. Các tác giả cũng phát hiện ra rằng công suất và hiệu quả của tế bào PV đư ợc tăng cư ờng theo tốc độ dòng chảy và nồng độ của các hạt nano.

### 6.2. Chống sét

Việc bảo vệ mô-đun PV khỏi sét là điều cần thiết và thiết yếu để tránh các lỗi và hư hỏng ở các thiết bị phụ trợ đư ợc gắn vào hệ thống. Sét gây ra hiện tư ợng đánh trực tiếp, quá áp và xử lý nhiệt các mô-đun PV, do đó làm giảm các đặc tính điện và làm giảm điện áp đầu ra xuống mức 0. Việc giảm hiệu suất của mô-đun PV này buộc ngư ời dùng PV phải thiết kế và lắp đặt hệ thống chống sét tại địa điểm PV dựa trên vĩ độ, lắp đặt và cách sử dụng. Ahmad et al. [87] đã minh họa cách phân loại và giải thích về các hệ thống chống sét khác nhau cho các nhà máy PV (Hình 8). Kokkinos et al. [88] đã giải quyết các mối quan tâm khác nhau để định hình một cấu trúc chung cho bố trí hệ thống chống sét của các hệ thống PV. Các tác giả đã tiến hành các thí nghiệm tại phòng thí nghiệm HV của ELEMKO ở Hy Lạp và đư a ra các giải pháp khả thi để khắc phục các thách thức khác nhau có thể phát sinh tại địa điểm lắp đặt PV.

Công viên PV bao gồm 7300 tấm pin mặt trời có công suất danh định 270 W, 180 bộ biến tần DC/AC công suất 11 kW đư ợc lắp trên các đế bê tông cốt thép chôn trong đất. Các tác giả đã xem xét thiết kế ứng dụng cách ly và không cách ly cho hệ thống chống sét. Dựa trên nền tảng của khung PV, nghiên cứu đề xuất nhiều vật liệu khác nhau cho hệ thống tiếp địa đư ợc đóng xuống đất. Nghiên cứu khuyến nghị khoảng cách tối thiểu là 3 m giữa khung PV của mỗi hàng và điện cực đất. Vì việc tiến hành các thí nghiệm trong công viên PV rất khó khăn, nên các tác giả đã thực hiện phân tích thu nhỏ bằng cách sử dụng hệ thống PV 2 MW bao gồm 9 mô-đun PV nối tiếp tạo ra điện áp đầu ra 200 V và dòng điện 10 A. Các tác giả đã thử nghiệm hai trư ờng hợp có thể xảy ra để kiểm tra điện áp cảm ứng thấp hơ n mà không có bất kỳ sự chiếu sáng nào tại vòng cáp DC. Kết quả cho thấy hệ thống bảo vệ không cách ly cung cấp điện áp cảm ứng thấp hơ n trong trư ờng hợp sét đánh và đư ợc coi là một lựa chọn tiết kiệm chi phí khi so sánh với thiết kế chống sét từ xa. Do đó, các tác giả thích sử dụng hệ thống bảo vệ bằng ánh sáng không cách ly cho công viên PV.

Ittarat et al. [89] đã phát triển một chư ơ ng trình máy tính để quyết định xem có cần thiết phải lắp đặt hệ thống chống sét trong PV hay không.
Các tác giả đã thu thập dữ liệu từ hệ thống PV 25 kW đư ợc lắp đặt tại huyện Thayang, tỉnh Phetburi của Thái Lan. Đánh giá thiệt hại

Machine Translated by Google



từ sét bao gồm việc đánh giá tần số của Nc và
tần số Nd của các hệ thống PV. Các tác giả đã sử dụng visual basic
chư ơ ng trình và áp dụng kỹ thuật góc bảo vệ để xác định chiều cao
và số lư ợng cột thu lôi cần thiết để lắp đặt các cột thu lôi phía sau PV
tấm pin và do đó đảm bảo các thành phần PV trong vùng bảo vệ.
Chư ơ ng trình tính toán giá trị của Nc và Nd là 10 × 10 6 và
9.945 × 10 3 gợi ý về sự cần thiết của hệ thống chống sét. Phư ơ ng pháp góc bảo
vệ đã xác nhận kết quả chư ơ ng trình
với chư ơ ng trình vẽ 3D và xác định rằng các tấm pin PV đang ở
vùng bảo vệ. Sử dụng chư ơ ng trình, các tác giả khuyến nghị lắp đặt cột thu lôi
có chiều cao 12 m cho năm cột, mỗi cột có
phạm vi bảo vệ 58° và bán kính 19,20 m.

Lắp đặt đúng cách các tấm pin PV và thiết kế chính xác
hệ thống chống sét nâng cao hiệu quả của việc phát điện với ít nguy cơ sét nhất.
Việc xây dựng địa điểm lắp đặt PV và thiết kế hệ thống chống sét phải đư ợc thực
hiện
đồng thời để cải thiện hiệu quả của hệ thống bảo vệ.
tuổi thọ của hoạt động PV đư ợc cải thiện khi bảo vệ hiệu chỉnh
kỹ thuật đáp ứng yêu cầu tiêu chuẩn của lắp đặt PV.

### 6.3. Loại bỏ bụi

Việc tiếp xúc của các tấm pin PV với các điều kiện thời tiết khác nhau dẫn đến
trong quá trình lắng đọng một lớp trên bề mặt tấm do bụi, đất, ô nhiễm khí quyển,
tảo, phân chim, v.v., khó loại bỏ hơ n
sạch sẽ nếu để lâu không vệ sinh. Tích tụ bụi bẩn và chất bẩn
trên bề mặt tấm pin PV làm giảm hiệu suất của hệ thống. Mối quan tâm này
dẫn đến việc phân loại các phư ơ ng pháp khác nhau để làm bẩn và bụi
giảm thiểu (Hình 9) để tăng hiệu quả và độ tin cậy của PV
hệ thống [90].

#### 6.3.1. Vệ sinh thủ công

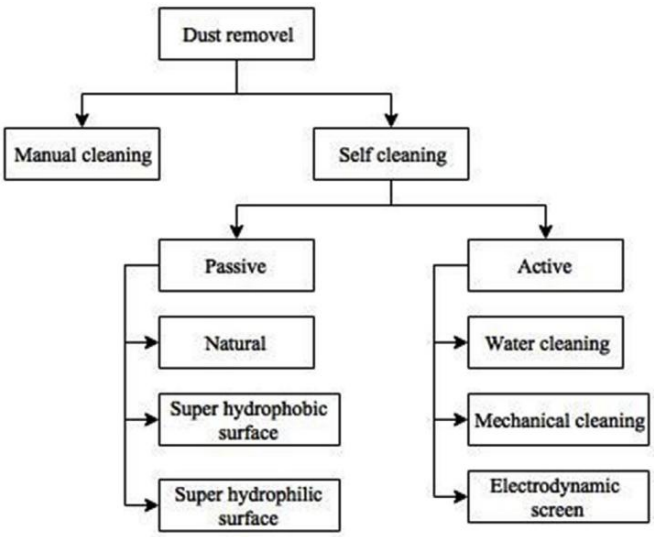
Vệ sinh thủ công là cách truyền thống để khôi phục bề mặt tấm pin quang điện về
trạng thái sạch hơ n vì phư ơ ng pháp này có thể lau sạch các vết bẩn cứng đầu như chim
phân và bụi xi măng từ tấm pin mặt trời đư ợc làm sạch hiệu quả bằng nguồn nhân
lực. Tuy nhiên, loại hình vệ sinh bằng lao động rất tốn kém đối với các nhà máy
PV quy mô lớn. Các công cụ cần thiết để phủi bụi, nư ớc, chất tẩy rửa, nhân công
phí, an toàn và phúc lợi của ngư ời lao động, thêm chi phí phát sinh vào
quá trình. Việc vệ sinh thủ công cũng gây ra thiệt hại vật lý cho tấm pin PV
bề mặt như vết trầy xư ớc và vết nứt trên tế bào, có thể tránh đư ợc
bằng cách sử dụng bàn chải có lông mềm và vải lau mềm. Hư ớng dẫn sử dụng
việc vệ sinh không an toàn đối với các nhà máy điện mặt trời đư ợc lắp đặt ở độ cao lớn và đối với
nhà máy điện mặt trời ngoài khơ i. Alnaser [91] đã nghiên cứu tác động của việc
vệ sinh tấm pin quang điện do con ngư ời thực hiện đối với hiệu suất của Sadeem BIPV
tòa nhà tại BAPCO, Awali, Vư ơ ng quốc Bahrain. 36 tấm pin PV đư ợc lắp đặt trên
mái nhà cần 500 L nư ớc cất sau mỗi hai
tháng để làm sạch. Tác giả đã thu thập dữ liệu PV ba ngày trư ớc
và cũng sau khi vệ sinh các tấm pin để phân tích lư ợng thất thoát trong
năng suất điện do bụi tích tụ. Nghiên cứu cho thấy rằng
việc vệ sinh do con ngư ời thực hiện hai tháng một lần đã nâng cao hiệu suất của
tấm pin PV lên 6%. Tác giả cũng lư u ý rằng việc vệ sinh 160 tấm pin PV trên mái nhà
các tấm pin mặt trời tại MBRSC ở Dubai, Các Tiểu vư ơ ng quốc Ả Rập Thống nhất một lần một tháng
cải thiện năng suất năng lư ợng lên 8% khi bức xạ mặt trời trung bình toàn cầu là
450 W/m2 .

#### 6.3.2. Làm sạch tự nhiên

Làm sạch tự nhiên bằng nư ớc mư a phù hợp với những nơ i có lư ợng mư a lớn và
đối với các mô-đun PV đư ợc cố định ở độ nghiêng lớn hơ n
góc. Phư ơ ng pháp này chỉ làm sạch bụi bẩn bám trên bề mặt tấm pin.
đằng sau lớp bụi bẩn bám trên các tấm pin do độ ẩm. Mặc dù
cải thiện sản lư ợng điện từ các mô-đun PV với lư ợng mư a, dựa vào
về lư ợng mư a để làm sạch không đư ợc khuyến khích vì nó chỉ xảy ra thỉnh thoảng
và ít hơ n ở các vùng khô hạn. Alnaser et al. [92] đã so sánh hiệu suất của tấm
pin mặt trời do con ngư ời tạo ra và đư ợc làm sạch tự nhiên 2088 tại
Đại học Bahrain lựa chọn tám tấm pin quang điện để vệ sinh thủ công
với nư ớc cất và một bộ khác gồm bảy tấm pin quang điện còn lại
không cần vệ sinh. Nghiên cứu phát hiện ra rằng điện mặt trời đư ợc sản xuất bởi
Tấm pin mặt trời (để lại để làm sạch tự nhiên) cao hơ n 5,9% so với dữ liệu dự
đoán của nhà phát triển (PetraSolar) và thấp hơ n 15,3% so với giá trị trong tài
liệu. So sánh dữ liệu này cho thấy tấm pin mặt trời để lại để
chế độ làm sạch tự nhiên tạo ra năng lư ợng mặt trời thấp hơ n 9% so với PV
các tấm đư ợc làm sạch bằng lao động. Gió cũng làm giảm sự lắng đọng bụi trên
bề mặt mô-đun khi hư ớng và tốc độ gió ảnh hư ởng sâu sắc đến hiệu suất của mô-đun
PV [93]. Jiang et al. [94] đã phát triển một mô hình sử dụng lý thuyết tái treo
hạt để phân tích gió
phư ơ ng pháp làm sạch các hạt bụi từ bề mặt mô-đun PV phẳng.
các tác giả đã đánh giá tốc độ cắt tối thiểu (0,23–57,56 m/s) và
tốc độ gió thực tế (0,82–2219,8 m/giây) làm bụi lơ lửng trở lại
các hạt từ bề mặt mô-đun PV. Nghiên cứu cho thấy rằng nó là
cần thiết để chuyển đổi hư ớng và tốc độ của luồng không khí thành vận tốc thực
tế dọc theo đư ờng đi của các mô-đun PV, để dự đoán việc làm sạch gió
quy trình cho các mô-đun PV. Mô hình này phù hợp với các bề mặt phẳng vì
mối quan hệ giữa vận tốc dòng chảy tự do và vận tốc thực tế trên mặt phẳng nghiêng
là không chắc chắn. Công trình này gợi ý nghiên cứu nâng cao hơ n nữa
về ảnh hư ởng của góc nghiêng khi vệ sinh để làm rõ tầm quan trọng của vị trí lắp
đặt.

#### 6.3.3. Bề mặt kỵ nư ớc

Bề mặt kỵ nư ớc loại bỏ bụi bẩn khỏi bề mặt tấm pin quang điện
với hệ thống làm sạch bằng nư ớc hoặc kết tủa tự nhiên. Lớp phủ này tăng cư ờng
khả năng hấp thụ năng lư ợng mặt trời của tấm pin bằng cách tăng
khu vực hoạt động để bẫy ánh sáng mặt trời. Lớp phủ hóa học làm tăng
sự xuống cấp của các tấm pin quang điện do tiếp xúc với tia cực tím và chống chịu thời tiết
lớp phủ làm giảm nguy cơ này. Fathi et al. [95] đã nghiên cứu hiệu suất
của tấm phủ nano PV hiệu quả về mặt chi phí. Quy trình bề mặt
sửa đổi bao gồm làm sạch bằng dung dịch mồi nanotol, sấy khô
dùng khăn lau sợi nhỏ và phun dung dịch keo nanotol.
Các tác giả đã tiến hành đo IV bằng cách sử dụng một thiết bị thu thập dữ liệu
hệ thống để kiểm tra các thông số điện có phù hợp với các điều kiện thử nghiệm
tiêu chuẩn hay không. Các mô-đun PV có và không có lớp phủ kỵ nư ớc đã trải qua
thử nghiệm kỵ nư ớc và quang học và so sánh bụi và nư ớc
lắng đọng giọt trên các mô-đun PV. Nghiên cứu thực nghiệm đã tìm thấy một
cải thiện khả năng truyền ánh sáng và điện áp mạch hở trong các tấm pin quang
điện phủ nano. Nghiên cứu nhiệt giải thích rằng các hạt bụi
tạo ra hiệu ứng bóng đổ trên bề mặt tấm (không tráng phủ) và tạo ra
điểm nóng làm tăng nhiệt độ của tấm pin và giảm độ mở
điện áp mạch. Do đó, tấm pin quang điện phủ nano với vật liệu nano tự làm sạch
hoạt động tốt hơ n trong điều kiện khí hậu nóng của các khu vực MENA.
đề xuất phủ nano là một phư ơ ng pháp làm sạch tiết kiệm chi phí vì




Hình 9. Các phư ơ ng pháp khác nhau để giảm thiểu hiện tư ợng soling từ các nhà máy quang điện (đã điều chỉnh
từ Tài liệu tham khảo [90]).

Machine Translated by Google



chi phí công nghệ khoảng 1,89 Euro/m2 /năm tư ơ ng đư ơ ng với 18.900 Euro/1 MW/năm.

6.3.4. Bề mặt ư a nư ớc Bề mặt

ư a nư ớc sử dụng lớp phủ hóa học hoặc lớp lư ới để loại bỏ vết bẩn, trong đó bề mặt có xu hư ớng hút nư ớc mạnh. Trong cơ chế tự làm sạch này, giọt nư ớc lan ra trên bề mặt, di chuyển sâu vào bên trong hạt bụi và mang nó đi. Zhong và cộng sự [96] đã thiết kế một lớp phủ siêu ư a nư ớc mới bao gồm 3-triethoxysilylpropylamine và TiO2 (hoạt động như chất xúc tác quang) trên bề mặt của tấm pin PV. Phư ơ ng pháp kéo đã tải các chất nền lên các tấm kính sau khi làm sạch các mô-đun bằng hợp chất làm sạch. SEM đã phân tích sự phân bố kích thư ớc hạt và cấu trúc bề mặt, trong khi XRD và TEM nghiên cứu tinh thể nano TiO2. Góc tiếp xúc nư ớc tĩnh thấp hơ n 5° thể hiện tính chất ư a nư ớc vư ợt trội của lớp phủ hóa học. Nghiên cứu phát hiện ra rằng sản lư ợng điện từ các tấm pin đã xử lý cao hơ n các tấm pin chư a xử lý, đạt tối đa 4,2%.

6.3.5. Vệ sinh bằng nư ớc Vệ sinh

bằng nư ớc là một phư ơ ng pháp liên quan khác để loại bỏ các hạt rắn bám trên bề mặt PV. Tư ơ ng tự như các phư ơ ng pháp vệ sinh tự nhiên, vệ sinh bằng nư ớc thiếu độ tin cậy do lư ợng nư ớc và điện năng cần thiết quá lớn, lo ngại về tình trạng tắc nghẽn nư ớc và sốc nhiệt trong các tấm PV và tích tụ cặn hóa học. Moharram và cộng sự [97] đã sử dụng chất hoạt động bề mặt và nư ớc để loại bỏ bụi bám trên nhà máy điện PV công suất 14 kW đư ợc lắp đặt tại Đại học Đức ở Cairo, Ai Cập. Các tác giả đã tiến hành một nghiên cứu để vệ sinh các tấm pin bằng hệ thống nư ớc không áp suất với lư ợng nư ớc và năng lư ợng ít hơ n mỗi ngày trong 10 phút trong 45 ngày liên tiếp với lư u lư ợng 12 L/ phút. Cuộc điều tra bao gồm phân tích hiệu suất của các tấm pin mà không cần vệ sinh, vệ sinh bằng nư ớc không áp suất và vệ sinh bằng nư ớc và chất hoạt động bề mặt. Nghiên cứu cho thấy hiệu suất của các tấm pin quang điện giảm 0,14%/ngày và 50% khi vệ sinh bằng nư ớc không áp suất và sau 45 ngày vệ sinh chỉ bằng nư ớc. Thí nghiệm phát hiện ra rằng việc sử dụng chất hoạt động bề mặt làm giảm lư ợng nư ớc cần thiết để vệ sinh và hỗn hợp chất hoạt động bề mặt anion và cation làm giảm thiểu các hạt bụi bám trên tấm pin và do đó duy trì hiệu suất của nhà máy.

6.3.6. Phư ơ ng pháp cơ học

Vệ sinh tấm pin PV bao gồm nhiều hệ thống cơ học với nhiều thiết kế khác nhau tùy thuộc vào vị trí, lựa chọn và mục đích của hệ thống PV. Các phư ơ ng pháp vệ sinh này bao gồm cần gạt nư ớc tự động, quạt gió, nắp có thể tháo rời, chổi và bể chứa có vòi phun đư ợc kích hoạt bằng cơ học hoặc điện dựa trên phát hiện bụi bẩn.

Shehri et al. [98] đã thiết kế một bệ thử nghiệm và nghiên cứu tác động của việc vệ sinh khô bằng chổi lên các tấm pin quang điện. Một hệ thống lắc lắng đọng cát liên tục lắng đọng bụi trên các bề mặt đư ợc chải để tạo ra một môi trư ờng thực tế tư ơ ng đư ơ ng với 20 năm. Các công cụ vệ sinh bao gồm nylon, vải và bọt cao su silicon để chải các tấm pin mặt trời phủ lớp chống phản xạ. Nghiên cứu về hiệu ứng chải cho thấy các tấm pin mặt trời đư ợc làm sạch bằng chổi cao su silicon đã tăng công suất đầu ra trung bình 1% so với công suất đầu ra ban đầu không đư ợc chải. Phân tích SEM của mẫu PV cho thấy việc chải bằng nylon gây ra các vết xư ớc lớn, từ đó ảnh hư ởng đến bề mặt lớp phủ. So sánh định tính việc làm sạch các tấm pin bằng ba loại chổi đã xác nhận rằng các công cụ làm sạch như nylon và cao su đã làm sạch các lớp bụi ẩm khi so sánh với việc làm sạch bằng vải.

6.3.7. Màn hình điện động (EDS)

Sự phát triển của EDS sử dụng khái niệm về đặc tính tĩnh điện của bụi để giảm thiểu tác động tiêu cực của bụi bẩn lên tấm pin mặt trời. Công nghệ loại bỏ bụi này sử dụng nguồn điện áp cao để cấp điện cho các điện cực của màn hình trong suốt, từ đó giúp loại bỏ các hạt bụi tích điện và không tích điện khỏi bề mặt tấm pin PV.

Kawamoto và Guo [99] đã phát triển một hệ thống làm sạch tĩnh điện để loại bỏ bụi khỏi bề mặt tấm pin mặt trời bằng lực tĩnh điện. Nguyên mẫu bao gồm các tấm làm sạch bụi với các điện cực dây song song đư ợc nhúng trong chất nền thủy tinh borosilicate và một nguồn điện áp cao để tạo ra điện áp cao hai pha. Nghiên cứu cho thấy rằng việc vận hành hệ thống làm sạch cùng với gió tự nhiên đã cải thiện hiệu suất cho quá trình nạp bụi ban đầu. Một lớp phủ cách điện chống bụi trên tấm pin đã tăng cư ờng khả năng làm sạch do điện áp bề mặt thấp hơ n. Công trình đề xuất thử nghiệm thực địa trong thời gian dài hơ n để chứng minh hiệu quả của hệ thống.

7. Kết luận và hư ớng đi trong tư ơ ng lai

Khai thác năng lư ợng từ năng lư ợng mặt trời là một ứng dụng thiết yếu trong lĩnh vực năng lư ợng tái tạo vì nó thân thiện với môi trư ờng và bền vững. Bài báo này báo cáo các yếu tố môi trư ờng cản trở các thành phần khác nhau của hệ thống quang điện. Bài báo này xem xét các điều kiện môi trư ờng quan trọng ảnh hư ởng đến hiệu suất của các hệ thống quang điện. Bài đánh giá cũng cung cấp một triển vọng toàn diện về các chế độ hỏng hóc khác nhau, các phư ơ ng pháp phát hiện hỏng hóc và các kỹ thuật giảm thiểu khác nhau để giảm sự suy giảm hiệu suất. Các nhà nghiên cứu làm việc trên các mô-đun PV có thể thử nghiệm về tác động đồng thời của các thông số này đối với hiệu suất PV trong công việc R&D (nghiên cứu và phát triển) trong tư ơ ng lai của họ. Các mối quan hệ tư ơ ng hỗ đư ợc phát triển dựa trên các thí nghiệm này giúp các nhà hoạch định chính sách và các nhà đầu tư áp dụng các biện pháp phòng ngừa để vận hành đáng tin cậy.

Tóm lại, có những khuyến nghị sau đây:

- Dự báo các thông số môi trư ờng như bụi, nhiệt độ, nhiễu động gió, độ ẩm, tuyết rơ i, mư a đá và bão cát giúp các nhà đầu tư đư a ra phư ơ ng án thay thế để bảo vệ các nhà máy điện mặt trời. Bảng thông số kỹ thuật của các tấm pin mặt trời, thiết bị điều hòa điện liên quan cung cấp kiến thức ư ớc tính về hiệu suất dựa trên các điều kiện xung quanh. Việc chuẩn bị cơ sở dữ liệu về các điều kiện môi trư ờng và khí hậu như vận tốc gió, lư ợng mư a, độ ẩm tư ơ ng đối, nhiệt độ và các yếu tố khác phù hợp với địa điểm của nhà máy điện mặt trời là điều cần thiết.

- Các tấm pin phải đư ợc thử nghiệm để chịu đư ợc các yếu tố khắc nghiệt của môi trư ờng. Các nhà sản xuất phải kiểm tra và chứng nhận khả năng phục hồi của các tấm pin mặt trời trư ớc các điều kiện khí hậu khắc nghiệt. Việc lắp đặt chuyên nghiệp các mô-đun PV đảm bảo tuổi thọ lâu dài của toàn bộ hệ thống bằng cách vư ợt qua các yếu tố thời tiết bất lợi. Các công nghệ tấm pin mặt trời và các thành phần phụ trợ kèm theo của nhà máy PV phải đáp ứng đư ợc yêu cầu của địa điểm lắp đặt. • Việc bảo dư ỡng định kỳ các tấm pin mặt trời

bằng cách ký bảo hành sản xuất, bảo hành lắp đặt và bảo hành thiết bị năng lư ợng mặt trời từ bên lắp đặt là cần thiết để các hệ thống PV hoạt động trơ n tru.

Việc bảo hiểm các tấm pin mặt trời hoặc hệ thống năng lư ợng chống lại các điều kiện khí hậu bất lợi, trộm cắp và thiệt hại từ động vật sẽ thu hút nhiều ngư ời mua hơ n.

- Mô hình hóa các nhà máy điện mặt trời giúp nghiên cứu phân tích trạng thái ổn định tiêu chuẩn cùng với phân tích động phụ thuộc thời gian. Mô hình hóa này giúp các nhà điều hành dự đoán chức năng của các nhà máy điện dựa trên nguồn năng lư ợng tái tạo với các điều kiện khí tư ợng đư ợc dự báo. Mô hình hóa đóng vai trò quan trọng trong giai đoạn đầu phát triển nhà máy và hỗ trợ các nhà đầu tư đư a ra quyết định tốt hơ n. Một phư ơ ng pháp chính xác để thiết lập hiệu suất của nhà máy điện mặt trời cung cấp cơ sở dữ liệu đáng tin cậy để dự đoán và xác nhận sản lư ợng năng lư ợng. • Trong tư ơ ng lai, cần tiến hành nghiên cứu về cách xử lý và tái chế các mô-đun điện mặt trời

bị hỏng do các yếu tố môi trư ờng.

Chính phủ phải khuyến khích các tổ chức tham gia vào quá trình tái chế tấm pin mặt trời với các ư u đãi kinh tế. • Hoạt động R&D mới, chuyển

giao công nghệ và các phư ơ ng pháp tiếp cận năng động giữa các nhà sản xuất thiết bị, nhà đầu tư , khách hàng và các tổ chức khác củng cố nhận thức về đầu tư vào ngành năng lư ợng mặt trời.

Machine Translated by Google



Những tiến bộ hơ n nữa trong công nghệ giúp tăng hiệu quả và giảm quá trình phân hủy của tấm pin mặt trời là các lĩnh vực nghiên cứu trong tư ơ ng lai để tăng sản lư ợng năng lư ợng từ hệ thống PV.

## Sự thừa nhận

Các tác giả xin cảm ơ n Giám đốc CSIR-NGRI (Tiến sĩ VM Tiwari) đã cho phép xuất bản bài báo đánh giá này (Res.Pub/2016/ PME). Các tác giả xin cảm ơ n Tiến sĩ EVSSK Babu vì sự động viên và hỗ trợ của ông, đồng thời cũng cảm ơ n ông vì đã cung cấp các phư ơ ng tiện cần thiết để hoàn thành bản thảo từ các dự án của tổ chức: MLP-6406-28 (EVB) và Geomet (MLP-0002-FBR-2 (EVSSKB)). Các tác giả xin trân trọng và cảm ơ n biên tập viên và các nhà đánh giá ẩn danh vì những bình luận và đề xuất mang tính xây dựng đã cải thiện đáng kể chất lư ợng của bài báo đánh giá này.

## Tài liệu tham khảo

[1] Liu L qun, Wang Z xin, Zhang H qiang, Xue Y cheng. Phát triển năng lư ợng mặt trời ở Trung Quốc - Một đánh giá. Renew Sustain Energy Rev 2010;14:301–11. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.08.005.

[2] Tian H, Mancilla-David F, Ellis K, Muljadi E, Jenkins P. Mô hình chi tiết từ cell đến module đến mảng cho tấm pin quang điện. Sol Energy 2012;86:2695–706. https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.06.004.

[3] Manju S, Sagar N. Tiến tới phát triển năng lư ợng bền vững: Đánh giá quan trọng về tình trạng hiện tại, ứng dụng, rào cản phát triển và triển vọng của các hệ thống quang điện mặt trời ở Ấn Độ. Renew Sustain Energy Rev 2017;70:298–313. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.226.

[4] Chandel SS, Nagaraju Naik M, Chandel R. Đánh giá về nư ớc quang điện mặt trời công nghệ hệ thống bơ m phục vụ tư ới tiêu và cung cấp nư ớc uống cho cộng đồng. Tái tạo và duy trì năng lư ợng Rev 2015;49:1084–99. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015. 04.083.

[5] Chandel SS, Nagaraju Naik M, Sharma V, Chandel R. Phân tích sự suy thoái của 28 năm mô-đun quang điện mono-c-Si lộ ra của hệ thống bơ m nư ớc năng lư ợng mặt trời ghép trực tiếp ở vùng phía tây dãy Himalaya của Ấn Độ. Renew Energy 2015;78:193–202. https://doi.org/ 10.1016/j.renene.2015.01.015.

[6] Oliveira MCC de, Diniz Cardoso ASA, Viana MM, Lins V de FC. Nguyên nhân và tác động của sự phân hủy của copolymer ethylene vinyl acetate (EVA) đóng gói trong các mô-đun quang điện silicon tinh thể: Một bản đánh giá. Renew Sustain Energy Rev 2018;81:2299–317. https://doi.org/10.1016/ j.rser.2017.06.039.

[7] Rydh CJ, Sandén BA. Phân tích năng lư ợng của pin trong hệ thống quang điện. Phần I: hiệu suất và yêu cầu năng lư ợng. Energy Convers Manag 2005;46:1957–79. https://doi.org/10.1016/ j.enconman.2004.10.003.

[8] Jaguemont J, Boulon L, Dubé Y. Đánh giá toàn diện về pin lithium-ion đư ợc sử dụng trong xe hybrid và xe điện ở nhiệt độ lạnh. Appl Energy 2016;164:99–114. https://doi.org/10.1016/ j.apenergy.2015.11.034.

[9] Mani M, Pillai R. Tác động của bụi đến hiệu suất quang điện mặt trời (PV): tình hình nghiên cứu, thách thức và khuyến nghị. Renew Sustain Energy Rev 2010;14:3124–31. https://doi.org/ 10.1016/j.rser.2010.07.065.

[10] Mekhilef S, Saidur R, Kamalisarvestani M. Ảnh hư ởng của bụi, độ ẩm và tốc độ không khí đến hiệu suất của các tế bào quang điện. Renew Sustain Energy Rev 2012;16:2920–5. https://doi.org/10.1016/ j.rser.2012.02.012.

[11] Keiichi Morita F, Sakai T. Bằng sáng chế Hoa Kỳ (19) 54, 1973.

[12] Krueger BJ, Grassian VH, Cowin JP, Laskin A. Hóa học không đồng nhất của in- các hạt bụi khoáng riêng lẻ từ các vùng nguồn bụi khác nhau: tầm quan trọng của khoáng vật học hạt. Atmos Environ 2004;38:6253–61. https://doi.org/10.1016/j. atmosenv.2004.07.010.

[13] Beattie NS, Moir RS, Chacko C, Buffoni G, Roberts SH, Pearsall NM. Hiểu đư ợc tác động của sự tích tụ cát và bụi lên các mô-đun quang điện. Renew Energy 2012;48:448–52. https://doi.org/10.1016/ j.renene.2012.06.007.

[14] Elminir HK, Ghitas AE, Hamid RH, El-Hussainy F, Beheary MM, Abdel-Moneim KM. Ảnh hư ởng của bụi lên lớp phủ trong suốt của bộ thu năng lư ợng mặt trời. Energy Convers Manag 2006;47:3192–203. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.02.014.

[15] Adinoyi MJ, Said SAM. Ảnh hư ởng của sự tích tụ bụi đến công suất đầu ra của các mô-đun quang điện mặt trời. Renew Energy 2013;60:633–6. https://doi.org/10.1016/j. renene.2013.06.014 Ghi chú kỹ thuật.

[16] Figgis B, Martinez Plaza DMT. Biến động tỷ lệ bám bẩn PV trong thời gian dài. 2014. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28006.11846.

[17] Said SAM, Walwil HM. Nghiên cứu cơ bản về tác động của bụi bẩn lên hiệu suất mô-đun PV. Sol Energy 2014;107:328–37. https://doi.org/10.1016/j.solener. 2014.05.048.

[18] Saidan M, Albaali AG, Alasis E, Kaldellis JK. Nghiên cứu thực nghiệm về tác động của lắng đọng bụi trên các tấm pin quang điện mặt trời trong môi trư ởng sa mạc. Renew Energy 2016;92:499–505. https:// doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.031.

[19] Guan Y, Zhang H, Xiao B, Zhou Z, Yan X. Nghiên cứu tại chỗ về tác động của lắng đọng bụi đến hiệu suất của các mô-đun quang điện silicon đa tinh thể. Năng lư ợng tái tạo 2017;101:1273–84. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.009.

[20] Paudyal BR, Shakya SR. Tác động của sự tích tụ bụi đến hiệu quả của các mô-đun quang điện mặt trời dùng cho mục đích ngoài lư ới điện: Nghiên cứu trư ờng hợp của Kathmandu. Sol Energy 2016;135:103–10. https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.05.046.

[21] Ramli MAM, Prasetyono E, Wicaksana RW, Windarko NA, Sedraoui K, Al-Turki YA. Về việc điều tra sự suy giảm công suất đầu ra của quang điện do tích tụ bụi và điều kiện thời tiết. Năng lư ợng tái tạo 2016;99:836–44. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.063.

[22] Gholami A, Saboonchi A, Alemrajabi AA. Nghiên cứu thực nghiệm về các yếu tố ảnh hư ởng đến sự tích tụ bụi và tác động của chúng đến hệ số truyền của kính cho các ứng dụng năng lư ợng mặt trời. Năng lư ợng tái tạo 2017;112:466–73. https://doi.org/10.1016/j.renene. 2017.05.050.

[23] Asl-Soleimani E, Farhangi S, Zabihi MS. Ảnh hư ởng của góc nghiêng, ô nhiễm không khí đến hiệu suất của hệ thống quang điện ở Tehran. Năng lư ợng tái tạo 2001;24:459–68. https://doi.org/10.1016/ S0960-1481(01)00029-5.

[24] El-Shobokshy MS, Hussein FM. Ảnh hư ởng của bụi có các tính chất vật lý khác nhau đến hiệu suất của pin quang điện. Sol Energy 1993;51:505–11. https://doi.org/ 10.1016/0038-092X(93)90135-B.

[25] Abderrezek M, Fathi M. Nghiên cứu thực nghiệm về tác động của bụi lên năng suất của tấm pin quang điện. Sol Energy 2017;142:308–20. https://doi.org/10.1016/j.solener. 2016.12.040.

[26] Rahman MM, Hasanuzzaman M, Rahim NA. Tác động của các thông số khác nhau đến công suất và hiệu suất của mô-đun PV. Energy Convers Manag 2015;103:348–58. https:// doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.067.

[27] Touati FA, Al-Hitmi MA, Bouchech HJ. Nghiên cứu về tác động của bụi, độ ẩm tư ơ ng đối và nhiệt độ lên hiệu suất PV mặt trời ở Doha: so sánh giữa PV đơ n tinh thể và PV vô định hình. Int J Green Energy 2013;10:680–9. https:// doi.org/10.1080/15435075.2012.692134.

[28] Rahman MM, Hasanuzzaman M, Rahim NA. Tác động của điều kiện vận hành đến hiệu quả năng lư ợng của các mô-đun quang điện hoạt động tại Malaysia. J Clean Prod 2017;143:912–24. https://doi.org/10.1016/ j.jclepro.2016.12.029.

[29] Gaglia AG, Lykoudis S, Argiriou AA, Balaras CA, Dialynas E. Hiệu suất năng lư ợng của tấm pin PV trong điều kiện ngoài trời thực tế- Đánh giá thử nghiệm tại Athens, Hy Lạp. Renew Energy 2017;101:236–43. https:// doi.org/10.1016/j.renene.2016. 08.051.

[30] Elibol E, Özmen ÖT, Tutkun N, Köysal O. Phân tích hiệu suất ngoài trời của các loại tấm pin PV khác nhau. Renew Sustain Energy Rev 2017;67:651–61. https://doi.org/10. 1016/j.rser.2016.09.051.

[31] Zondag HA. Bộ thu nhiệt và hệ thống PV-nhiệt phẳng: Một bản đánh giá. Renew Sustain Energy Rev 2008;12:891–959. https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.12.012.

[32] Evans DL. Phư ơ ng pháp đơ n giản hóa để dự đoán sản lư ợng mảng quang điện. Sol Energy 1981;27:555–60. https://doi.org/10.1016/0038-092X(81)90051-7.

[33] Stultz JW. Các thử nghiệm nhiệt và các thử nghiệm khác của mô-đun quang điện đư ợc thực hiện dư ới ánh sáng mặt trời tự nhiên. J Energy 1979;3:363–72. https://doi.org/10.2514/3.62445.

[34] Kurnik J, Jankovec M, Brecl K, Topic M. Kiểm tra ngoài trời về nhiệt độ và hiệu suất của mô-đun PV trong các điều kiện lắp đặt và vận hành khác nhau. Sol Energy Mater Sol Cells 2011;95:373–6. https:// doi.org/10.1016/j.solmat.2010.04.022.

[35] Gökmen N, Hu W, Hou P, Chen Z, Sera D, Spataru S. Nghiên cứu tác động làm mát của tốc độ gió lên các tấm pin quang điện ở những nơ i có gió. Renew Energy 2016;90:283–90. https://doi.org/10.1016/ j.renene.2016.01.017.

[36] Goverde H, Goossens D, Govaerts J, Catthoor F, Baert K, Poortmans J, et al. Phân tích không gian và thời gian của tác động gió lên các mô-đun PV: Hậu quả đối với việc đánh giá công suất điện. Sol Energy 2017;147:292–9. https://doi.org/10.1016/j.solener. 2016.12.002.

[37] Said SAM, Al-Aqeeli N, Walwil HM. Tiềm năng sử dụng kết cấu và chống tái tạo kính tráng phản quang trong việc giảm thiểu bụi bám. Sol Energy 2015;113:295–302. https://doi.org/ 10.1016/j.solener.2015.01.007.

[38] Kaldellis JK, Kapsali M, Kavadias KA. Nhiệt độ và tốc độ gió tác động đến hiệu quả của các lắp đặt PV. Kinh nghiệm thu đư ợc từ các phép đo ngoài trời ở Hy Lạp. Renew Energy 2014;66:612–24. https://doi.org/10.1016/ j.renene.2013. 12.041.

[39] Rouholamini A, Pourgharibshahi H, Fadaeinedjad R, Abdolzadeh M. Nhiệt độ của mô-đun quang điện dư ới ảnh hư ởng của các điều kiện môi trư ờng khác nhau – nghiên cứu thực nghiệm. Int J Ambient Energy 2016;37:266–72. https://doi.org/10.1080/01430750.2014.952842.

[40] Tan CM, Chen BKE, Toh KP. Nghiên cứu độ ẩm của tế bào PV a-Si. Microelectron Reliab 2010;50:1871–4. https://doi.org/10.1016/j.microrel.2010.07.021.

[41] Gwandu BAL, Creasey DJ. Độ ẩm: Một yếu tố trong việc định vị thích hợp của một nhà máy điện quang điện. Năng lư ợng tái tạo 1995;6:313–6. https://doi.org/10.1016/ 0960-1481(95)00073-S.

[42] Kazem HA, Chaichan MT. Ảnh hư ởng của độ ẩm đến hiệu suất quang điện dựa trên nghiên cứu thực nghiệm. Int J Appl Eng Res 2015;10:43572–7.

[43] Kawano K, Pacios R, Poplavskyy D, Nelson J, Bradley DDC, Durrant JR. Sự suy thoái của các tế bào quang điện hữu cơ do tiếp xúc với không khí. Sol Energy Mater Sol Cells 2006;90:3520–30. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2006.06.041.

[44] Marion B, Schaefer R, Caine H, Sanchez G. Đo lư ờng và mô hình hóa quang điện tổn thất năng lư ợng hệ thống từ tuyết cho các địa điểm ở Colorado và Wisconsin. Sol Energy 2013;97:112–21. https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.07.029.

[45] Powers L, Newmiller J, Townsend T. Đo lư ờng và mô hình hóa tác động của tuyết lên hiệu suất của hệ thống quang điện. Conf Rec IEEE Photovolt Spec Conf 2010. https://doi.org/10.1109/ PVSC.2010.5614572. 973–8.

[46] Meyta RV, Savrasov FV. Nghiên cứu ảnh hư ởng của lớp tuyết phủ đến quá trình phát điện đư ợc cung cấp bởi các mô-đun quang điện. IOP Conf Ser Mater Sci Eng 2015;81:6–11. https:// doi.org/ 10.1088/1757-899X/81/1/012110.

[47] Andrews RW, Pollard A, Pearce JM. Tác động của tuyết rơ i đến hiệu suất quang điện mặt trời. Sol Energy 2013;92:84–97. https://doi.org/10.1016/j.solener.2013. 02.014.

[48] Heidari N, Gwamuri J, Townsend T, Pearce JM. Tác động của tuyết và nhiễu mặt đất lên hiệu suất hệ thống điện quang điện. IEEE J Photovoltaics

Machine Translated by Google



2015;5:1680–5. https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2015.2466448.

[49] Meyer EL, Ernest van Dyk E. Đánh giá độ tin cậy và sự suy giảm của các thông số hiệu suất mô-đun quang điện. IEEE Trans Reliab 2004;53:83–92.

[50] Bandou F, Hadj Arab A, Belkaid MS. Kiểm tra hiệu suất điện của mô-đun quang điện trong hai môi trư ờng khác nhau. Energy Procedia 2013;36:1018–24. https:// doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.116.

[51] Forman SE. Hiệu suất của các mô-đun quang điện mặt đất thử nghiệm. IEEE Trans Reliab 1982;31:235–45. https://doi.org/10.1109/TR.1982.5221326.

[52] Muehleisen W, Eder GC, Voronko Y, Spielberger M, Sonnleitner H, Knoebl K, et al. Phát hiện và hình ảnh thiệt hại do mư a đá gây ra cho các nhà máy quang điện ở ngoài trời. Năng lư ợng tái tạo 2018;118:138–45. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.010.

[53] Mostefaoui M, Ziane A, Bouraiou A, Khelifi S. Ảnh hư ởng của sự tích tụ bụi cát đến hiệu suất quang điện trong môi trư ờng Sahara: miền nam Algeria (Adrar). Báo cáo khoa học về ô nhiễm môi trư ờng năm 2018. https://doi.org/10.1007/s11356-018-3496-7.

[54] Bouraiou A, Hamouda M, Chaker A, Mostefaoui M, Lachtar S, Sadok M, và cộng sự. Phân tích và đánh giá tác động của điều kiện khí hậu đến hiệu suất của các mô-đun quang điện trong môi trư ờng sa mạc. Energy Convers Manag 2015;106:1345–55. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.073.

[55] Bouraiou A, Hamouda M, Chaker A, Neçaibia A, Mostefaoui M, Boutasseta N, và cộng sự. Nghiên cứu thực nghiệm về các khuyết tật quan sát đư ợc trong các mô-đun PV silicon tinh thể trong điều kiện khí hậu khô nóng ngoài trời ở Algeria. Sol Energy 2018;159:475–87. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.018.

[56] El-Nashar AM. Ảnh hư ởng của lắng đọng bụi đến hiệu suất của một nhà máy khử muối năng lư ợng mặt trời hoạt động ở vùng sa mạc khô cằn. Sol Energy 2003;75:421–31. https://doi.org/ 10.1016/j.solener.2003.08.032.

[57] Dabou R, Bouchafaa F, Arab AH, Bouraiou A, Draou MD, Neçaibia A, et al. Giám sát và phân tích hiệu suất của quang điện kết nối lư ới điện trong điều kiện khí hậu khác nhau ở miền nam Algeria. Energy Convers Manag 2016;130:200–6. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.10.058.

[58] Semaoui S, Arab AH, Seddik B, Kouadri A. Đại hội quốc tế lần thứ 2 về hiệu quả năng lư ợng và vật liệu liên quan đến năng lư ợng (ENEFM2014). 2015. https://doi.org/10. 1007/978-3-319-16901-9.

[59] Cabrera E, Schneider A, Wefringhaus E, Rabanal J, Ferrada P, Thaller D, et al. Những tiến bộ trong quá trình phát triển "'AtaMo'": Mô-đun năng lư ợng mặt trời đư ợc điều chỉnh cho phù hợp với điều kiện khí hậu của sa mạc Atacama ở Chile - tác động của bụi bẩn và mài mòn. Triển lãm năng lư ợng mặt trời quang điện châu Âu lần thứ 32 năm 2016:1573–8. https://doi.org/ 10.4229/EUPVSEC20162016-5BO.11.5.

[60] Kaplani E. Phát hiện các tác động suy thoái trong các tế bào năng lư ợng mặt trời c-Si lão hóa thực địa thông qua nhiệt ảnh IR và xử lý hình ảnh kỹ thuật số. Int J Photoenergy 2012;2012. https:// doi.org/10.1155/2012/396792.

[61] ISE D, Keviczky T. Báo cáo thư ờng niên. Viện Fraunhofer về Hệ thống năng lư ợng mặt trời TRONG KHI; 2016.

[62] Chattopadhyay S, Dubey R, Kuthanazhi V, John JJ, Solanki CS, Kottantharayil A, et al. Sự suy thoái thị giác trong các mô-đun PV silicon tinh thể tuổi thọ thực tế ở Ấn Độ và mối tư ơ ng quan với. Sự suy thoái điện 2014;4:1470–6.

[63] Ndiaye A, Charki A, Kobi A, Kébé CMF, Ndiaye PA, Sambou V. Sự suy thoái của các mô-đun quang điện silicon: Tổng quan tài liệu. Sol Energy 2013;96:140–51. https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.07.005.

[64] Sharma V, Chandel SS. Một nghiên cứu mới để xác định sự suy thoái trong giai đoạn đầu của các mô-đun quang điện silicon đa tinh thể đư ợc quan sát thấy trong điều kiện khí hậu phía tây dãy Himalaya của Ấn Độ. Sol Energy 2016;134:32–44. https://doi.org/10.1016/j. solener.2016.04.023.

[65] Kim N, Hwang KJ, Kim D, Lee JH, Jeong S, Jeong DH. Phân tích và tái tạo các vệt ốc sên trên các đư ờng lư ới bạc trong các mô-đun quang điện silicon tinh thể. Sol Energy 2016;124:153–62. https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.11.040.

[66] Dhimish M, Holmes V, Mehrdadi B, Dales M, Mather P. Công suất đầu ra PV cải thiện bằng cách sử dụng hai kỹ thuật giảm thiểu cho các điểm nóng và các tế bào năng lư ợng mặt trời bị che bóng một phần. Electr Power Syst Res 2018;158:15–25. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018. 01.002.

[67] Wohlgemuth JH, Hacke P, Bosco N, Miller DC, Kempe MD, Kurtz SR. Đánh giá nguyên nhân gây ra hiện tư ợng tách lớp chất đóng gói trong các mô-đun PV. IEEE 44th Photovolt Spec Conf PVSC 2017 2018 2017:1–6. https://doi.org/10.1109/PVSC.2017.8366601.

[68] Tsanakas JA, Ha L, Buerhop C. Lỗi và chẩn đoán nhiệt hồng ngoại trong vận hành mô-đun quang điện c-Si: Tổng quan về nghiên cứu và những thách thức trong tư ơ ng lai. Tái tạo và duy trì năng lư ợng Rev 2016;62:695–709. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016. 04.079.

[69] Köntges M, Kajari-Schröder IK S. CÁC VẾT NỨT TẾ BÀO ĐƯ ỢC ĐO BẰNG TIA UV HUỲNH QUANG TRONG LĨNH VỰC. Hội nghị Năng lư ợng Mặt trời lần thứ 27 của Eur. Photovolt. Triển lãm 2012:3033–40.

[70] Munoz MA, Alonso-García MC, Vela N, Chenlo F. Sự suy thoái sớm của các mô-đun PV silicon và các điều kiện bảo hành. Sol Energy 2011;85:2264–74. https://doi.org/ 10.1016/j.solener.2011.06.011.

[71] Rajput P, Tiwari GN, Sastry OS, Bora B, Sharma V. Sự suy thoái của các mô-đun quang điện đơ n tinh thể sau 22 năm tiếp xúc ngoài trời trong khí hậu hỗn hợp của Ấn Độ. Sol Energy 2016;135:786–95. https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06. 047.

[72] Sinha A, Sastry OS, Gupta R. Đặc tính không phá hủy của hiệu ứng mất màu của chất đóng gói trong các mô-đun PV silicon tinh thể. Sol Energy Mater Sol Cells 2016;155:234–42. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.06.019.

[73] Islam MA, Hasanuzzaman M, Rahim NA. Điều tra tiềm năng gây ra sự xuống cấp của các mô-đun PV đa tinh thể cũ tại chỗ đang hoạt động ở Malaysia. Meas J Int Meas Confed 2018;119:283–94. https://doi.org/10.1016/j.measurement. 2018.01.061.

[74] Kahoul N, Chenni R, Cheghib H, Mekhilef S. Đánh giá độ tin cậy của các mô-đun quang điện silicon tinh thể trong môi trư ờng khắc nghiệt. Năng lư ợng tái tạo 2017;109:66–72. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.078.

[75] Bouaichi A, Merrouni AA, El Hassani A, Naimi Z, Ikken B, Ghennioui A, và cộng sự. Đánh giá thực nghiệm về tác động đổi màu lên hiệu suất giảm của mô-đun PV. Energy Procedia 2017;119:818–27. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017. 07.107.

[76] Pozza A, Mẫu T. Sự suy thoái của mô-đun PV silicon tinh thể sau 20 năm hoạt động ngoài thực địa phơ i nhiễm đư ợc nghiên cứu bằng các thử nghiệm điện, phát quang điện và LBIC. Prog Photovoltaics Res Appl 2016;24:368–78. https://doi.org/10.1002/pip.

[77] Bouraiou A, Hamouda M, Chaker A, Lachtar S, Neçaibia A, Boutasseta N, và cộng sự. Đánh giá thực nghiệm về hiệu suất và sự suy thoái của các mô-đun quang điện silicon đơ n tinh thể trong môi trư ờng Sahara. Năng lư ợng 2017;132:22–30. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.056.

[78] Kalogirou SA, Tripanagnostopoulos Y. Hệ thống năng lư ợng mặt trời lai PV/T để sản xuất nư ớc nóng và điện trong nư ớc. Energy Convers Manag 2006;47:3368–82. https:// doi.org/10.1016/j.enconman.2006.01.012.

[79] Bai A, Popp J, Balogh P, Gabnai Z, Pályi B, Farkas I, et al. Hiệu ứng kỹ thuật và kinh tế của việc làm mát các mô-đun quang điện đơ n tinh thể trong điều kiện của Hungary. Renew Sustain Energy Rev 2016;60:1086–99. https://doi.org/10.1016/j. rser.2016.02.003.

[80] Mazón-Hernández R, García-Cascales JR, Vera-García F, Kaiser AS, Zamora B. Cải thiện các thông số điện của tấm pin quang điện bằng luồng khí cảm ứng hoặc cư ỡng bức. Int J Photoenergy 2013;2013. https://doi.org/10.1155/2013/ 830968.

[81] Rajput UJ, Yang J. So sánh bộ tản nhiệt và bộ thu nhiệt PV/T loại nư ớc để làm mát tấm pin quang điện đa tinh thể. Renew Energy 2018;116:479–91. https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.090.

[82] Hasan A, Sarwar J, Alnoman H, Abdelbaqi S. Hiệu suất năng lư ợng hàng năm của một Hệ thống vật liệu thay đổi pha quang điện (PV-PCM) trong khí hậu nóng. Sol Energy 2017;146:417–29. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.070.

[83] Alami AH. Tác động của làm mát bay hơ i đến hiệu quả của các mô-đun quang điện. Năng lư ợng Convers Manag 2014;77:668–79. https://doi.org/10.1016/j.enconman. 2013.10.019.

[84] Ebaid MSY, Ghrair AM, Al-Busoul M. Nghiên cứu thực nghiệm về hiệu ứng làm mát Tấm pin quang điện (PV) sử dụng nanofluid (TiO2) trong hỗn hợp nư ớc - polyethylene glycol và nanofluid (Al2O3) trong hỗn hợp nư ớc - cetyltrimethylammonium bromide. Năng lư ợng Convers Manag 2018;155:324–43. https://doi.org/10.1016/j.enconman. 2017.10.074.

[85] Nižetić S, Giama E, Papadopoulos AM. Phân tích toàn diện và sinh thái chung đánh giá kinh tế-môi trư ờng về các kỹ thuật làm mát cho tấm pin quang điện, Phần II: Các kỹ thuật làm mát chủ động. Energy Convers Manag 2018;155:301–23. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.071.

[86] Abd-Elhady MS, Serag Z, Kandil HA. Một giải pháp sáng tạo cho tình trạng quá nhiệt vấn đề của các tấm pin quang điện. Energy Convers Manag 2018;157:452–9. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.017.

[87] Ahmad NI, Ab-Kadir MZA, Izadi M, Azis N, Radzi MAM, Zaini NH, et al. Bảo vệ chống sét trên hệ thống quang điện: Tổng quan về các biện pháp thực hành hiện tại và đư ợc khuyến nghị. Renew Sustain Energy Rev 2018;82:1611–9. https://doi.org/10.1016/j.rser. 2017.07.008.

[88] Kokkinos N, Christofides N, Charalambous C. Thực hành bảo vệ chống sét cho lắp đặt hệ thống quang điện mở rộng. Hội nghị quốc tế lần thứ 31 về bảo vệ ánh sáng ICLP năm 2012. https://doi.org/10.1109/ICLP.2012.6344383.

[89] Ittarat S, Hiranvarodom S, Plangklang B. Một chư ơ ng trình máy tính để đánh giá rủi ro tác động của sét và để thiết kế lắp đặt bảo vệ cột thu lôi cho hệ thống quang điện. Energy Procedia 2013;34:318–25. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.760.

[90] Jamil WJ, Abdul Rahman H, Shaari S, Salam Z. Sự suy giảm hiệu suất của hệ thống điện quang điện: Đánh giá về các phư ơ ng pháp giảm thiểu. Renew Sustain Energy Rev 2017;67:876–91. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.072.

[91] Alnaser NW. BIPV thông minh 8,64 kW đầu tiên trong một tòa nhà ở thị trấn Awali tại vư ơ ng quốc Bahrain. Renew Sustain Energy Rev 2018;82:205–14. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.041.

[92] Alnaser NW, Al Othman MJ, Dakhel AA, Batarseh I, Lee JK, Najmaii S, et al. So sánh hiệu suất giữa tấm pin quang điện nhân tạo và tấm pin quang điện tự nhiên ở giữa sa mạc. Renew Sustain Energy Rev 2018;82:1048–55. https://doi.org/ 10.1016/j.rser.2017.09.058.

[93] Hee JY, Kumar LV, Danner AJ, Yang H, Bhatia CS. Ảnh hư ởng của bụi đến khả năng truyền dẫn và tính chất tự làm sạch của tấm pin mặt trời. Energy Procedia 2012;15:421–7. https:// doi.org/10.1016/j.egypro.2012.02.051.

[94] Jiang Y, Lu L, Ferro AR, Ahmadi G. Phân tích quá trình làm sạch gió trên bụi tích tụ trên các mô-đun quang điện mặt trời (PV) trên bề mặt phẳng. Sol Energy 2018;159:1031–6. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.08.083.

[95] Fathi M, Abderrezek M, Friedrich M. Giảm tác động của bụi lên tấm pin quang điện bằng lớp phủ kỵ nư ớc. Chính sách Môi trư ờng Công nghệ Sạch 2017;19:577–85. https:// doi.org/10.1007/s10098-016-1233-9.

[96] Hong Z, Yang H, Yuanhao W, Hongxing Y. Chất kết hợp TiO2/Silane gồm hai lớp cấu trúc: Một lớp phủ tự làm sạch siêu ư a nư ớc có độ ổn định mới đư ợc ứng dụng trong các tấm pin quang điện. Energy Procedia 2017;105:1077–83. https://doi.org/10.1016/j. egypro.2017.03.464.

[97] Moharram KA, Abd-Elhady MS, Kandil HA, El-Sherif H. Ảnh hư ởng của việc vệ sinh bằng nư ớc và chất hoạt động bề mặt đến hiệu suất của tấm pin quang điện. Energy Convers Manag 2013;68:266–72. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.01.022.

[98] Al Shehri A, Parrott B, Carrasco P, Al Saiari H, Taie I. Bệ thử nghiệm tăng tốc cho nghiên cứu đặc tính hao mòn, quang học và điện của tấm pin mặt trời PV đư ợc làm sạch khô. Sol Energy 2017;146:8–19. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.02.014.

[99] Kawamoto H, Guo B. Cải tiến hệ thống làm sạch tĩnh điện để loại bỏ bụi khỏi tấm pin mặt trời. J Electrost 2018;91:28–33. https://doi.org/10.1016/j.elstat.2017.12.002.