DOI : 10.52547/jrenew.10.2.90

Research Article
Received: 04/19/22
Accepted: 02/25/23

Volume 10, Issue 2, Autumn & Winter 2023, p. p. 90-104
Journal of Renewable and New Energy
jrenew.ir
Online ISSN 2676-2994 Print ISSN 2423-4931

Provide and Develop an Automatic Cleaning Method for Photovoltaic Panels for a 20kW Power Plant in Zabol

Farhad alfouneh[1], Mahdi Hassannia-kheibari[2*]

1- Master of Electrical Engineering, Department Electrical Engineering, Islamic Azad University- Zahedan Branch, Zahedan, Iran
2- Assistant Professor, Department Electrical Engineering, Islamic Azad University- Zahedan Branch, Zahedan, Iran
* P.O.B. 9861684665 Zahedan, Iran, m.hassannia@iauzah.ac.ir
Received: 19 April 2022 Revised: 10 July 2022 Accepted: 25 February 2023

Abstract
Given the global price of oil and the constraints on energy production from fossil fuels, using clean and renewable alternatives has recently attracted much attention. Among renewable energy sources, photovoltaic systems are a very attractive option for power generation due to unlimited solar energy and radiation potential. It is common to install solar systems in arid and semi-arid areas, which face the problem of dust deposition. This issue becomes increasingly relevant when studies demonstrate that natural factors strongly affect these systems, enormously impacting their performance and efficiency. For photovoltaic systems to operate optimally, dust must be removed, and an appropriate cleaning procedure must be used. This study aims to identify some of the characteristics and disadvantages of some of the purification methods evaluated. According to research, an automated process, known as the automatic water purification method, will also offer promising results. The proposed approach for a 20kW power plant belonging to Zabol University will also be reviewed. It has been established that solar systems are more attractive when applied to agriculture based on the examined models. The results from this study will be helpful to users of small and medium power plants when selecting the most appropriate cleaning method.
Keywords: Dust, Solar Energy, Photovoltaic Panel, Cleaning Method

1. Introduction

In recent years, environmental challenges and the need for sustainable alternatives to fossil fuels, increasing energy demand, declining profitability of petroleum from existing reservoirs, and volatile and unpredictable energy prices have led oil-producing countries to turn to renewable energy. Most of these countries are located in the solar belt of the world and have excellent solar radiation, with an average of 300-320 sunny days during the year. Among renewable energies, due to the conditions of sunlight in these areas, power production by photovoltaic (PV) systems will be very efficient [1].

Arid and desert areas have acceptable radiation potential for photovoltaic panels, including the Middle East and North Africa. However, these regions face the dust deposition problem, greatly impacting the panels' output [2].

However, due to climatic conditions, the areas mentioned above have a high level of dust deposition. It is important to choose a suitable cleaning method to remove it from the surface of the panels to maintain their efficiency [3]..

2. Review of cleaning methods

The methods for cleaning photovoltaic panels are diverse, and each has different models. Solar panel cleaning approaches, including natural cleaning with rain and wind, water cleaning, manual cleaning, mechanical cleaning, electrostatic method, and self-cleaning methods, have been studied in various research [4].

2.1. Manual cleaning method

The first and most logical way to remove dust from the surface of photovoltaic panels is by hand - either dry or wet. This method is effective in many areas where rainfall is low. It requires a workforce for simple and integrated cleaning [5].

3. Results and Discussion

The automatic water cleaning method is one of the most efficient approaches. It uses high-pressure water sprayers to clean photovoltaic panels and is often used automatically in dry areas to clean solar panels. In this method, in addition to water, cleaning materials can be used to improve cleaning [6].

Various studies have been performed on the automatic water method, a model based on spraying water on the surface of photovoltaic panels. It reduces the temperature and removes dust from the surface. This model has been studied experimentally, and promising economic results have been obtained [7].

3.1. Performance of automatic water cleaning method

This method uses a water tank that can be affected by ambient temperature or even placed on the ground to reduce the final water temperature and further reduce the temperature of the photovoltaic panels. In this process, the water in the tank is pumped through the main channel, and then different control valves guide it to each row of the panels. Sprayers apply water to the surfaces, with pressure, and at a low speed, to cover the surfaces evenly, forming layers of water. The parts are mounted in the lower areas of the photovoltaic panels so that the water flowing on the surface of the panels can be returned to the water source. Water filters are used in the water return path to prevent contamination of the return water.

In this method, water sprayers should be installed 12 cm from each other and 8 cm from the top of the panels. According to various studies of the automatic water spray cleaning approach, water consumption is high. However, due to the positive effects of this technique for cooling and cleaning the surface of photovoltaic panels, there is no positive effect on the panels' output. The automatic water cleaning system can also be installed on any panel design with no installation restrictions. In comparison with other cleaning methods, this one produces much better results.

Authors are advised to prepare their figures in either black and white or color. Please prepare the figures in high resolution (300 dpi) for half-tone illustrations or images. Pictures must be sharp enough otherwise they will be rejected. Figures must be originals, computer-generated or drafted, and placed within the text area where they are discussed. Figure 1 shows one example. Figure captions should be in 10pt “Time News Roman” font, bold, centered. When applicable, the texts in graphs, illustrations or images should be set in 8pt “Time News Roman” font. Large figures and tables may span both columns at either top or end of a page.

4. Other uses of automatic water Cleaning

Among the many successful methods of using photovoltaic panels for energy production, they have shown great promise in agriculture. Using these panels to replace diesel pumps and removing them is vital to reduce pollutants. However, due to the existing conditions in the agricultural fields, the dust deposited on their surfaces is high, making the dedusting even more important. Agriculture uses photovoltaic panels in three different ways. The first type is placed among agricultural products, the second type is located at a greater height above the surface of the crop, and the third type is placed in the upper part of the greenhouse if the products are grown in these areas.

It is critical to clean the surfaces of photovoltaic panels in order to maximize their efficiency, as excessive dust deposition reduces it. The traditional manual cleaning method, however, is both expensive and dangerous. Electrocution of the workforce can sometimes occur during this procedure, making it a very difficult process. There is a small amount of cleaning quality in traditional ways, so it is essential to select a suitable approach to maintain high cleanliness levels.

This study presents a method for automatic water cleaning for agricultural fields and green space that prevents water wastage. Energy loss from dust deposition is one of the most challenging issues in photovoltaic systems. Due to the functional type of outdoor panels, dust deposition on the surfaces increases. In this section, a method will be presented. Using solar panels in agricultural fields can increase efficiency and reduce water wastage

5. Conclusion

Due to the problems of energy production by fossil fuels, using clean power sources is essential. Among clean energy production methods, using photovoltaic panels has received much attention. Nevertheless, the output of this system is greatly affected by natural factors. One of which is that dust deposition greatly affects the outputs. Research on cleaning methods for photovoltaic panels is critical. The process can differ depending on the environmental conditions, the dust type, and the area where the panels are installed. In this paper, automated and manual cleaning approaches are investigated. According to the study, the manual process is used for small-scale power plants due to the limitations. Considering the initial and maintenance costs, the automated method is recommended for large-scale ones. This paper presents an automatic water-cleaning process, bringing promising results that can clean, reduce the surface temperature of solar panels, and increase their efficiency. Moreover, a model for using this cleaning method in agriculture is also presented, making using photovoltaic panels increasingly justified.

6. Reference

[1] S. Edalati, M. Ameri, M. Iranmanesh, and Z. Sadeghi, Solar photovoltaic power plants in five top oil-producing countries in Middle East: a case study in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 69, pp. 1271-1280, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.042.

[2] M. A. Aslan Gholami, Majid Zandi and Roghayeh Gavagsaz Ghoachani, A Review on Dust Activities in Iran and Parameters Affecting Dust Accumulation on Photovoltaic Panels, Journal of Renewable and New Energy, Vol. 8, No. 2 #p001387, pp. -, 2021. (in Persian)

[3] A. Kumar and S. Manish, Analyzing the impact of dust accumulation and different cleaning mechanism on efficiency of solar photovoltaic panel, Thermal Science and Engineering, Vol. 1, No. 3, 2018.

[4] H. A. Kazem, M. T. Chaichan, A. H. Al-Waeli, and K. Sopian, A review of dust accumulation and cleaning methods for solar photovoltaic systems, Journal of Cleaner Production, p. 123187, 2020.

[5] M. K. Smith, C. C. Wamser, K. E. James, S. Moody, D. J. Sailor, and T. N. Rosenstiel, Effects of natural and manual cleaning on photovoltaic output, Journal of solar energy engineering, Vol. 135, No. 3, 2013.
[6] A. Al-Otaibi, A. Al-Qattan, F. Fairouz, and A. Al-Mulla, Performance evaluation of photovoltaic systems on Kuwaiti schools rooftop, Energy Conversion and Management, Vol. 95, pp. 110-119, 2015.
[7] A. Hadipour, M. R. Zargarabadi, and S. Rashidi, An efficient pulsed-spray water cooling system for photovoltaic panels: Experimental study and cost analysis, Renewable Energy, Vol. 164, pp. 867-875, 2021.

سال دهم، شماره دوم، پاییز و زمستان 1402، ص ص 90- 104
فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
jrenew.ir
مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: 01/01/30
تاریخ پذیرش: 01/12/06

ارائه و توسعه یک روش تمیزکنندگی خودکار پنل‌های فتوولتائیک برای یک نیروگاه 20 کیلوواتی در شهر زابل

فرهاد آلفونه[1]، مهدی حسن‌نیا خیبری[2*]

1-کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان ،ایران
2-استادیار، گروه مهندسی برق، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان ،ایران
*زاهدان، 9861684665، m.hassannia@iauzah.ac.ir.

چکیده

با توجه به قیمت جهانی نفت و محدودیت‌هایی که تولید انرژی توسط سوخت‌های فسیلی ایجاد می‌کند، استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر به تازگی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر تولید انرژی توسط سیستم‌های فتوولتائیک با توجه به انرژی خورشیدی نامحدود و پتانسیل تابشی روشی بسیار جذاب برای تولید انرژی خواهد بود. سیستم‌های فتوولتائیک معمولاً در مناطق خشک و نیمه خشک نصب می‌شوند و این مناطق با مشکل رسوب گرد و غبار روبه‌رو هستند و این موضوع زمانی حائز اهمیت خواهد بود که طبق بررسی‌ها مشخص شده سیستم‌های فتوولتائیک به شدت تحت تاثیر عوامل طبیعی قرار می‌گیرند و این عوامل طبیعی بر خروجی و کارایی این سیستم‌ها تاثیر گذار است. برای حفظ کارایی سیستم‌های فتوولتائیک حذف گرد و غبار و انتخاب روش تمیز کنندگی مناسب امری ضروری است. در این مطالعه برخی از روش‌های تمیزکنندگی بررسی شده و ویژگی‌ها و معایب آن‌ها مشخص خواهد شد، همچنین در این مطالعه یک روش خودکار ارائه شده به نام روش تمیز کنندگی آب خودکار طبق بررسی‌های انجام شده روش ارائه شده نتایج امیدوارکننده‌ای را به همراه خواهد داشت. همچنین روش ارائه شده برای یک نیروگاه 20 کیلوواتی مربوط به دانشگاه ملی زابل بررسی خواهد شد. مدل‌هایی نیز برای کاربرد این روش در موارد کشاورزی بررسی شده و مدل بررسی شده کاربرد پنل‌های فتوولتائیک را در موارد کشاورزی بیش از بیش توجیه پذیرتر می‌کند. این مطالعه برای بهره‌وران نیروگاه‌های در مقیاس کوچک و متوسط می‌تواند دید مناسبی را برای انتخاب بهترین روش تمیز کنندگی ارائه دهد.

کلیدواژگان: گرد و غبار، انرژی خورشیدی، پنل فتوولتائیک، روش تمیزکنندگی

Provide and Develop an Automatic Cleaning Method for Photovoltaic Panels for a 20kW Power Plant in Zabol

Farhad alfouneh[1], Mahdi Hassannia-kheibari[2*]

1- Master of Electrical Engineering, Department Electrical Engineering, Islamic Azad University- Zahedan Branch, Zahedan, Iran
2- Assistant Professor, Department Electrical Engineering, Islamic Azad University- Zahedan Branch, Zahedan, Iran
* P.O.B. 9861684665 Zahedan, Iran, m.hassannia@iauzah.ac.ir.
Received: 19 April 2022 Accepted: 25 February 2023

Abstract

Given the global price of oil and the constraints on energy production from fossil fuels, the use of clean and renewable energy has attracted much attention recently. Among renewable energy sources, energy generation by photovoltaic systems is a very attractive option for energy production due to unlimited solar energy and radiation potential. Photovoltaic systems are usually installed in arid and semi-arid areas, and these areas face the problem of dust deposition. This issue becomes important when studies show that photovoltaic systems are strongly influenced by natural factors, and these natural factors have an impressive impact on the performance and efficiency of these systems. To maintain the efficiency of photovoltaic systems, it is necessary to remove dust and choose an appropriate cleaning method. In this study, some of the purification methods studied have their characteristics and disadvantages identified. Also, in this study, an automated method called automatic water purification method according to the studies performed, will bring promising results. The proposed method for a 20kW power plant belonging to Zabol University will also be reviewed. Models for the application of this method in agriculture were studied and the studied model makes the use of photovoltaic systems

in agriculture more attractive. This study can give a good indication to the users of small and medium power plants to choose the best Cleaning method.

Keywords: Dust, Solar Energy, Photovoltaic Panel, Cleaning Method

1- مقدمه

در سال‌های اخیر، چالش‌های زیست محیطی و نیاز برای جایگزین‌های پایدار برای سوخت‌های فسیلی، افزایش تقاضای انرژی، کاهش سودآوری سوخت‌های فسیلی استخراج شده از مخازن موجود و قیمت‌های ناپایدار و غیرقابل پیش‌بینی انرژی، باعث شده کشورهای تولیدکننده نفت توجه خود را به انرژی‌های تجدیدپذیر معطوف کنند. بیشتر این کشورها در کمربند خورشیدی جهان واقع شده و دارای تابش خورشیدی عالی با متوسط 300-320 روز آفتابی در طول سال هستند. در بین انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به شرایط تابش نور خورشید در این مناطق تولید انرژی توسط سیستم‌های فتوولتائیک (PV[1]) بسیار کار آمد خواهد بود [1]. در یک بررسی انرژی‌های تجدید پذیر (خورشیدی، آب، باد و زمین گرمایی) مشخص شده در ایران تولید انرژی توسط سیستم‌های فتوولتائیک مناسب‌ترین روش خواهد بود. همچنین، استفاده از سیستم‌های تجدید پذیر و انرژی نو باعث کاهش آلودگی‌های زیست محیطی خواهد شد [2, 3]. همچنین، تولید انرژی توسط سیستم‌های فتوولتائیک یک راه عملی و کارآمد برای کاهش آلودگی محیط زیست بوده که به نوبه خود می‌تواند تولید گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد. ایران با بیش از 300 روز آفتابی پتانسیل بالایی برای تولید انرژی برق از طریق سیستم‌های فتوولتائیک (PV) دارد. با توجه به این واقعیت که ایران دارای منابع عظیم سوخت‌های فسیلی مانند نفت و گاز است، با این حال دولت ایران تمایل دارد تولید انرژی خود را با استفاده از سیستم‌های تجدیدپذیر از جمله فتوولتائیک گسترش دهد [4].

با افزایش تقاضا برای استفاده از یک منبع انرژی پاک و پتانسیل خورشید به عنوان یک منبع انرژی رایگان و نامحدود، تبدیل انرژی خورشیدی به عنوان بخشی از منابع انرژی‌های تجدید پذیر بسیار دارای اهمیت شده است. کشور ایران در نواحی پرتابش واقع شده، طبق مطالعات انجام شده کشور ایران از لحاظ تابش نور خورشید دارای پتانسیل بسیار بالایی است. اما از جهتی موقعیت جغرافیایی ایران به گونه‌ای بوده که در بیشتر شهرهای این کشور، سطح بسیار بالایی از گرد و غبار در جو وجود دارد. باید به این نکته توجه کرد که بیش از 30% از مساحت کشور ایران را مناطق بیابانی و خشک تشکیل داده است [5]. از مهمترین مؤلفه‌های احداث نیروگاه فتوولتائیک بررسی عوامل طبیعی منطقه محل نصب بوده، همچنین میزان تابش نور خورشید برای فصول مختلف سال نیز می‌تواند از مهمترین عوامل تاثیر گذار برای احداث نیروگاه فتوولتائیک باشد [6].

مناطق خشک و بیابانی دارای پتانسی تابشی مناسبی برای بهره برداری از پنل‌های فتوولتائیک هستند، این مناطق شامل خاورمیانه و شمال آفریقا بوده اما مناطق بیان شده با مشکل رسوب گرد و غبار مواجه بوده و این پدیده تاثیر زیادی بر خروجی پنل‌های فتوولتائیک دارد [7]. توان خروجی یک پنل‌های فتوولتائیک بستگی زیادی به میزان تابش نور خورشید که به سلول‌های فتوولتائیک می‌تابد دارد. عوامل زیادی خروجی ایده‌آل پنل‌های فتوولتائیک را تحت تاثیر قرار می‌دهند؛ اما مهمترین عاملی که خروجی پنل‌های فتوولتائیک اثر می‌گذارد عوامل طبیعی است. این عوامل طبیعی می‌تواند مشخصات اصلی الکتریکی پنل فتوولتائیک (ولتاژ و جریان) با توجه به سایه‌ای که به دلیل آلودگی ایجاد می‌کند این مشخصات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. سایه ایجاد شده به دلیل آلودگی به دو دسته تقسیم می‌شود، سایه نرم که به دلیل آلودگی هوا رخ می‌دهد و سایه سخت زمانی رخ می‌دهد که گرد و غبار بر روی پنل‌های فتوولتائیک رسوب می‌کند و انرژی تابشی خورشید را مسدود می‌کند [8]. از لحاظ فنی، پنل‌های فتوولتائیک و عملکرد این سیستم‌ها مستلزم این است که به طور مداوم همه عوامل طبیعی که می‌تواند بر عملکرد این سیستم‌ها اثر بگذارد بررسی شود و برای کاهش تاثیر این عوامل طبیعی باید راهکارهایی ارائه شود [9].

برنامه ریزی جهت بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های فتوولتائیک و انرژی خورشیدی مستلزم این است که سیستم‌های فتوولتائیک در هر شهری و هر منطقه‌ای که نصب می‌شوند ارزیابی کاملی از شرایط محیطی آن منطقه شود. خروجی سیستم‌های فتوولتائیک تحت تأثیر عواملی همچون درجه حرارت بالا، رسوب گرد و غبار، تلفات الکتریکی و طوفان‌های شدید می‌باشند. وجود ریزگردها در ایران باعث شده رسوب گرد و غبار بر روی پنل‌های فتوولتائیک بسیار دارای اهمیت شود. عوامل طبیعی که باعث کاهش راندمان پنل‌های فتوولتائیک می‌شود:رطوبت، دما، جریان باد، برف و رسوب گرد و غبار است [10].

در یکی از پژوهش‌های اولیه در این زمینه، رایان[2] و همکاران [11]، دو گروه از آرایه‌های فتوولتائیک را که یک گروه به صورت مرتب تمیز شده و گروه دیگری تمیز نشده، این آزمایش در یک دوره 6 ساله از سال 1983 تا اواخر سال 1988 انجام شده است. عملکرد آرایه‌هایی گروه اول در طول شش سال ثابت بوده در حالی که آرایه‌های گروه دوم تمیز نشده با نرخ سالیانه 1/4٪ از بازده آن‌ها کم شده است. در این مطالعه مطرح می‌شود که بررسی برای یک مدت زمان طولانی دید دقیقتری از میزان کاهش رخ داده را می‌دهد. آرایه‌های مورد بررسی در این آزمایش با زاویه شیب°45 نصب شده‌اند. اما این نکته را باید ذکر کرد میزان گرد و غبار بر روی گروه دوم آرایه‌ها و میزان بارندگی سالیانه در این مطالعه مشخص نشده است. در ارتباط با تاثیر زاویه شیب بر رسوب گرد و غبار در یک مطالعه مشخص شده؛ پنل‌های که به صورتی عمودی و یا افقی نصب شده‌اند. در یک دوره 30 روزه مورد بررسی قرار گرفته و نتایج بدست آمده مشخص می‌کند پنل‌ها زمانی که به صورت افقی نصب شده باشند دچار افت 90٪ شده و همان پنل‌ها به صورت عمودی نصب شده و میزان افت به 30٪ کاهش یافته است [12].

در بررسی دیگری در محیط آزمایشگاه پنل‌های فتوولتائیک مورد بررسی قرار گرفته و پنل‌ها در معرض انواع متفاوت گرد و غبار قرار گرفته‌اند و توان خروجی برای هر نوع گرد و غبار به صورت مجزا به دست آمده؛ مشخص شده که جنس و نوع گرد و غبار نیز بر خروجی پنل‌های فتوولتائیک تاثیر دارد و فقط مدت زمان قرارگیری گرد و غبار بر روی پنل‌های فتوولتائیک دارای اهمیت نیست. بنابراین مشخص شده طبیعت گرد و غبار، جنس، اندازه ذرات و تراکم رسوب گرد و غبار بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک تاثیر زیادی بر خروجی این پنل‌ها خواهد گذاشت [13].

1. Photovoltaic

2. Ryan

عوامل طبیعی در مطالعات مختلفی مشخص شده تاثیر زیادی بر خروجی سیستم‌های فتوولتائیک دارد. در یک مطالعه مشخص شده با افزایش سرعت باد تا 17 متر بر ثانیه باعث کاهش دما و افزایش توان خروجی پنل‌های فتوولتائیک می‌شود [14]. با این حال، در مطالعات فراوانی مشخص شده خاورمیانه یکی از مستعدترین مناطق برای وقوع طوفان‌های گرد و غبار بوده و همچنین مشخص شده میزان طوفان‌های گرد و غبار در سال‌های اخیر افزایش یافته است [15]. اخیراً میزان گرد و غباری که از کشورهای عربی وارد ایران می‌شود، به ویژه طوفان‌های گرد و غبار بخش‌های غربی و حتی مرکزی شرایط آب و هوایی ایران را تحت تاثیر قرار داده است [16]. در بررسی برای مناطق دیگر تحت تاثیر طوفان‌های گرد و غبار در کشور ایران انجام شده و در یک پژوهش طوفان‌های منطقه سیستان بررسی شده است. منطقه سیستان در جنوب شرقی ایران به عنوان یکی از فعال‌ترین مناطق منبع گرد و غبار در جنوب غربی آسیا محسوب می‌شود. بادهای شدید "لوار[3]" در تابستان باعث افزایش مقدار زیادی گرد و غبار در منطقه هامون شده که در قسمت شمالی سیستان واقع شده است [17].

شرایط آب و هوایی ایران این کشور را از جمله مناطق با قابلیت تابشی فراوان نور خورشید ساخته و این شرایط تابشی مناسب تولید انرژی را توسط سیستم‌های فتوولتائیک توجیه می‌کند [18]. اما طوفان‌های محلی و گرد و غبار با منبع خارجی باعث شده سطح گرد و غبار در این کشور افزایش یابد و این مسئله برای بهره‌برداری از سیستم‌های فتوولتائیک چالش برانگیز است [19]. در ایران نیز بررسی‌هایی در ارتباط با رسوب گرد و غبار بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک انجام شده است. در یک بررسی مشخص شده علاوه بر ویژگی‌های پنل‌های فتوولتائیک آب و هوا و شرایط محیطی نیز بر عملکرد این سیستم‌ها تأثیرگذار است. برای بررسی دقیق اثر گرد و غبار بر عملکرد پنل‌های فتوولتائیک در شهر تهران یک آزمایش به مدت ۷۰ روز انجام شده است. در این دوره 70 روزه بدون بارندگی مشخص شده گرد و غبار بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک رسوب می‌کند و باعث کاهش 21/47٪ توان خروجی خواهد شد [20].

طبق بررسی‌های انجام شده مناطق خاورمیانه و شمال آفریقا دارای پتانسیل تابشی بسیار مناسبی هستند [21]. اما مناطق ذکر شده با توجه به شرایط اقلیمی دارای سطح رسوب گرد و غبار بالایی بوده و برای حفظ کارایی پنل‌های فتوولتائیک انتخاب روش تمیزکنندگی مناسب برای حذف گرد و غبار از سطح پنل‌های فتوولتائیک حائز اهمیت است [22].

بررسی پژوهش‌های مربوط به موضوع رسوب گرد و غبار بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک مشخص می‌کند، عوامل طبیعی و گرد و غبار به چه اندازه بر کارایی سیستم‌های فتوولتائیک تاثیر دارد و روش‌های حذف گرد و غبار یا روش‌های تمیزکنندگی پنل‌های فتوولتائیک بسیار در افزایش راندمان پنل‌های فتوولتائیک تاثیر دارد و روش‌های تمیزکنندگی با توجه به مقیاس و محل نصب پنل‌های فتوولتائیک می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین انتخاب بهترین روش برای حذف گرد و غبار از سطح پنل‌های فتوولتائیک بسیار حائز اهمیت است.

بنابراین، در این مقاله روش‌های مختلف تمیزکنندگی پنل‌های فتوولتائیک بررسی شده، همچنین در این مقاله یک روش تمیزکنندگی خودکار از ترکیب چندین مدل تمیزکنندگی ارائه خواهد شد، تاثیر روش ارائه شده بر کارایی پنل‌های فتوولتائیک مشخص خواهد شد. بررسی یک مطالعه علمی بر روی یک سیستم نمونه در شهر زابل که مزیت نیروگاه خورشیدی را داشته و با مشکل پدیده گرد و غبار نیز رو به رو است، نتایج این مطالعه می‌تواند در سرمایه گذاری برای نیروگاه‌های خورشیدی تعیین کننده باشد، در این مطالعه بررسی‌های انجام شده بر روی یک مدل حقیقی بوده و مدل ارائه شده به صورت اختصاصی برای شهر زابل بومی سازی و بر روی یک نیروگاه واقعی بررسی خواهد شد. همچنین در این مطالعه علاوه بر ارائه یک روش تمیزکنندگی خودکار پنل‌های فتوولتائیک یک مدل نیز ارائه خواهد شد برای روش بررسی شده در موارد استفاده پنل‌های فتوولتائیک در کشاورزی.

2-بررسی روش‌های تمیزکنندگی

روش‌های ارائه شده برای تمیزکنندگی پنل‌های فتوولتائیک دارای تنوع بسیاری بوده و هریک از روش‌های تمیزکنندگی دارای مدل‌های متفاوتی است. روش‌های تمیزکنندگی پنل‌های فتوولتائیک شامل: تمیزکنندگی طبیعی به کمک باران و باد، تمیزکنندگی آب، تمیزکنندگی دستی، تمیزکنندگی مکانیکی، روش الکترواستاتیک و روش‌های خود تمیزکننده در مطالعات مختلف بررسی شده است [23]. در بین روش‌های بیان شده روش‌های تمیزکنندگی دستی، تمیزکنندگی آب و تمیزکنندگی مکانیکی بیشترین استفاده را در بین روش‌های تمیزکنندگی پنل‌های فتوولتائیک دارند [24].

2-1- روش تمیزکنندگی دستی

اولین و منطقی‌ترین روش برای حذف گرد و غبار از سطح پنل‌های فتوولتائیک روش دستی به صورت خشک و یا همراه با آب است. این روش در بسیاری از مناطق که میزان بارش باران در آن مناطق کم است روش کارآمدی بوده این روش نیازمند نیروی انسانی برای تمیز کنندگی ساده و یکپارچه پنل‌های فتوولتائیک است [25]. این روش در بررسی‌های مختلف نشان داده است که روش مناسبی برای حذف گرد و غبار از سطح پنل‌های فتوولتائیک بوده؛ در این روش به دلیل استفاده از نیروی انسانی باید از ابزار غیررسانا مانند جارو، لباس و غیره برای حفظ ایمنی نیروی انسانی استفاده شود. در این روش معمولاً از یک جاروی پلاستیکی استفاده می‌شود که به آن یک سیستم آبرسانی متصل بوده که در شکل 1مشخص شده است [26].

شکل 1 روش تمیزکنندگی دستی همراه با آب [27].

با وجود رشد عظیم صنعت فتوولتائیک این روش تمیز کنندگی سهم زیادی در بین روش‌های تمیز کنندگی دارد. سیستم‌های فتوولتائیک در مقیاس کوچک طبق بررسی‌ها با استفاده از این روش سرعت تقریبی یک مترمربع در دقیقه برای تمیزکنندگی پنل‌های فتوولتائیک زمان می‌برد [28]. در مطالعات

3. Levar

انجام شده برای منطقه خاورمیانه میزان آب مصرفی برای روش تمیزکنندگی دستی $0/5 \frac{L}{m^2}$ بوده است [29]. مدل‌های مختلفی برای تمیزکنندگی دستی ارائه شده است در یک بررسی مشخص شده، تمیزکنندگی خشک می‌تواند تا حدود 67-90٪ باعث بهبود کارایی پنل‌ها شود. در همان بررسی پنل‌هایی که برای تمیزکنندگی آن‌ها از جارو و آب استفاده شده است، مشخص شده که کارایی تا 92٪ نیز می‌تواند بهبود یابد [30].

این روش سنتی که برای تمیز کنندگی پنل‌های فتوولتائیک استفاده می‌شود، مشابه تمیز کردن پنجره و شیشه‌ها است. در این روش برای تمیز کنندگی سطح پنل‌های فتوولتائیک از جاروها استفاده می‌شود. برای بازیابی سطح مطلوب کارایی پنل‌های فتوولتائیک همچنین این روش برای زمانی که آلودگی محکمی به سطح پنل چسبیده باشد نیز استفاده می‌شود. از معایب روش تمیزکنندگی دستی به دلیل اینکه جاروها و ابزار مستقیماً به سطح پنل‌های فتوولتائیک برخورد می‌کنند باعث خرابی سطح پنل‌ها شده حتی در مواردی گزارش شده که باعث شکسته شدن شیشه سطح پنل‌های فتوولتائیک می‌شود. همچنین این روش به عنوان یک روش گرانقیمت شناخته شده، زیرا تجهیزات و نیروی کاری که برای این روش استفاده می‌شود بسیار پرهزینه است [31, 32].

برای نیروگاه‌های فتوولتائیک در مقیاس کوچک معمولا از روش تمیزکنندگی دستی استفاده می‌شود. این روش می‌تواند به صورت خشک، آب و آب همراه با مواد شوینده استفاده شود. با این حال با توجه به بررسی‌های انجام شده برای نیروگاه‌های در مقیاس بزرگ نمی‌توان از روش تمیزکنندگی دستی استفاده کرد به این دلیل که تمیزکنندگی دستی هم زمان‌بر و هم باعث افزایش هزینه‌های نگهداری می‌شود [33]. مدل‌های مختلفی برای روش تمیزکنندگی دستی ارائه شده و نتایج متفاوتی به همراه داشته است. در مقایسه روش تمیزکنندگی دستی و تمیزکنندگی ماشینی دوره‌های تمیزکنندگی تعیین شده و این دوره‌های تمیزکنندگی برای روش دستی 20 روز و برای روش ماشین 9 روز تعیین شده است [34]. روش تمیزکنندگی دستی طبق بررسی‌های مختلفی بیان شده روش بسیار پرهزینه بوده و برای نیروگاه‌های در مقایس بزرگ توصیه نمی‌شود، همچنین این روش نیاز به نیروی کار حرفه‌ای دارد. امروزه سیستم‌های خودکار تمیزکنندگی برای نیروگاه‌های در مقیاس بزرگ می‌تواند انعطاف پذیرتر و نتایج امیدوار کننده‌ای را به همراه داشته باشد [35]. بنابراین شناخت روش‌های تمیزکنندگی خودکار برای بهبود کارایی سیستم‌های فتوولتائیک ضروری است. در بین روش‌های خودکار دو روش بیشترین کاربرد را در بین دیگر روش‌های خودکار تمیزکنندگی دارند، این دو روش شامل روش تمیزکنندگی ربات و روش تمیزگنندی آب خودکار است.

2-2-روش تمیزکنندگی خودکار ربات

کشورها و یا مناطقی که معمولاً با مشکلات خشکسالی و کمبود آب مواجه هستند، برای احداث نیروگاه فتوولتائیک دارای محدودیت‌هایی همچون رسوب گرد و غبار بوده و برای نیروگاه‌های در مقیاس‌های کوچک از روش تمیز کنندگی دستی استفاده می‌شود. اما برای نیروگاه در مقیاس بزرگ ضروری است استفاده از یک روش خودکار، در بین روش‌های خودکار تمیز کنندگی ربات می‌تواند عمل تمیز کنندگی را با دقت بالا به نسبت روش تمیز کنندگی دستی انجام داده و نیاز به نیروی انسانی را با توجه به خودکار بودن این روش کاهش دهد [28].

ربات‌های تمیز کننده معمولا از چرخ‌های پلاستیکی بهره می‌برند و این موضوع برای حرکت ربات‌ها بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک باعث خواهد شد خراش و یا آسیبی به سطح شیشه‌ای پنل‌های فتوولتائیک نرسد [36]. ربات‌های تمیز کننده در فرایند تمیزکنندگی باید به صورت مرتب شارژ شوند تا به کار خود ادامه دهند، برای این کار روش‌های مختلفی وجود دارد. برخی از ربات‌ها با باتری کار می‌کنند و این باتری‌ها نیز قابل تعوض هستند. برخی دیگر از این ربات‌های تمیزکننده مستقیما به پنل متصل می‌شوند و از خروجی پنل‌ها تغذیه می‌کنند و بر توان خروجی پنل‌ها تاثیر می‌گذارد. نوع دیگری نیز وجود دارد به باطری‌هایی که بخشی از توان پنل‌ها در آن قسمت ذخیره می‌شود متصل شده و شارژ خواهند شد [37].

با توجه به اینکه صفحات فتوولتائیک در ردیف‌های ده یا چند صد متری قرار می‌گیرند حرکت بین پنل‌های فتوولتائیک مشکل است، در تمامی مدل‌های مکانیکی این مشکل وجود دارد، طراحی و مدل نصب پنل‌های فتوولتائیک باید به نحوه‌ای باشد تا بتوان از روش تمیزکنندگی ربات بهره برد [38]. ربات‌ها برای تمیز کردن پنل‌های فتوولتائیک باید بر روی سطح شیشه‌ای پنل‌ها حرکت کنند، اما با توجه به اینکه پنل‌ها برای عملکرد بهتر با زاویه شیب خاصی نصب می‌شوند، ربات‌ها باید دارای ساختاری باشند که بتوانند بر روی سطح شیبدار پنل‌های فتوولتائیک حرکت کنند [39].

شکل 2 ربات تمیزکننده Solbright [40].

ربات‌های تمیزکننده به دلیل دقت در تمیز کنندگی مشهور بوده این ربات‌ها تا ۹۹٪ می‌توانند آلودگی را از بین ببرد. ربات‌های تمیزکننده برای نیروگاه‌های در مقیاس بزرگ بررسی شده و نتایج نشان می‌دهد 7 تا 15 درصد باعث بهبود عملکرد پنل‌های فتوولتائیک می‌شود. این ربات‌ها برای تامین توان مورد نیاز خود از پنل‌هایی که بر روی قسمت بالایی آن‌ها که در شکل 2 مشخص شده بهره می‌برند. ربات‌های تمیزکننده به صورت حرکت چرخشی توسط جاروهایی که در قسمت پایینی آن‌ها تعبیه شده عمل تمیز کنندگی را انجام می‌دهد و بدون نیاز به آب این عمل را انجام خواهد داد و باعث صرفه جویی در هزینه‌ها می‌شود [40].

سیستم‌های تمیز کنندگی ربات معمولاً به دو روش تمیز کنندگی را انجام می‌دهند، روش اول به صورت خشک و بدون استفاده از آب، روش دیگر روش استفاده از آب بوده که در آن از آب و یا مایعات مبتنی بر آب برای تمیز کنندگی استفاده می‌شود. سیستم تمیز کنندگی ربات از یک ساختار دو قسمتی تشکیل شده‌اند. بدین معنا که تمیز کنندگی در دو جهت مختلف انجام می‌شود و باعث خواهد شد تمیز کنندگی به صورت کامل انجام شود [41]. طبق بررسی‌های انجام شده در ارتباط با روش تمیزکنندگی ربات در مطالعات مختلفی بیان شده

با توجه به هزینه اولیه و هزینه تعمیر و نگهداری ربات‌ها در این روش توصیه شده روش تمیزکنندگی ربات برای نیروگاه‌های فتوولتائیک در مقیاس بزرگ استفاده شود.

3- بررسی روش تمیزکنندگی آب خودکار

رسوب گرد و غبار باعث کاهش تابش نور خورشید به سلول‌های فتوولتائیک می‌شود، با توجه به آسیب‌هایی که روش تمیزکنندگی دستی ممکن است به سطح ماژول‌های فتوولتائیک برساند و محدودیت‌هایی که روش دستی ایجاد می‌کند، انتخاب یک روش خودکار باعث افزایش کارایی و اثر بخشی سیستم‌های فتوولتائیک خواهد شد [42]. روش تمیزکنندگی آب خودکار از جمله روش‌های بسیار کارآمد بوده، این روش مبتنی بر آب بوده از اسپری کننده‌های آب فشار قوی استفاده می‌شود و باعث تمیز کنندگی پنل‌های فتوولتائیک خواهد شد. این روش اغلب به صورت خودکار در مناطق خشک برای تمیزکنندگی پنل‌های فتوولتائیک استفاده می‌شود. در این روش علاوه بر آب می‌توان از مواد تمیز کننده برای بهبود تمیز کنندگی استفاده کرد [43].

این روش را می‌توان به عنوان روش چند هدفه در نظر گرفت، روش تمیزکنندگی آب خودکار هم می‌تواند باعث تمیز کنندگی سطح پنل فتوولتائیک شود و همچنین باعث کاهش دمای سطح پنل‌های فتوولتائیک نیز خواهد شد و کارایی پنل‌های فتوولتائیک را افزایش می‌دهد [44]. در یک مطالعه مشخص شده روش تمیزکنندگی آب خودکار علاوه بر تمیزکنندگی تاثیر بسیار زیادی بر کاهش دمای سطح پنل‌های فتوولتائیک دارد. همچنین در این مطالعه بیان شده روش تمیزکنندگی آب خودکار علاوه بر اینکه جزء دسته روش‌های خودکار بوده، این روش می‌تواند جزء دسته روش‌های خودتمیزکننده قرار بگیرد، روش خودتمیزکننده از جمله روش‌های پیشگیرانه از رسوب گرد و غبار است [45].

بررسی تجربی برای تجزیه تحلیل عملکرد پنل‌های فتوولتائیک بعد از رسوب گرد و غبار و تاثیر آن بر توان خروجی مشخص شده در یک بررسی که برای نیروگاه ۱۵ کیلوواتی انجام شده است. از روش تمیز کنندگی آب خودکار برای تمیزکنندگی سطح پنل‌های فتوولتائیک استفاده شده و با توجه به خودکار بودن این روش تمیزکنندگی نیاز به نیروی انسانی را کاهش می‌دهد، همچنین این روش نسبت به روش تمیز کنندگی دستی میزان آب کمتری را مصرف می‌کند. نتایج قابل توجهی در اثر استفاده از این روش بر بهبود عملکرد پنل‌های فتوولتائیک گزارش شده است [46]. بررسی‌های مختلفی برای روش آب خودکار انجام شده، یک مدل بر پایه اسپری کردن آب بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک ارائه شده، این روش هم باعث کاهش دما و هم باعث حذف گرد و غبار از سطح پنل‌های فتوولتائیک می‌شود. این مدل به صورت تجربی بررسی شده و نتایج امید بخش اقتصادی در این بررسی به دست آمده است [47].

در این روش هنگام تمیز کنندگی سطح پنل‌های فتوولتائیک و حذف گرد و غبار می‌توان با استفاده از آب دمای سطح پنل‌های فتوولتائیک را نیز کاهش داد در واقع این روش موثرترین روش برای کاهش دمای سطح پنل‌های فتوولتائیک است [48]. روش تمیزکنندگی آب خودکار با توجه به توصیه‌های انجام شده برای تمیز کنندگی از آب غیر معدنی تحت فشار استفاده شود و همچنین توصیه شده است عمل تمیز کنندگی در اوایل صبح انجام شود. در این روش آب مصرفی باید غیر معدنی و بدون هیچ جرمی باشد. این روش یک نازل به خطوط لوله آب که بر روی قسمت بالای پنل‌های فتوولتائیک نصب شده متصل می‌شود. این سیستم شامل کنترل کننده آب بوده که به دو روش می‌توان آن را کنترل کرد به صورت دستی و خودکار، با توجه به برنامه ریزی تمیز کنندگی می‌توان دوره تمیز کنندگی را تعیین کرد، در یک مطالعه تجربی و با استفاده از روش تمیزکنندگی آب خودکار میزان افزایش کارایی سیستم را تا ۹۵٪ تعیین شده است [49].

همانطور که بیان شد روش تمیزکنندگی آب خودکار دارای مدل‌های مختلفی بوده که در جدول 1 تعدادی از این مدل‌ها بررسی شده است.

جدول 1 بررسی مطالعات انجام شده برای روش تمیزکنندگی آب خودکار براساس سال انتشار.

محقق	ویژگی	بهبود عملکرد
عامری[1] [50].	-کاهش دمای پنل -کاهش تلفات توان در طولانی مدت -سیستم کم هزینه و مقرون به صرفه -تمیز شدن سطح پنل	بیشتر از 3/26٪
نیزتی[2] [44].	-می‌تواند سطح پنل را خنک کند -باعث تمیز کنندگی می‌شود -راندمان افزایش می‌یابد. -قطعات قابل تعویض کم	بیش از 5/9٪
مندال[3] [49].	-پنل خنک می‌شود -پوشش آب در تمامی نقاط پنل	بیشتر از 95٪
کتاکم[4] [51].	-به توان کمتر و زمان کمتری نیاز دارد. -باعث افزایش توان خروجی می‌شود	بیشتر از 3٪

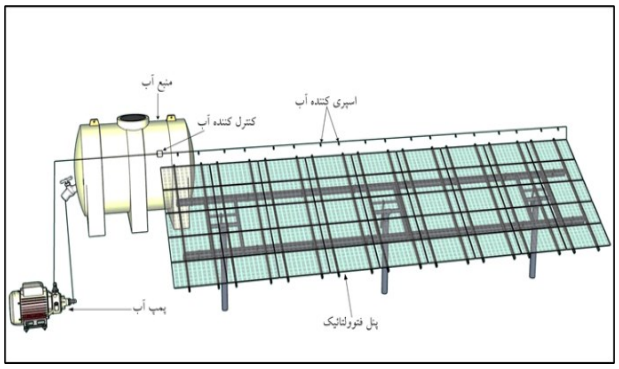
3-1-نحوه عملکرد روش تمیزکنندگی آب خودکار

در این روش از یک مخزن آب استفاده می‌شود که می‌تواند تحت تاثیر دمای محیط باشد و یا حتی در زمین قرار داده می‌شود که دمای نهایی آب کاهش یابد و باعث کاهش دمای بیشتر پنل‌های فتوولتائیک شود، در این روش آب درون مخزن از طریق کانال اصلی آب پمپاژ می‌شود و سپس توسط شیرهای

1. Ameri
2. Nizeti
3. Mondal
4. Katakam

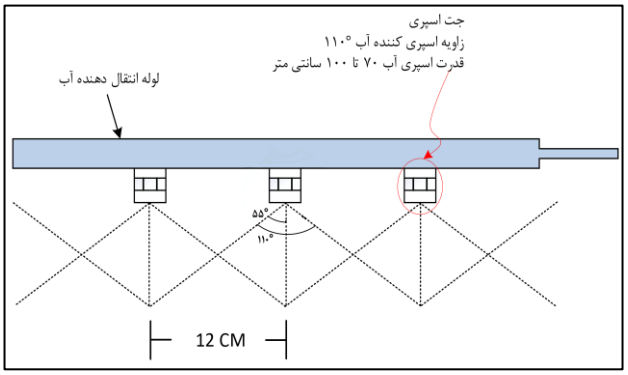
کنترل کننده مختلف آب باعث خواهد شد آب برای هر ردیف مختلف پنل رسیده و آب برروی سطح پنل‌های فتوولتائیک جاری شود. آب جاری شده بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک توسط اسپری کننده‌های آب انجام می‌شود، این پخش کنندگی آب با فشار و با سرعت کم انجام شده به طوری که آب به صورت یکنواخت بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک جاری شود و باعث لایه‌های مختلف آب شود.

در این روش در قسمت پایین پنل‌ها قسمت‌هایی تعبیه خواهد شد که می‌تواند آبی که بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک جاری شده را دوباره به منبع آب برگرداند و منتقل کند. در مسیر برگشت آب برای جلوگیری از آلودگی آب برگشتی آب توسط فیلترهای آب فیلتر می‌شود. برای درک بهتر روش تمیز کنندگی آب خودکار نمای کلی این روش در شکل 3 مشخص شده است.



شکل 3 نمای کلی تمیزکنندگی آب خودکار.

در این روش اسپری کننده‌های آب در فاصله 12 سانتیمتر از یکدیگر و در فاصله 8 سانتیمتری در قسمت بالای پنل‌ها باید نصب می‌شوند. اسپری کننده‌های آب با زاویه 110° آب را بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک اسپری می‌کنند و این زاویه باعث همپوشانی 50 درصدی اسپری کننده‌های آب با یکدیگر می‌شود. به منظور بررسی دقیق تر زاویه نصب اسپری کننده‌های آب به شکل 4 توجه شود، اسپری کننده‌های آب اگر فشار مورد نیاز آب (4 لیتر در دقیقه) را پمپ آب تامین کند، می‌تواند پرتاب آب 70 تا 100 سانتی متری را داشته باشند.



شکل 4 زاویه و نحوه قرار گیری اسپری کننده های آب در کنار یکدیگر.

در بررسی‌های مختلف برای روش اسپری خودکار آب برای تمیز کنندگی مشخص شده، آب مصرفی در این روش زیاد بوده، اما با توجه به تاثیر مثبت این روش برای خنک کنندگی سطح پنل‌های فتوولتائیک و تمیز کنندگی سطح پنل‌های فتوولتائیک نمی‌توان از تأثیر مثبت این روش بر خروجی پنل‌های فتوولتائیک چشم پوشی کرد. همچنین روش تمیزکنندگی آب خودکار قابل نصب بر روی هر نوع طراحی پنل‌ها بوده و محدودیت نصب ندارد، در واقع این روش در مقایسه با دیگر روش‌های تمیزکنندگی بسیار دارای نتایج بهتری است.

روش تمیز کنندگی آب خودکار برای یک نیروگاه 20 کیلوواتی بررسی شده، پنل‌های مورد بررسی ۷۰ پنل در ۴ ردیف ۱۵ تایی و یک ردیف 10 تایی پنل‌های مورد بررسی مربوط به دانشگاه ملی زابل بوده و تصویر هوایی و زمینی پنل‌های مورد بررسی در شکل 5 مشخص شده است. نیروگاه مورد بررسی در مختصات (N61°31'34.4"E"2.32'31°02) بوده، تمامی توان تولیدی نیروگاه به شبکه 3 فاز دانشگاه انتقال داده می‌شود.

شکل 5 تصویر هوایی و زمینی پنل‌های مورد بررسی مربوط به نیروگاه 20 کیلوواتی دانشگاه ملی زابل.

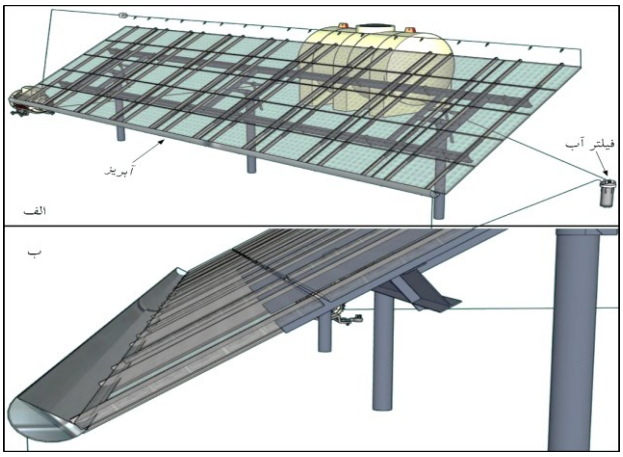
در این روش به اسپری‌کننده‌های آب و کنترل کننده‌های آب نیاز است، در این روش به یک پمپ 0/5 اسب بخار نیاز بوده برای تامین فشار آب مورد نیاز، پمپ متصل به منبع آب و آب را به کنترل کننده آب انتقال می‌دهد و کنترل کننده‌های آب این آب را به اسپری کننده‌های آب انتقال می‌دهند و در نهایت آب بر روی سطح پنل‌های فتوولتاییک جاری می‌شود، سپس آب باعث حذف گرد و غبار شده و در نتیجه باعث افزایش راندمان پنل‌های فتوولتائیک

می‌شود. برای بررسی دقیق‌تر ابزار مورد نیاز برای نصب روش تمیزکنندگی آب خودکار برای یک نیروگاه 20 کیلوواتی به جدول 2 توجه شود.

موارد	تعداد	شرح موارد
تانکر آب	1	ظرفیت 2000 لیتر
لوله آب	80 متر	جنس PVC قطر 3/4
پمپ آب	1	0/5 توان اسب بخار
ابزار انتقال آب	-	-20 زانو لوله
		-210 تبدیل T شکل
اسپری کننده آب	210	جت اسپری 180
کنترل کننده آب تایمری	5	تایمری
فیلتر آب	1	فیلتر آب دیسکی

جدول 2 ابزار مورد نیاز روش تمیزکنندگی آب خودکار.

برای کاهش میزان هدر رفت آب از مدلی استفاده می‌شود، طبق شکل 6 که در قسمت پایین پنل‌ها آبریز تعبیه می‌شود.

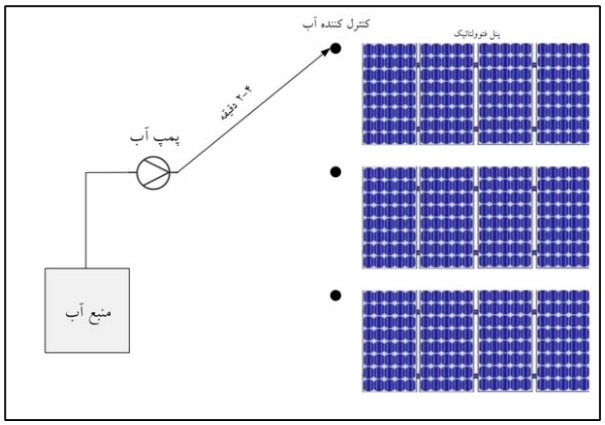


شکل 6 الف)نمای کلی روش تمیزکنندگی آب خودکار همراه با آبریز و فیلتر آب ب) نمای نزدیک آبریز.

برای جمع آوری آب برگشتی از آبریز استفاده می‌شود، آب جاری شده بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک در این قسمت جمع آوری شده توسط یک فیلتر گرد و غبار آب فیلتر می‌شود و آب به منبع اصلی برگشته و دوباره در چرخه استفاده قرار می‌گیرد، توصیه می‌شود مسیر آب برگشتی به نحوه‌ای طراحی شود که دارای شیب بوده تا آب به منبع اصلی بازگردد. آب برگشتی هم می‌تواند متصل شود به منبع اصلی و یا حتی می‌توان از یک منبع کوچکتر استفاده کرد و آب را به منبع اصلی انتقال داد. طبق بررسی‌های انجام شده فیلتر کردن آب در این روش تا حد زیادی میزان مصرف زیاد آب را در این روش جبران می‌کند.

3-2- نحوه عملکرد خودکار روش تمیزکنندگی آب خودکار

در روش تمیزکنندگی آب خودکار ارائه شده میزان توان مصرفی پمپ آب و میزان هدر رفت آب بسیار حائز اهمیت است. به همین دلیل در این مطالعه روشی ارائه شده برای کاهش توان مصرفی پمپ آب و هدر رفت آب این روش از یک سیستم روشن و خاموش مشخص شده در شکل 7 برای کنترل کننده‌های آب استفاده می‌شود. در این روش از کنترل کننده‌های آب تایمری استفاده شده، این روش با توجه به تعیین زمان انتقال آب به کنترل کننده‌های آب بین ۲ تا ۴ دقیقه برای هر رشته پنل فتوولتائیک و در این بازه زمانی تمیز کنندگی یک رشته پنل انجام می‌شود. با استفاده از این روش می‌توان سرعت پمپ آب را کنترل کرد و از آسیب به پمپ جلوگیری کرد همچنین این روش باعث کاهش هدر رفت آب خواهد شد نمای کلی این روش در شکل 7 مشخص شده است.



شکل 7 روش کنترل آب برای روش تمیز کنندگی آب خودکار.

توصیه شده برای جلوگیری از تبخیر آب و رسوب گرد و غبار و تبدیل شدن آن به گِل این روش تمیز کنندگی در اوایل صبح انجام شود. همچنین توصیه می‌شود در زمان‌هایی که باد در حال وزیدن است از این روش استفاده نشود چون باعث خواهد شد سیستم اسپری آب به درستی عمل نکند. همچنین این روش در هنگام اوج دمای پنل‌های فتوولتائیک در هنگام ظهر نباید استفاده شود به دلیل اختلاف دمایی زیاد آب و شیشه سطح پنل‌های فتوولتائیک باعث آسیب به سطح پنل فتوولتائیک خواهد شد.

3-3- بررسی اقتصادی روش تمیزکنندگی آب خودکار

فرکانس تمیزکنندگی[1] یا دوره تمیزکنندگی براساس رسوب گرد و غبار که باعث کاهش توان خروجی پنل‌های فتوولتائیک خواهد شد تعیین می‌شود. هزینه تمیزکنندگی (C_{CS})، مجموع هزینه اولیه روش ارائه شده (C_{intl}) و هزینه نگهداری (C_{main}) در معادله (1) و هزینه تعمیر و نگهداری و همچنین هزینه مواد تمیزکنندگی (C_{mat}) و هزینه نیروی کار (C_{WF}) مطابق معادله (2) بررسی شده است.

$$C_{CS} = C_{intl} + C_{main} \quad (1)$$

$$C_{main} = C_{mat} + C_{wf} \quad (2)$$

3-4- بررسی هزینه هر دوره تمیزکنندگی روش آب خودکار

هزینه‌های نگهداری روش آب خودکار به صورت ثابت و متغیر می‌توان در نظر گرفت، هزینه‌های نگهداری شامل هزینه مواد تمیزکننده و هزینه نیروی انسانی می‌شود، هزینه نیروی انسانی برابر با 1 میلیون پانصد هزار ریال برای یک روز خواهد بود، در تمامی بررسی‌های اقتصادی مبالغ مربوط به بهمن 1400 می‌باشد، همچنین نوع هزینه‌ها در جدول 3 مشخص شده است.

جدول 3 هزینه یک دوره تمیزکنندگی آب خودکار.

نوع هزینه	مقدار هزینه (هزار ریال)
مجموع هزینه اولیه روش (C_{intl})	2000
هزینه مواد تمیز کننده(C_{mat})	600
هزینه نیروی انسانی(C_{wf})	1500
مجموع هزینه تمیزکنندگی(C_{cs})	4100

با توجه به بررسی‌های اقتصادی روش تمیزکنندگی آب خودکار و طبق جدول 3 هزینه هر دوره تمیزکنندگی(C_{CS}) روش آب خودکار برابر با 4100 هزار ریال خواهد بود، برای تمیزکنندگی موثر و اثرگذاری بهتر تعداد 2 دوره تمیزکنندگی در یک ماه بسیار مناسب خواهد بود. برای بررسی دوره بازگشت سرمایه روش تمیزکنندگی آب خودکار از رابطه 3 بهره گرفته خواهد شد [52].

$$\text{دوره بازگشت سرمایه} = \frac{\text{کل هزینه اولیه ثابت}}{\text{هزینه‌های متغیر و جاری−درآمد و بازده}} \quad (3)$$

رابطه 3 شامل هزینه اولیه روش تمیز کنندگی آب خودکار بوده، میزان هزینه‌های اولیه، جاری و درآمد در جدول 4 مشخص شده است.

جدول 4 بررسی دوره بازگشت سرمایه روش تمیزکنندگی آب خودکار.

نوع هزینه	مقدار هزینه (هزار ریال)
هزینه اولیه روش تمیز کنندگی	11000
هزینه تمیزکنندگی	8200
هزینه تعمیر و نگهداری	1000
هزینه توان مصرفی پمپ آب	20
مجموع هزینه‌های جاری	9220
درآمد	60000

با توجه به رابطه 3 و جدول 4 دوره بازگشت سرمایه برای روش تمیزکنندگی آب خودکار تغریبا برابر با 2/2 سال خواهد بود و بعد از این دوره سرمایه گذاری انجام شده باعث سوددهی خواهد شد.

4- موارد دیگری از استفاده روش تمیزکنندگی آب خودکار

روش تمیزکنندگی آب خودکار به تازگی بسیار مورد توجه قرار گرفته، روش آب خودکار علاوه بر تمیزکنندگی پنل‌های فتوولتائیک می‌تواند کاربردهای دیگری نیز داشته باشد که در ادامه برخی از کاربردهای این روش بررسی می‌شود.

4-1- تاثیر روش آب خودکار بر خنک کنندگی پنل‌های فتوولتائیک

در یک بررسی روش آب خودکار و تاثیر بر خنک کنندگی سطح پنل‌های فتوولتائیک، به دلیل گرم شدن سلول‌های خورشیدی توسط تابش نور خورشید باعث تلفات توان و آسیب به سلول‌های خورشیدی خواهد شد. برای کاهش میزان دمای سطح پنل‌های فتوولتائیک از یک روش آب خودکار استفاده شده که باعث بهبود کارایی پنل‌ها تا 33/28٪ شده است [53]. همچنین در یک بررسی همانطور که گفته شد با توجه به تاثیرات منفی حرارت زیاد بر روی پنل‌های خورشیدی و کاهش توان خروجی، الگوریتم‌های متفاوتی برای کاهش اثرات دما بر روی پنل‌های فتوولتائیک ارائه شده، در بررسی انجام شده توسط تیموتی[2] و همکارانش یک الگوریتم بر مبنای کنترل دما توسط اسپری آب، الگوریتم به کار گرفته شده باعث افزایش کارایی تا 16/65٪ شده است [54].

به طور کلی مدل‌های مختلفی برای روش تمیزکنندگی آب خودکار وجود دارد، برخی مدل‌ها عمل تمیزکنندگی را انجام خواهند داد، برخی دیگر عمل خنک کنندگی پنل‌های فتوولتائیک و مدل‌هایی نیز از روش آب خودکار وجود دارد که می‌توانند همزمان عمل تمیزکنندگی و خنک کنندگی را انجام دهند. به طور کلی روش تمیزکنندگی آب خودکار با توجه به ویژگی‌ها و قابلیت‌هایی که دارد می‌تواند به طور موثر باعث افزایش کارایی پنل‌های فتوولتائیک شود.

4-2- کاربرد روش آب خودکار در کشاورزی

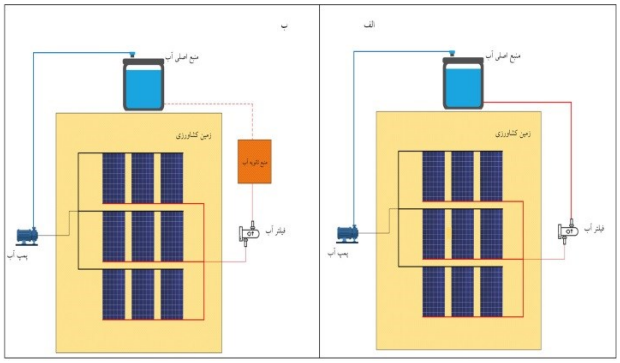
امروزه با توجه به اهمیت کشاورزی برای کشورها و اهمیت استفاده از سیستم‌های تجدیدپذیر برای کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، بررسی و استفاده از سیستم‌های تجدیدپذیر در کشاورزی بسیار دارای اهمیت شده و توسعه سیستم‌های تجدید پذیر در کشاورزی باعث اثر بخشی امیدوارکننده‌ای خواهد بود [55]. در بین روش‌های موفق در استفاده از پنل‌های فتوولتائیک برای تولید انرژی استفاده از این پنل‌ها در مزارع کشاورزی بسیار امیدوار کننده بوده است. استفاده از پنل‌ها برای جایگزینی پمپ‌های دیزلی و حذف این پمپ‌ها بسیار برای کاهش آلاینده‌ها حائز اهمیت است. اما با توجه به شرایط

1. Frequency Cleaning
2. Timothy

موجود در زمین‌های کشاورزی گرد و غبار رسوب کرده بر روی سطح پنل‌های فتوولتائیک زیاد بوده و حذف گرد و غبار از سطح پنل‌ها را با اهمیت تر ساخته است. پنل‌های فتوولتائیک به سه روش در زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند، نوع اول پنل‌ها در بین محصولات کشاورزی قرار می‌گیرند، نوع دوم پنل‌های فتوولتائیک در یک ارتفاع بالاتری از سطح محصولات قرار می‌گیرند و نوع سوم اگر محصولات در گلخانه کشت شود پنل‌ها در قسمت بالایی گلخانه نصب می‌شوند. در یک مطالعه مشخص شده سیستم‌های فتوولتائیک مورد استفاده برای گلخانه باعث کاهش مصرف انرژی کل، فناوری با هزینه مناسب و بازده بالا و همچنین سازگار با محیط زیست بوده و باعث صرفه جویی80٪ در انرژی کل خواهد شد [56].

یک عامل بسیار مهم در بازده پنل‌های فتوولتائیک رسوب بیش از حد گرد و غبار باعث کاهش بازده پنل‌های فتوولتائیک خواهد شد، به همین دلیل تمیزکنندگی سطح پنل‌های فتوولتائیک بسیار مهم است. اما استفاده از روش سنتی و متداول روش تمیزکنندگی دستی بسیار پرهزینه و خطرناک خواهد بود. در برخی اوقات استفاده از این روش سنتی تمیز کنندگی روش دستی باعث برق گرفتگی نیروی انسانی شده و این روش بسیار پر خطر است. در بین روش‌های تمیز کنندگی روش تمیز کنندگی سنتی میزان کیفیت تمیزکنندگی کمی دارد و به همین دلیل تعیین روشی با کیفیت تمیز کنندگی مناسب بسیار مهم است.

در این مطالعه روشی ارائه خواهد شد برای استفاده از تمیزکنندگی آب خودکار برای مزارع کشاورزی و فضای سبز که از هدر رفت آب جلوگیری می‌کند. تلفات انرژی حاصل از رسوب گرد و غبار یکی از مسائل چالش برانگیز در استفاده از پنل‌های فتوولتائیک است. با توجه به نوع عملکردی پنل‌های فتوولتائیک در فضای باز میزان رسوب گرد و غبار بر روی سطح این پنل‌ها افزایش می‌یابد. در این قسمت روشی ارائه خواهد شد با توجه به استفاده از پنل‌های فتوولتائیک در مزارع کشاورزی می‌توان با استفاده از این روش میزان راندمان را افزایش داد و هم میزان هدر رفت آب را نیز کاهش داد. نمای کلی استفاده از این روش برای مزارع کشاورزی را می‌توان در شکل 8 مشاهده کرد.



شکل 8 الف)نمای کلی استفاده از روش تمیزکنندگی آب خودکار با منبع اصلی در کشاورزی. ب) نمای کلی روش ارائه شده با منبع ثانویه.

در این روش دو مدل ارائه شده است، در شکل 8 الف آب از منبع اصلی به سمت پنل‌ها آمده و پس از اسپری شدن و فیلتر شدن دوباره به منبع اصلی برگشته و در موارد آبیاری کشاورزی استفاده می‌شود. در شکل 8 قسمت ب آب از منبع اصلی به سمت پنل آمده و پس از اسپری شدن به منبع ثانویه رفته و در موارد مورد نیاز کشاورزی استفاده می‌شود. با استفاده از این روش‌ها می‌توان به شدت از هدر رفت آب جلوگیری کرد و از تولید آلاینده توسط پمپ‌های دیزلی جلوگیری می‌کند و استفاده از پنل‌های فتوولتائیک را در مزارع کشاورزی پیش از پیش توجیه‌پذیرتر می‌کند.

5- نتیجه گیری

با توجه به مشکلات تولید انرژی توسط سوخت‌های فسیلی استفاده از منابع تولید انرژی پاک ضروری است. در بین روش‌های تولید انرژی پاک تولید انرژی توسط سیستم‌های فتوولتائیک بسیار مورد توجه قرار گرفته است. اما خروجی سیستم‌های فتوولتائیک بسیار تحت تاثیر عوامل طبیعی قرار می‌گیرد. یک عامل طبیعی که بسیار در خروجی پنل‌های فتوولتائیک تاثیر دارد رسوب گرد و غبار است. تحقیق و بررسی روش‌های تمیز کنندگی برای پنل‌های فتوولتائیک بسیار حائز اهمیت است. روش‌های تمیز کنندگی با توجه به شرایط محیطی، نوع گرد و غبار و منطقه محل نصب پنل‌های فتوولتائیک می‌تواند متفاوت باشد. در این مطالعه روش‌های تمیزکنندگی ربات و دستی بررسی شده و طبق بررسی انجام شده روش دستی با توجه به محدودیت‌هایی که ایجاد می‌کند برای نیروگاه‌های در مقیاس کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، روش تمیزکنندگی ربات با توجه به هزینه اولیه و هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری برای نیروگاه در مقیاس بزرگ توصیه می‌شود.

در این مطالعه روش تمیز کنندگی آب خودکار ارائه شده و نتایج امیدوارکننده‌ای را به همراه داشته و می‌تواند هم باعث تمیز کنندگی و هم باعث کاهش دمای سطح پنل‌های فتوولتائیک شود. در این مطالعه روش آب خودکار برای یک نیروگاه 20 کیلوواتی مربوط به دانشگاه ملی زابل بررسی شده و ابزار مورد نیاز و همچنین نحوه بررسی اقتصادی این روش مشخص شده. روش تمیزکنندگی آب خودکار برای نیروگاه‌های فتوولتائیک در مقیاس کوچک و متوسط می‌تواند باعث افزایش راندمان پنل‌های فتوولتائیک شود. همچنین در این مطالعه مدلی برای استفاده از روش تمیز کنندگی آب خودکار در موارد کشاورزی ارائه شده و باعث خواهد شد استفاده از پنل‌های فتوولتائیک بیش از بیش در موارد کشاورزی توجیه پذیرتر شود.

6- مراجع

[1] S. Edalati, M. Ameri, M. Iranmanesh, and Z. Sadeghi, Solar photovoltaic power plants in five top oil-producing countries in Middle East: A case study in Iran, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 69, pp. 1271–1280, Mar. 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.042.

[2] H. Y. Mahsa Mousavi Reineh, Mahnaz Abolghasemi, A review of external costs of electricity generation emphasising on renewable energies, *Journal of Renewable and New Energy,* Vol. 6, No. 1, pp. 110-119, 2019. (in Persian)

[3] E. G. Ali Dehghani, Mohammadtaher Ahmadi Shadmehri, The effect Types of renewable resources On Iranian Electricity Production, *Journal of Renewable and New Energy,* Vol. 8, No. 1, pp. 41-47, 2021. (in Persian)

[4] M. Mirzaei Darian, A. Ghorreshi, and M. Hajatzadeh, Evaluation of Photovoltaic System Performance: A Case Study in East Azerbaijan, Iran, *Iranian (Iranica) Journal of Energy & Environment,* Vol. 11, No. 1, pp. 75-78, 2020, doi: 10.5829/ijee.2020.11.01.12.

[5] R. Modarres, Regional maximum wind speed frequency analysis for the arid and semi-arid regions of Iran, *Journal of Arid Environments,* Vol. 72, No. 7, pp. 1329-1342, 2008, doi: https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.12.010.

[6] M. R. Hassan Yazdani, Alireza Ghorbani, Investigating the changes in the effective factors in power generation in different seasons in photoVoltaic power plants, *Journal of Renewable and New Energy,* Vol. 9, No. 1, pp. 79-86, 2022. (in Persian)

[7] M. A. Aslan Gholami, Majid Zandi and Roghayeh Gavagsaz Ghoachani, A Review on Dust Activities in Iran and Parameters Affecting Dust Accumulation on Photovoltaic Panels, *Journal of Renewable and New Energy,* Vol. 8, No. 2 #p001387, pp. -, 2021. (in Persian)

[8] M. H. Maghami, H. Hizam, C. Gomes, M. A. M. Radzi, M. I. Rezadad, and S. Hajighorbani, Power loss due to soiling on solar panel: A review, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 59, pp. 1307–1316, Jun. 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.044.

[9] C. P. Castillo, F. B. E. Silva, and C. Lavalle, "An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28," *Energy Policy*, Vol. 88, pp. 86–99, Jan. 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.10.004.

[10] M. Rajaee and K. Challasi, Experimental study of the effect of pollution deposit on photovoltaic panels in open space, *Journal of Renewable and New Energy,* Vol. 8, No. 1, pp. 13-20, 2021, doi: 20.1001.1.24234931.1400.8.1.2.6. (in Persian)

[11] C. Ryan, F. VigNola, and D. McDaniels, Solar cell arrays: degradation due to dirt, *Proceedings of the American section of the international solar energy society,* pp. 234-237, 1989.

[12] H. P. Garg, Effect of dirt on transparent covers in flat-plate solar energy collectors, *Solar Energy,* Vol. 15, No. 4, pp. 299-302, Apr. 1974.

[13] M. S. El-Shobokshy and F. M. Hussein, Degradation of photovoltaic cell performance due to dust deposition on to its surface, *Renewable energy,* Vol. 3, No. 6-7, pp. 585-590, 1993, doi: https://doi.org/10.1016/0960-1481(93)90064-N.

[14] S. H. Erfan Rajaeian, Adnan Rajaeian, Designing a 1 MW photovoltaic farm and studying the effect of wind speed on its performance in the climatic conditions of Yazd province, *Journal of Renewable and New Energy,* Vol. 5, No. 1, pp. 52-59, 2018. (in Persian)

[15] F. Taghavi, E. Owlad, and S. A. Ackerman, Enhancement and identification of dust events in the south-west region of Iran using satellite observations, *Journal of Earth System Science,* Vol. 126, No. 2, pp. 1-17, Mar, 2017.

[16] K. Ashrafi, M. Shafiepour-Motlagh, A. Aslemand, and S. Ghader, Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT, *Journal of environmental health science and engineering,* Vol. 12, No. 1, pp. 1-9, 2014.

[17] A. Rashki, D. G. Kaskaoutis, C. d. Rautenbach, P. G. Eriksson, M. Qiang, and P. Gupta, Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran, *Aeolian Research,* Vol. 5, pp. 51-62, 2012.

[18] A. Aryanfar, A. Gholami, M. Pourgholi, S. Shahroozi, M. Zandi, and A. Khosravi, Multi-criteria photovoltaic potential assessment using fuzzy logic in decision-making: A case study of Iran, *Sustainable Energy Technologies and Assessments,* Vol. 42, p. 100877, 2020.

[19] A. Gholami, M. Ameri, M. Zandi, R. G. Ghoachani, S. Eslami, and S. Pierfederici, Photovoltaic potential assessment and dust impacts on photovoltaic systems in Iran, *IEEE J. Photovoltaics,* Vol. 10, No. 3, pp. 824-837, 2020.

[20] A. Gholami, I. Khazaee, S. Eslami, M. Zandi, and E. Akrami, Experimental investigation of dust deposition effects on photo-voltaic output performance, *Solar Energy,* Vol. 159, pp. 346-352, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.010.

[21] M. Al-Housani, Y. Bicer, and M. Koç, Experimental investigations on PV cleaning of large-scale solar power plants in desert climates: Comparison of cleaning techniques for drone retrofitting, *Energy Conversion and Management,* Vol. 185, pp. 800-815, 2019.

[22] A. Kumar and S. Manish, Analyzing the impact of dust accumulation and different cleaning mechanism on efficiency of solar photovoltaic panel, *Thermal Science and Engineering,* Vol. 1, No. 3, 2018.

[23] H. A. Kazem, M. T. Chaichan, A. H. Al-Waeli, and K. Sopian, A review of dust accumulation and cleaning methods for solar photovoltaic systems, *Journal of Cleaner Production,* p. 123187, 2020.

[24] J. F. Derakhshandeh *et al.*, A comprehensive review of automatic cleaning systems of solar panels, *Sustainable Energy Technologies and Assessments,* Vol. 47, p. 101518, 2021.

[25] M. K. Smith, C. C. Wamser, K. E. James, S. Moody, D. J. Sailor, and T. N. Rosenstiel, Effects of natural and manual cleaning on photovoltaic output, *Journal of solar energy engineering,* Vol. 135, No. 3, 2013.

[26] R. Zahedi, P. Ranjbaran, G. B. Gharehpetian, F. Mohammadi, and R. Ahmadiahangar, Cleaning of Floating Photovoltaic Systems: A Critical Review on Approaches from Technical and Economic Perspectives, *Energies,* Vol. 14, No. 7, p. 2018, 2021.

[27] Devices for cleaning modules: for solar installations. http://www.interempresas.net/

[28] M. Anderson *et al.*, Robotic device for cleaning photovoltaic panel arrays, in *Mobile Robotics: Solutions and Challenges*: World Scientific, 2010, pp. 367-377.

[29] R. K. Jones *et al.*, Optimized cleaning cost and schedule based on observed soiling conditions for photovoltaic plants in central Saudi Arabia, *IEEE J. Photovoltaics,* Vol. 6, No. 3, pp. 730-738, 2016.

[30] A. Al Shehri, B. Parrott, P. Carrasco, H. Al Saiari, and I. Taie, Accelerated testbed for studying the wear, optical and electrical characteristics of dry cleaned PV solar panels, *Solar Energy,* Vol. 146, pp. 8-19, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.02.014.

[31] D. Deb and N. L. Brahmbhatt, Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution, *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* Vol. 82, pp. 3306-3313, 2018.

[32] W. J. Jamil, H. A. Rahman, S. Shaari, and Z. Salam, Performance degradation of photovoltaic power system: Review on mitigation methods, *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* Vol. 67, pp. 876-891, 2017.

[33] A. Sayyah, M. N. Horenstein, and M. K. Mazumder, Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels, *Solar Energy,* Vol. 107, pp. 576-604, 2014, doi: https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.030.

[34] E. G. Luque, F. Antonanzas-Torres, and R. Escobar, Effect of soiling in bifacial PV modules and cleaning schedule optimization, *Energy Conversion and Management,* Vol. 174, pp. 615-625, 2018.

[35] M. Abu-Naser, Solar panels cleaning frequency for maximum financial profit, *Open Journal of Energy Efficiency,* Vol. 6, No. 3, pp. 80-86, 2017.

[36] M. Hadipour, J. F. Derakhshandeh, and R. Rezaei, Fully automatic cleaning system of smart street lights: a new design via Alf and vegard's RISC processor, *SN Applied Sciences,* Vol. 2, No. 7, pp. 1-12, 2020.

[37] G. Aravind, G. Vasan, T. G. Kumar, R. N. Balaji, and G. S. Ilango, A control strategy for an autonomous robotic vacuum cleaner for solar panels, in *2014 Texas Instruments India Educators' Conference (TIIEC)*, 2014: IEEE, pp. 53-61.

[38] H. Wang, W. Ren, C. C. Cheah, Y. Xie, and S. Lyu, Dynamic modularity approach to adaptive control of robotic systems with closed architecture, *IEEE Transactions on Automatic Control,* Vol. 65, No. 6, pp. 2760-2767, 2019.

[39] C.Menon, M. Murphy, and M. Sitti, Gecko inspired surface climbing robts, in *2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2004: IEEE, pp. 431-436.

[40] A. Azouzoute, M. El Ydrissi, H. Zitouni, C. Hajjaj, and M. Garoum, Dust Accumulation and Photovoltaic Performance in Semi-Arid Climate: Experimental Investigation andDesign of Cleaning Robot, in *Advanced Technologies for Solar Photovoltaics Energy Systems*: Springer, 2021, pp. 47-74.

[41] R. Divya, Automatic cleaning of solar panel with maximum power tracking by using Arduino, *AUTOMATIC CLEANING OF SOLAR PANEL WITH MAXIMUM POWER TRACKING BY USING ARDUINO,* Vol. 2, No. 1, pp. 5-5, 2018.

[42] K. Jaiganesh, K. B. S. Reddy, B. Shobhitha, and B. D. Goud, Enhancing the efficiency of rooftop solar photovoltaic panel with simple cleaning mechanism, *Materials Today: Proceedings,* Vol. 51, pp. 411-415, 2022.

[43] A. Al-Otaibi, A. Al-Qattan, F. Fairouz, and A. Al-Mulla, Performance evaluation of photovoltaic systems on Kuwaiti schools' rooftop, *Energy Conversion and Management,* Vol. 95, pp. 110-119, 2015.

[44] S. Nižetić, D. Čoko, A. Yadav, and F. Grubišić-Čabo, Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance

response, *Energy conversion and management,* Vol. 108, pp. 287-296, 2016.
[45] M. Raju, R. N. Sarma, A. Suryan, P. P. Nair, and S. Nižetić, Investigation of optimal water utilization for water spray cooled photovoltaic panel: A three-dimensional computational study, *Sustainable Energy Technologies and Assessments,* Vol. 51, p. 101975, 2022.
[46] N. K. Kasim, N. M. Obaid, H. G. Abood, R. A. Mahdi, and A. M. Humada, Experimental study for the effect of dust cleaning on the performance of grid-tied photovoltaic solar systems, *International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708),* Vol. 11, No. 1, 2021.
[47] A. Hadipour, M. R. Zargarabadi, and S. Rashidi, An efficient pulsed-spray water cooling system for photovoltaic panels: Experimental study and cost analysis, *Renewable Energy,* Vol. 164, pp. 867-875, 2021.
[48] A. H. Alami, Effects of evaporative cooling on efficiency of photovoltaic modules, *Energy Conversion and Management,* Vol. 77, pp. 668-679, 2014.
[49] S. Mondal *et al.*, An overview of cleaning and prevention processes for enhancing efficiency of solar photovoltaic panels, *Current Science,* Vol. 115, No. 6, p. 1065, 2018.
[50] M. Abdolzadeh and M. Ameri, Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells, *Renewable energy,* Vol. 34, No. 1, pp. 91-96, 2009.
[51] S. M. Katakam, D. Atheaya, S. R. Aligireddy, Y. Guptaa, and A. A. Bhukhari, Experimental investigation of photovoltaic module system coupled with solar panel cleaning system, *Vibroengineering Procedia,* Vol. 29, pp. 219-224, 2019.
[52] P. H. Gutierrez and N. L. Dalsted, Break-even method of investment analysis, *Service in action; No. 3.759,* 1990.
[53] G. Zanlorenzi, A. L. Szejka, and O. C. Junior, Hybrid photovoltaic module for efficiency improvement through an automatic water cooling system: A prototype case study, *Journal of Cleaner Production,* Vol. 196, pp. 535-546, 2018.
[54] O. T. Laseinde and M. D. Ramere, Efficiency Improvement in polycrystalline solar panel using thermal control water spraying cooling, *Procedia Computer Science,* Vol. 180, pp. 239-248, 2021.
[55] A. B. Seyed Hesameddin Fatemi, Daniyal Norozi Sarami1, Reza Heydarzade, Seyed Sajjad Sharifi, A new look at the use of renewable energy in the agricultural industry, *Journal of Renewable and New Energy,* Vol. 9, No. 1, pp. 29-39, 2022. (in Persian)
[56] Sarlaki E, Chegini G, Marzban I and Bakhshi H, The Sustainable Energy Saving Solutions for Greenhouse Systems using Renewable Energies Technologies, *Journal of Renewable and New Energy,* Vol. 8, No. 1, pp. 1-12, 2021. (in Persian)