

Investigating and Setting up Solar Panels According to Environmental Parameters

Yousefali Abedini,^{1,2*} Mojtaba Salehi,³ Nasim Eldartanha,⁴ Elnaz Hosinimonfared,⁵
Lida Ebrahimi Zohravi⁶

¹ Department of Physics, University of Zanjan, Zanjan, Iran, abediniy@znu.ac.ir

² Center for Research in Climate Change and Global Warming, IASBS, Zanjan, Iran

³ Department of Physics, University of Zanjan, Zanjan, Iran, salehi@znu.ac.ir

⁴ Faculty of Physics, IASBS, Zanjan, Iran, n.ildartanha@gmail.com

⁵ Department of Physics, Abdolrahman Sufi Razi Higher Educational Institute, Zanjan, Iran,
monfareds.e@gmail.com

⁶ Zanjan Science & Technology, Zanjan, Iran, lidaebrahimi@znu.ac.ir

Keywords:

output power,
temperature,
wind speed,
renewable energy,
cloud thickness,
photovoltaic,
solar cells.

Abstract: Among the factors affecting solar panels, the amount of cloudiness, wind speed, temperature, latitude, and longitude can be considered. The purpose of this research was to estimate the amount of cloudiness and its effect on the passage of the sun's rays as well as to obtain the efficiency of solar panels in some cities of Iran from different climates; of course, the effects of temperature and wind were also investigated. For this purpose, four cities of Shiraz, Zanjan, Hamedan, and Abbar were considered. The estimation of the amount of cloudiness that affected the voltage, current, and power of the panel was obtained by checking the thickness of the cloud in different layers of the sky. The calculation of radiation emitted on the surface of the panel was undertaken using the Inishin model in PVLib Python software. The effects of cloudiness on the output power of the panel were investigated for each city. According to the results, wind speed and cloudiness, in addition to the effect of temperature, have crucial role in the output power of the panel, even in places where the cloudiness is above 80%.

Original Research Article

Paper History:

Received: 24/10/2024

Revise: 17/03/2025

Accepted: 19/03/2025

How to cite this article: Abedini, Y., Salehi, M., Eldartanha, N., Hosinimonfared, E., Ebrahimi Zohravi, L., "Investigating and Setting up Solar Panels According to Environmental Parameters", Energy Engineering and Management, Vol. 14, No. 3, PP. 68-81, 2024. <https://doi.org/10.22052/EEM.2025.255601.1092>

© 2023 University of Kashan Press.

This is an open access article under the CC BY license. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Extended Abstract

Introduction

Today, climate change and global warming have bound human societies to reduce environmental pollutants caused by fossil fuels. Furthermore, the existence of endless and renewable sources of energy such as wind and sun has forced mankind to use new and clean energies to reduce environmental pollutants. Due to the geographical location of Iran and with the solar radiation capacity of 1800 to 2200 kilowatt hours per square meter per year, solar energy has a special place among the types of new energies. Therefore, the exploitation of this energy and the methods and environmental conditions that make this possible are important. Therefore, finding proper location by considering environmental factors, including meteorological factors and air pollution, is very important. In this study, the solar radiation received by the solar panel and its power have been investigated for four cities with different climates according to the effective meteorological factors: i.e., solar radiation, air temperature, cloudiness, and wind speed.

Materials and methods

In this work, PVlib software from Sandia Group was used to simulate the solar radiation and photovoltaic model, which was coded in MATLAB and Python. At the same time, Inshin model was used to calculate the solar radiation and output power of the panel. For this aim, in this software, the Sandia array model includes five basic equations related to short circuit current (I_{sc}), maximum power current (I_{mp}), open circuit voltage (V_{oc}), current at a point with half the open circuit voltage (I_x), the current at the point between the voltage corresponding to the maximum power, and the open circuit voltage (I_{xx}). The input data of the above equations were temperature, air mass function, the angle of the ridge according to the longitude and latitude of the location and the wind speed; their output was the voltage, current, and the energy of the panel. In the next step, a relation for the amount of cloudiness was presented according to the different layers of clouds in the atmosphere; its effect on the total solar radiation was investigated. For verification, the output of the model and the experimental or measured data of solar radiation, as an example for the city Zanzan and for different days, were compared, and the

result showed that they match very well.

Result

First, according to the input data of PVLib software, currents and voltages were obtained as outputs. Then, with the help of the above radiation output and solar panel output power, they were calculated and compared for four cities of Zanzan, Shiraz, Hamedan, and Abbar with different climates. In the next step, the effects of environmental factors such as temperature, wind speed, solar radiation, and cloudiness on the radiation and the output power of the panel was investigated. Then the numerical results and corresponding graphs for four selected cities were extracted and compared. Finally, a score was assigned to each city according to the results obtained so that they could be prioritized. According to the above results, it was observed that there was a direct relationship between cloudiness and the energy received by the panel. It was also found that the output power of the panel decreases with increasing temperature and decreasing wind speed.

Discussion and Conclusion

Due to the fact that solar panels are made of metal and delicate materials such as silicon, sensitive to temperature, the efficiency of the panel, as expected, decreases with an increase in the ambient temperature and an increase in the temperature of the panel. Therefore, considering the temperature, it can be said that the mountainous and cool areas have more efficiency than the hotter areas. The areas with high wind speed also have more panel output power. Cloudiness has reduced the radiation received by the panel, but the interesting result in this case is that even in areas with cloudiness above 60%, the energy received by the panel is considerable. Finally, by summarizing the negative or positive effects of these environmental variables, it shows that the efficiency difference of the four selected cities is only about ten percent different from each other in terms of efficiency. In terms of prioritization, according to the effects of the mentioned environmental polluters, they were ranked as 1. Zanzan, 2. Shiraz, 3. Hamedan, and 4. Abbar respectively. However, due to the small difference in terms of efficiency, it can be said that all four cities photovoltaics are suitable for use.

بررسی و راه‌اندازی پنل‌های خورشیدی با توجه به پارامترهای محیطی

یوسفعلی عابدینی^۱، *مجتبی صالحی^۲، نسیم ایلدار تنها^۳، الناز حسینی منفرد^۴، لیدا ابراهیمی زهروی^۵

^۱ دانشیار گروه فیزیک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، abediniy@znu.ac.ir

^۲ دانشیار پژوهشکده تغییر اقلیم، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

^۳ کارشناس ارشد گروه فیزیک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، salehi@znu.ac.ir

^۴ کارشناس ارشد دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران، n.ildartanha@gmail.com

^۵ کارشناس ارشد گروه فیزیک، مؤسسه آموزش عالی عبدالرحمن صوفی رازی، زنجان، ایران، monfareds.e@gmail.com

^۶ کارشناس ارشد پارک علمی و فناوری استان زنجان، زنجان، ایران، lidaebrahimi@znu.ac.ir

واژه‌های کلیدی:

توان خروجی،

دما،

سرعت باد،

انرژی تجدیدپذیر،

ضخامت ابر،

فتوولتائیک،

سلول‌های خورشیدی.

مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

چکیده: از عوامل تأثیرگذار بر پنل‌های خورشیدی، میزان ابر، سرعت باد، دما، عرض و طول جغرافیایی را می‌توان نام برد. هدف از این پژوهش تخمین میزان ابر و تأثیر آن بر عبور پرتوهای خورشید و به دست آوردن بازده پنل‌های خورشیدی در برخی شهرهای ایران از اقلیم‌های مختلف بوده که البته تأثیر دما و باد نیز بررسی گردیده است. برای این کار چهار شهر شیراز، زنجان، همدان و آبر در نظر گرفته شدند. تخمین میزان ابرناکی که بر ولتاژ، جریان و توان پنل اثر دارد با بررسی ضخامت ابر در لایه‌های مختلف آسمان به دست آمد. محاسبه تابش ساطع‌شده بر سطح پنل با استفاده از مدل اینیشین در نرم‌افزار پی وی لیب پایتون انجام شده است. تأثیرات ابرناکی بر توان خروجی پنل برای هر شهر مورد بررسی قرار گرفت. مطابق نتایج حاصل، ضمن تأیید تأثیر دما، سرعت باد و ابرناکی در توان خروجی پنل، مهم‌اینکه در مکان‌هایی که حتی ابرناکی بالای ۸۰٪ است، توان قابل توجه است.

۱. مقدمه

از دیرباز، منابعی که برای تأمین انرژی بشر در دسترس بودند، محدود به سوخت‌های فسیلی بود، تا اینکه در قرن بیست‌ویکم، پیشرفت فناوری، لزوم کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی و از همه مهم‌تر، دسترسی به منابع بی‌پایان و تجدیدپذیر، بشر را بر این داشت تا با استفاده از انرژی‌های نو و پاک به فکر کاهش آلاینده‌های محیط‌زیست باشد. روش‌های زیادی برای بهره‌مندی از انرژی‌های پاک وجود دارد. در این بین، انرژی فتوولتائیک (تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته) از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. مطابق اظهار نظر کارشناسان، ایران در کمربند تابش خورشید قرار گرفته و به همین علت میزان تابش خورشید در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع در سال تخمین زده شده است، که ظرفیتی بی‌نظیر برای تأمین انرژی خورشیدی محسوب می‌شود [۱]. زمانی که بحث انرژی به میان می‌آید، بهره‌وری هرچه بیشتر از انرژی، روش‌ها و شرایطی که این مهم را امکان‌پذیر می‌کند، مورد توجه خواهد بود [۲ و ۳]. در نتیجه یافتن مکان‌هایی برای بیشترین انرژی با کمترین هزینه، مورد بررسی دانشمندان در سراسر جهان بوده است. نتایج حاکی از آن است که عوامل محیطی تأثیر بسزایی در بازدهی پنل فتوولتائیک دارند. از عوامل تأثیرگذار بر انرژی دریافتی از پنل می‌توان به تابش خورشید، دمای محیط و پنل، ابرناکی، سرعت و جهت باد اشاره کرد. حسینی منفرد و همکاران توانستند تابش را برای سطوح شیب‌دار و همچنین اثرات برخی متغیرهای هواشناسی را برای چند شهر ایران مورد شبیه‌سازی قرار بدهند [۴]. پنل فتوولتائیک (PV)، حدود ۱۳ تا ۲۰ درصد تابش خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند و بقیه انرژی خورشیدی به گرما تبدیل می‌شود [۵ و ۶]. پس از اینکه پرتو خورشید به پنل تابیده شد، پنل گرم می‌شود که به موجب این امر توان خروجی و کارایی پنل کاهش می‌یابد [۷ و ۸].

پنل فتوولتائیک مانند یک جرم حرارتی عمل می‌کند؛ در نتیجه شرایط محیطی به‌ویژه دمای هوا بر بازدهی آن تأثیر بسزایی دارد که توسط هو و همکاران به‌طور کامل توضیح داده شده است [۹]. همچنین تأثیرات گرما بر پنل به‌صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است و در هوای صاف و آفتابی پنل می‌تواند بین ۱۲۵ تا ۸۰۰ وات بر متر مربع از تابش خورشید، انرژی دریافت کند. همچنین سرعت و جهت باد از جمله مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده دمای پنل هستند [۱۰]. وقتی جریان هوا از یک سطح پنل عبور می‌کند در مدت ۱ دقیقه، ۱۵ درصد دمای پنل را کاهش و بازدهی را ۷ تا ۸ درصد

افزایش می‌دهد [۱۱]؛ در نتیجه تعیین مکان مناسب برای نصب پنل اهمیت بسزایی دارد.

ایران به‌رغم دارا بودن قابلیت‌های لازم برای توسعه استفاده از انرژی خورشیدی، همچنان درگیر استفاده از انرژی فسیلی است که این امر ضرورت سرمایه‌گذاری در زمینه توسعه انرژی‌های پاک را روشن می‌سازد. روند روبه‌رشد استفاده از انرژی با افزایش جمعیت از یک‌سو و رشد نیازهای بشر از سوی دیگر، موجب افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی و همچنین از دست رفتن سرمایه‌های کشور در بخش انرژی و سوخت‌های فسیلی شده است.

همچنان‌که اشاره شد، روش‌های مختلفی برای استفاده از انرژی‌های پاک وجود دارد که در این پژوهش یکی از پرکاربردترین روش‌های غیرمستقیم استفاده از انرژی خورشیدی، یعنی روش فتوولتائیک، مورد توجه بوده است [۱۲]. در این پژوهش تلاش شده است تا با بررسی چند شهر ایران (شیراز، همدان، زنجان و آبر) به کمک شبیه‌سازی، مکان‌های مناسب از نظر وزش باد، ابرناکی و دما برای راه‌اندازی پنل فتوولتائیک تعیین گردد که روش کار در بخش‌های بعدی شرح داده شده است.

۲. روش کار

در این پژوهش از نرم‌افزار پی وی لیب^۱ برای شبیه‌سازی‌ها استفاده شده است. نرم‌افزار پی وی لیب برای بررسی مدل تابش خورشید و فتوولتائیک، بر پایه کتابخانه متلب و پایتون بنا شده است [۱۳]. دانشمندان مدل‌های مختلفی برای تابش خورشید و توان الکتریکی دریافتی از پنل ارائه داده‌اند [۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷]. از جمله می‌توان به مدل‌های دویس، ایزوتروپیک و اینیشن اشاره کرد که در این پژوهش مدل اینیشن انتخاب شده است [۴، ۱۸ و ۱۹].

در این شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار پی وی لیب، پنل (PV) خود را در جهت ۱۸۰ درجه شمالی و همچنین زاویه شیب آن را برابر با عرض جغرافیایی هر شهر به‌صورت ثابت در طول یک سال قرار دادیم.

۱.۲. معادلات انرژی فتوولتائیک، ساندا و درصد ابرناکی

نرم‌افزار پی وی لیب شاخه‌ای از گروه سانداست و با همکاری دانشمندان فتوولتائیک توسعه داده شده است [۱۳ و ۲۰]. یکی از مدل‌های استفاده‌شده در این نرم‌افزار مدل آرایه سانداست که شامل پنج معادله اولیه جریان اتصال کوتاه I_{sc} ، جریان بیشینه توان Imp ، ولتاژ مدار باز V_{oc} ، جریان در نقطه‌ای که ولتاژ آن نصف ولتاژ مدار باز

است I_x جریان در نقطه‌ای که ولتاژ در آن مابین ماکزیمم توان و ولتاژ مدار باز است I_{xx} [۲۱ و ۲۲]. معادله جریان اتصال کوتاه با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$I_{sc} = I_{sco} f_1(AM) \left[\frac{G_{poa}}{G_0} \right] [1 + \alpha_{I_{sc}}] [T_c - T_0] \quad (۱)$$

که در آن، I_{sco} جریان اتصال کوتاه اولیه، G_0 پارامتر ثابت و T_c دمای پنل و T_0 دمای محیط است. همچنین تابع غلظت هوا $f_1(AM)$ به صورت زیر است:

$$f_1(AM) = a + a_2(AM)^2 + a_3(AM)^3 + a_4(AM)^4 \quad (۲)$$

$$AM = 1/\cos \theta_z$$

$$\theta_z = 90 - \gamma_s$$

در رابطه فوق θ_z زاویه سمت الماس AM جرم هوا و γ_s زاویه طول جغرافیایی (ارتفاع خورشید) است. اطلاعات مربوط به پارامترهای ثابت و کاربرد هریک از پارامترهای آرایه ساندا در [۲۳] توضیح داده شده است.

سایر معادلات مربوط به V_{mp} ، V_{oc} ، I_{mp} ، I_x ، I_{xx} به صورت زیر هستند [۱۲ و ۱۳]:

$$I_{xx} = I_{xx0} [C_6 E_e + C_7 E_e^2] [1 + \tilde{a}_{Imp}] [T_c - T_0] \quad (۳)$$

$$I_x = I_{xo} [C_4 E_e + C_5 E_e^2] \left[1 + \frac{\hat{a}_{Isc} + \hat{a}_{Imp}}{2} \right] [T_c - T_0] \quad (۴)$$

$$V_{oc} = V_{oco} + N_s \delta(T_c) \log E_e + \beta_{voc} [T_c - T_0] \quad (۵)$$

$$V_{mp} = V_{mpo} + C_2 N_s \delta(T_c) \log E_e + C_3 N_s [\delta(T_c) \log E_e]^2 + \beta_{vmp} [T_c - T_0] \quad (۶)$$

$$I_{mp} = I_{mpo} [C_0 E_e + C_1 E_e^2] [1 + \tilde{a}_{Imp}] [T_c - T_0] \quad (۷)$$

در روابط فوق، ولتاژ مدار باز V_{oc} ، ولتاژ در حالتی است که جریان نزدیک به صفر است (کمترین حالت ممکن) و V_{mp} ولتاژ در نقطه‌ای است که توان بیشینه است. تابش مؤثر طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$E = \frac{I_{sc}}{I_{sco} [1 + \hat{a}_{Isc} [T_c - T_0]]} \quad (۸)$$

تأثیر باد بر دمای پنل طبق رابطه زیر است:

$$T_m = E \cdot \{e^{a+b \cdot WS}\} + T_a \quad (۹)$$

که T_m و T_a به ترتیب دمای پنل و محیط، و WS سرعت باد است. a و b پارامترهای ثابت هستند که مقادیر آن‌ها در ضمیمه ۱ جدول (۸) آورده شده است [۱۳].

طبق رابطه فوق، هرچه سرعت باد بیشتر باشد، دمای پنل کاهش می‌یابد. از آنجاکه تقریباً ۷۰ درصد از تابش فرودی بر پنل به گرما تبدیل می‌شود و دمای پنل تا حدود ۶۰ درجه افزایش می‌یابد. این امر

موجب کاهش بازدهی می‌گردد؛ بنابراین هرچه دمای پنل کاهش پیدا کند، بازدهی افزایش می‌یابد.

در این پژوهش، از نرم‌افزار پی وی لیب برای به دست آوردن ولتاژ، جریان‌ها و انرژی پنل از معادلات فوق استفاده شده است.

۲.۲. ابرناکی

در علم هواشناسی لایه ابرها را می‌توان در سه ارتفاع اصلی طبقه‌بندی کرد که عبارت‌اند از: بالا یا سیروس، میانی یا آلتو استراتوس، پایین یا استراتوکومولوس است. هر لایه از نظر تراکمی ضخامت دارد که میزان ضخامت ابر، یا میزان تقریبی ابرناکی را نشان می‌دهد. همچنین در علم هواشناسی از دید افق ناظر، آسمان را به هشت قسمت‌های مساوی تقسیم می‌کنند و با مشاهده آسمان تخمین می‌زنند، چند درصد آسمان ابری است. برای مثال زمانی که لایه بالا عدد هشت بر هشت (۸/۸) نوشته شده باشد، یعنی تمام آسمان در این لایه را ابر پوشانده است. منظور از تمام آسمان، افق دید ناظر است؛ زیرا در هواشناسی میزان ابر را کارشناس هواشناسی با ایستادن در فضای باز و به صورت چشمی تخمین می‌زند. معادله‌ای برای محاسبه میزان ابرناکی کل در هر لایه وجود ندارد؛ اما نویسندگان این مقاله، با مشاورت با کارشناسان هواشناسی، رابطه زیر را برای محاسبه میزان ابرناکی در نظر گرفته‌اند:

$$Cloud_{cover} = \frac{65 \times nl1}{8} + \frac{25 \times nl2}{8} + \frac{10 \times nl3}{8} \quad (۱۱)$$

این عبارت میزان ابر کل برحسب درصد در هر سه ساعت را به دست می‌دهد. $nl1$ ، $nl2$ و $nl3$ به ترتیب مقدار ابر در سه لایه از آسمان است. تأثیر ابر بر انرژی خورشیدی طبق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$GHI = (offset + (1 - offset)(1 - cloudcover)) \quad (۱۲)$$

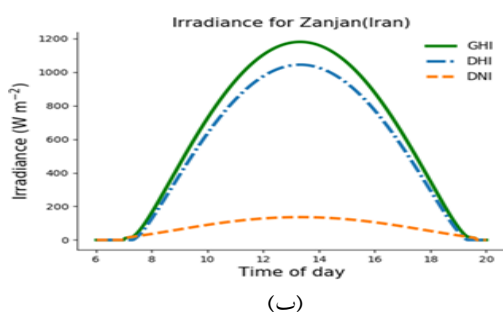
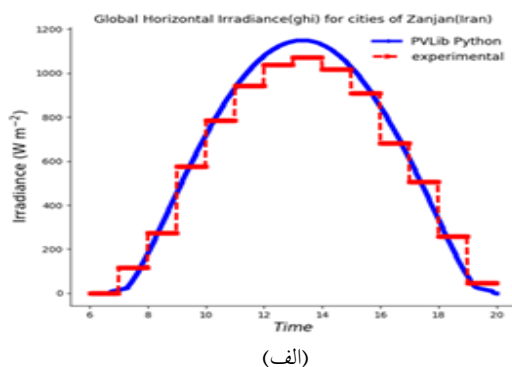
در عبارت فوق، $offset = 0.35$ است؛ یعنی اگر صد درصد آسمان ابری باشد، انرژی کل دریافتی پنل از خورشید ۳۵ درصد است. GHI تابش کل دریافتی پنل است. این تابش اهمیت ویژه‌ای دارد و برای بررسی توان دریافتی از پنل مورد توجه است.

۳.۲. نمودار آرایه ساندا

همان‌طور که در بخش‌های پیشین عنوان شده، چهار جریان I_{sc} ، I_{xx} ، I_x و ولتاژهای V_{sc} ، V_{oc} و V_{mp} بخشی از داده‌های خروجی برنامه پی‌وی لیب است که برای بررسی نمودار آرایه ساندا مورد توجه هستند [۲۴]. در ادامه به عنوان نمونه نمودارهای مربوط برای اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷ در شکل (۱) ارائه شده است.

۴.۲. راستی آزمایی

برای راستی آزمایی خروجی مدل و داده های تجربی برای انرژی کل تابش خورشیدی برای روزهای مختلف باهم مورد مقایسه قرار گرفته که به عنوان نمونه نتایج برای شهر زنجان و برای روز هشتم فروردین در شکل (۲ الف) آورده شده است. نمودار به دست آمده از شبیه سازی با داده های دریافتی از اداره هواشناسی استان زنجان مقایسه شده است (برای راستی آزمایی داده تجربی سال ۲۰۱۳ که در دسترس بود انتخاب گردید). داده تجربی تابش کل (رنگ سبز)، تابش مستقیم (آبی) و تابش پراکنده (قرمز) در شکل (۲ ب) آورده شده است. زمان طلوع و غروب خورشید مشخص شده است و مقدار انرژی از صفر به مقدار بیشینه در ظهر، و هنگام غروب آفتاب مجدداً به صفر می رسد. این امر از پیوسته بودن نمودار قابل استنباط است.



شکل (۲): (الف) نمودار مقایسه انرژی کل به دست آمده از داده های خروجی پی وی لیب طی یک روز در شهر زنجان و داده های هواشناسی متناظر (خطوط پیوسته، داده های شبیه سازی و خطوط گسسته، داده های تجربی را نشان می دهد). (ب) نمودار تابش کل (سبز)، تابش مستقیم (آبی) و تابش پراکنده (قرمز) در همان روز

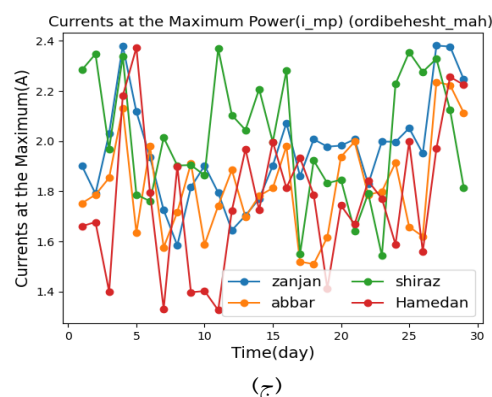
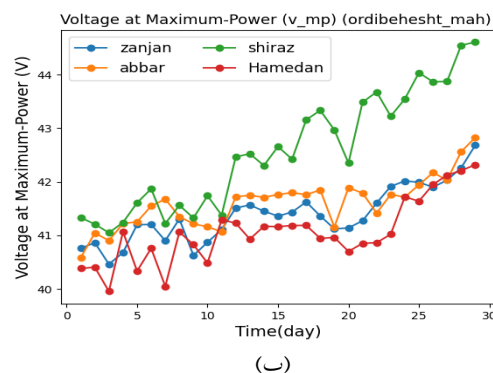
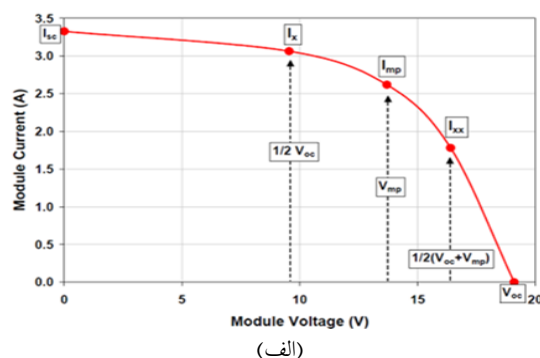
۳. نتایج

۳.۱. تأثیرات ناشی از ابرناکی بر انرژی دریافتی پنل

از داده های خروجی برنامه پی وی لیب - پایتون، داده مرتبط با توان (حاصل ضرب ولتاژ در جریان)، تابش کل و پوشش ابر بیشتر از سایر متغیرها مورد توجه این کار بوده است. در مراحل بعدی، مقایسه بین مقادیر دما، سرعت باد، پوشش ابر، توان و تابش هر یک از چهار شهر

هر یک از نمودارهای شکل (۱) در بخش خاصی از صنعت مهم بوده و از این بابت تمامی این پارامترها ارزشمندند. برای ذخیره ولتاژ نیاز به باتری داریم، اما چون باتری گران است معمولاً تنها در مکان هایی که استفاده مستقیم مد نظر باشد از ولتاژ بالا استفاده می کنیم.

ولتاژ در مسافت های طولانی مهم است، زیرا دمای سیم نباید بیشتر از حد خاصی باشد (جریان کمینه باشد) و همچنین اتلاف باید به کمترین حد ممکن کاهش یابد؛ در نتیجه در دکل های انتقال برق بین شهری ولتاژهای بالا منتقل می شود. باین حال، موقع مصرف جریان را افزایش و ولتاژ را کاهش می دهیم تا دستگاه نسوزد.



شکل (۱): (الف) نمودار آرایه ساندیا و شکل (ب) V_{mp} ولتاژ در نقطه ای است که توان بیشینه است و شکل (ج) جریان در نقطه ای که توان بیشینه است I_{mp}

جدول (۳): مقادیر انرژی دریافتی از خورشید و ابرناکی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در شهر همدان

همدان					
سال ۱۳۹۷	ابرناکی (%)	انرژی (w/m^2)	سال ۱۳۹۸	ابرناکی (%)	انرژی (w/m^2)
فروردین	۲۹/۸۹	۴۳۵/۸۴	فروردین	۳۷/۲۸	۴۰۹/۲۸
اردیبهشت	۴۳/۲۴	۳۹۹/۱۵	اردیبهشت	۲۷/۹۹	۴۵۷/۷۰
خرداد	۲۳/۱۸	۴۷۱/۶۵	خرداد	۱۲/۷۷	۵۱۲/۲۹
تیر	۵/۸۴	۵۳۳/۹۸	تیر	۵/۰۴	۵۲۴/۹۶
مرداد	۱۸/۹۵	۴۹۷/۸۲	مرداد	۱۸/۰۰	۵۰۲/۳۵
شهریور	۵/۹۴	۵۳۶/۹۲	شهریور	۷/۱۳	۵۳۸/۶۹
مهر	۲۴/۳۶	۴۸۱/۸۲	مهر	۱۲/۸۹	۴۸۱/۸۲
آبان	۳۷/۴۶	۴۹۸/۹۴	آبان	۲۷/۷۰	۳۵۴/۴۹
آذر	۲۹/۳۳	۴۰۷/۵۲	آذر	۳۳/۱۹	۲۸۹/۹۵
دی	۲۶/۴۶	۳۱۷/۴۵	دی	۲۹/۱۸	۳۰۸/۵۲
بهمن	۲۸/۲۴	۳۵۵/۳۳	بهمن	۲۶/۸۵	۳۶۰/۸۶
اسفند	۲۷/۳۴	۴۰۲/۸۶	اسفند	۳۱/۷۳	۴۰۲/۸۷

جدول (۴): مقادیر انرژی دریافتی از خورشید و ابرناکی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در شهر آبر

آبر					
سال ۱۳۹۷	ابرناکی (%)	انرژی (w/m^2)	سال ۱۳۹۸	ابرناکی (%)	انرژی (w/m^2)
فروردین	۲۸/۶۴	۳۹۱/۸۱	فروردین	۲۵/۱۹	۳۹۹/۶۸
اردیبهشت	۳۰/۲۳	۴۰۴/۴۹	اردیبهشت	۱۸/۷۱	۴۲۳/۸۶
خرداد	۲۶/۶۲	۴۳۹/۷۱	خرداد	۱۲/۴۵	۴۵۲/۲۴
تیر	۷/۰۳	۴۸۰/۱۵	تیر	۱۴/۶۱	۴۶۴/۷۳
مرداد	۱۹/۶۲	۴۴۲/۲۶	مرداد	۲۱/۳۸	۴۵۶/۷۶
شهریور	۵/۷۲	۴۷۵/۵۶	شهریور	۱۵/۸۱	۴۱۷/۷۰
مهر	۲۰/۷۱	۳۸۴/۴۸	مهر	۲۲/۲۵	۴۰۲/۳۶
آبان	۳۲/۱۶	۲۷۸/۹۹	آبان	۲۷/۶۵	۳۲۳/۲۴
آذر	۳۰/۱۴	۲۴۵/۷۶	آذر	۲۶/۳۴	۲۵۴/۰۵
دی	۲۳/۵۴	۲۷۱/۹۵	دی	۲۸/۳۷	۲۶۵/۹۴
بهمن	۲۰/۹۳	۳۲۹/۲۳	بهمن	۲۰/۹۰	۲۹۰/۴۰
اسفند	۲۹/۱۳	۳۶۴/۴۴	اسفند	۲۰/۰۰	۳۶۴/۲۳

جدول (۵): انرژی کل و ابرناکی در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ برای چهار شهر

شیراز		همدان			
سال	انرژی کل (w/m^2)	ابرناکی (%)	انرژی کل (w/m^2)	ابرناکی (%)	
۱۳۹۷	۵۳۷۶/۶۰	۱۵/۵۰	۵۳۲۹/۳۰	۲۵/۰۰	
۱۳۹۸	۵۴۶۵/۰۲	۱۴/۴۷	۵۱۴۳/۸۱	۲۱/۰۰	
زنجان		آبر			
سال	انرژی کل (w/m^2)	ابرناکی (%)	انرژی کل (w/m^2)	ابرناکی (%)	
۱۳۹۷	۵۱۷۲/۳۸	۲۰/۳۰	۴۵۰۸/۸۵	۲۲/۸۰	
۱۳۹۸	۵۱۶۷/۲۳	۱۷/۰۰	۴۵۱۵/۲۱	۲۱/۲۷	

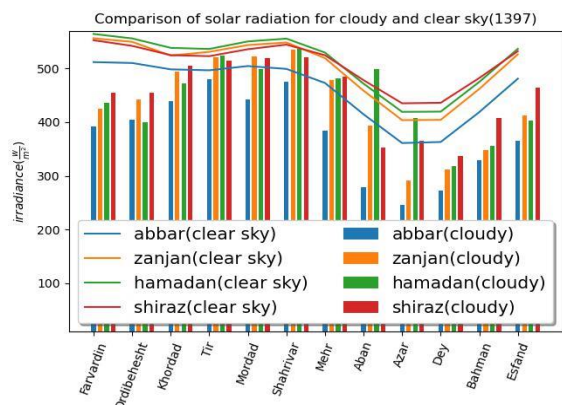
زنجان، آبر، شیراز و همدان انجام می‌پذیرد. در این بخش، نمونه‌ای از نمودارهای جریان و ولتاژ ارائه می‌شود که برای دستیابی پارامترهای توان و تابش مورد استفاده برنامه بوده‌اند. در ابتدا برنامه با توجه به داده‌های ورودی، جریان و ولتاژهای فوق‌الذکر را تولید می‌کند و طبق روابط مطرح‌شده در بخش ۱.۲، از این پارامترها برای محاسبه تابش و توان که دو پارامتر مهم در بررسی انرژی فتوولتائیک است، بهره می‌برد. در ادامه تأثیر عوامل محیطی بر خروجی پنل مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش نتایج تحلیل برای میزان ابرناکی و انرژی دریافتی پنل در جدول (۱) تا (۴) برای ماه‌های مختلف سال و در جدول (۵) برای سالانه در دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ آورده شده است.

جدول (۱): مقادیر انرژی دریافتی از خورشید و ابرناکی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در شهر شیراز

شیراز					
سال ۱۳۹۷	ابرناکی (%)	انرژی (w/m^2)	سال ۱۳۹۸	ابرناکی (%)	انرژی (w/m^2)
فروردین	۲۳/۰۵	۴۵۵/۱۸	فروردین	۲۹/۱۶	۴۳۱/۴۶
اردیبهشت	۲۴/۳۹	۴۵۴/۹۹	اردیبهشت	۱۹/۴۶	۴۷۹/۰۳
خرداد	۷/۱۹	۵۰۴/۳۲	خرداد	۹/۵۳	۴۹۷/۰۴
تیر	۳/۰۵	۵۱۴/۹۲	تیر	۱۰/۵۹	۴۹۳/۵۴
مرداد	۵/۶۵	۵۱۸/۸۷	مرداد	۱۲/۰۳	۵۰۲/۲۴
شهریور	۷/۱۷	۵۲۰/۲۷	شهریور	۵/۸۶	۵۲۳/۹۴
مهر	۱۱/۶۹	۴۸۳/۹۱	مهر	۱۰/۱۰	۴۹۱/۴۰۶
آبان	۲۸/۹۵	۵۳۲/۱۲	آبان	۱۵/۵۴	۴۱۸/۲۰
آذر	۱۶/۸۴	۳۶۴/۵۵	آذر	۱۸/۱۹	۳۶۴/۲۱
دی	۲۳/۹۸	۳۳۷/۶۳	دی	۱۳/۹۶	۳۸۱/۵۶
بهمن	۱۸/۲۹	۴۰۷/۰۳	بهمن	۱۳/۶۷	۴۲۱/۳۰
اسفند	۱۵/۳۴	۴۶۴/۸۴	اسفند	۱۵/۵۲	۴۶۱/۴۳

جدول (۲): مقادیر انرژی دریافتی از خورشید و ابرناکی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در شهر زنجان

زنجان					
سال ۱۳۹۷	ابرناکی (%)	انرژی (w/m^2)	سال ۱۳۹۸	ابرناکی (%)	انرژی (w/m^2)
فروردین	۲۹/۶۹	۴۲۴/۶۹	فروردین	۳۰/۸۸	۴۲۸/۵۲
اردیبهشت	۲۹/۵۷	۴۴۱/۶۷	اردیبهشت	۲۱/۴۰	۴۶۹/۷۰
خرداد	۱۸/۰۷	۴۹۳/۱۱	خرداد	۱۴/۹۶	۴۹۳/۱۱
تیر	۵/۲۸	۵۲۰/۷۴	تیر	۶/۱۵	۵۱۵/۵۲
مرداد	۱۴/۳۴	۵۲۱/۸۱	مرداد	۸/۳۱	۵۲۱/۸۱
شهریور	۳/۶۷	۵۳۴/۵۵	شهریور	۷/۹۵	۵۲۲/۵۹
مهر	۱۶/۴۸	۴۷۷/۶۸	مهر	۹/۹۱	۴۷۷/۶۸
آبان	۲۸/۲۸	۳۹۳/۸۲	آبان	۱۹/۷۳	۳۷۶/۱۳
آذر	۲۷/۸۴	۲۹۰/۹۱	آذر	۲۸/۲۴	۲۸۸/۷۸
دی	۲۵/۲۸	۳۱۲/۵۰	دی	۲۴/۵۶	۳۱۲/۵۰
بهمن	۲۲/۶۳	۳۴۸/۵۹	بهمن	۲۵/۹۶	۳۴۸/۳۵۹
اسفند	۲۲/۳۲	۴۱۲/۲۸	اسفند	۲۶/۷۱	۴۱۲/۲۸



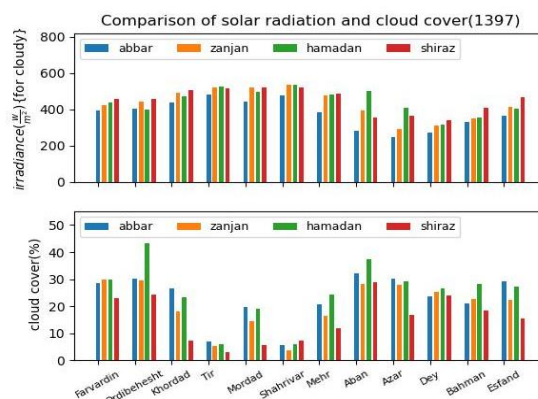
شکل (۶): مقایسه انرژی دریافتی با و بدون احتساب ابرناکی سال ۱۳۹۸

مطابق شکل‌های فوق متوسط درصد ابرناکی در طی ماه‌های مختلف و انرژی دریافتی پنل خورشیدی رابطه مستقیم دارند. هرچه میزان ابرناکی کمتر باشد، انرژی دریافتی از پنل بیشتر است. باین حال در برخی نمودارها تأثیرات سایر عوامل از جمله دمای هوا مشهود است. برای شهر شیراز به عنوان مثال، متوسط درصد ابرناکی ماه‌های مهر و شهریور تقریباً یکسان است؛ اما تفاوت انرژی دریافتی دو ماه حدود ۲۰٪ است که میزان قابل توجهی است. این امر به موجب خنکی هوای مهرماه نسبت به شهریورماه است. با توجه به نمودارها در شکل‌های (۵) و (۶)، در ماه فروردین ارتباط مستقیم و مشهودتری بین ابرناکی و انرژی دریافتی پنل در شهرهای مورد بررسی وجود دارد؛ زیرا در این ماه هوا در چهار شهر متعادل است و عامل تعیین‌کننده میزان ابر در آسمان است. برای مثال در شهر شیراز زمانی که میزان ابرناکی نزدیک صفر درصد است، انرژی دریافتی پنل بیشتر از ۵۰۰ وات بر متر مربع است.

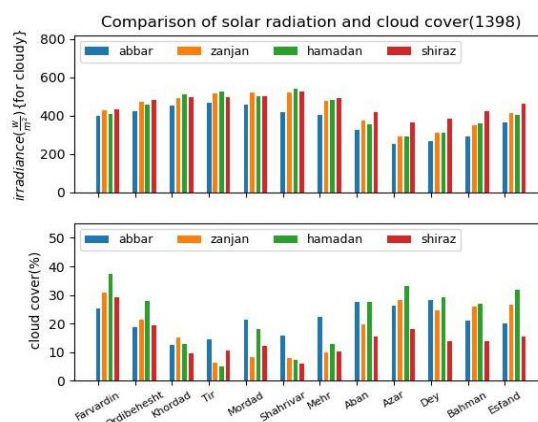
۲.۲. مقایسه داده‌های روزانه چهار ماه انتخابی ۱۳۹۸

پس از بررسی و مقایسه درصد ابرناکی و انرژی دریافتی در تمامی ماه‌های سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در هر چهار شهر که در بخش قبل بررسی شد، تغییرات درصد ابرناکی، سرعت باد، دما، انرژی دریافتی پنل و توان خروجی پنل برای چهار ماه (به عنوان نمونه یک ماه از هر فصل) سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ مورد تحلیل قرار گرفت که نتایج آن برای سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در جدول (۶) و (۷) آورده شده است. در ادامه نتایج روزانه تغییرات فوق برای چهار ماه اردیبهشت، مرداد، مهر و بهمن همراه نمودارهای مربوطه مقایسه شده‌اند تا تأثیر هریک از پارامترها مشخص گردد. در این کار سه ماه مرداد، مهر و بهمن اردیبهشت‌ماه مورد مقایسه قرار گرفته‌اند؛ بنابراین ابتدا تغییرات در ماه اردیبهشت انجام گرفته که نمودارهای آن در شکل (۷) آورده شده است. نتایج تحلیل این ماه در ادامه آورده شده است.

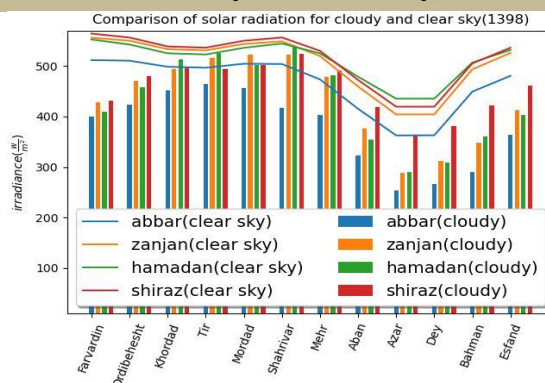
همچنین نمودار حاصل از داده‌های فوق در شکل (۳) تا (۶) نشان داده شده است. مطابق نمودارهای شکل (۳) و (۴) در ماه‌هایی از سال که ابرناکی در شهرهای مورد مطالعه تقریباً یکسان است، توان بیشتر، برای شهرهایی است که دمای هوای خنک‌تری دارند. برای مثال در شهریورماه سال ۱۳۹۷ میزان ابرناکی شهرها تقریباً یکسان است، اما در شهر زنجان و همدان توان دریافتی از پنل بیشتر از شیراز و آبر است؛ زیرا زنجان و همدان خنک‌ترند. تأثیرات ابرناکی بر میزان توان خروجی پنل و انرژی دریافتی پنل در شکل‌های (۵) و (۶) قابل مشاهده‌اند.



شکل (۳): مقایسه درصد ابرناکی و میزان انرژی دریافتی در شهرهای آبر، زنجان، همدان و شیراز سال ۱۳۹۷



شکل (۴): مقایسه درصد ابرناکی و میزان انرژی دریافتی در شهرهای آبر، زنجان، همدان و شیراز سال ۱۳۹۸



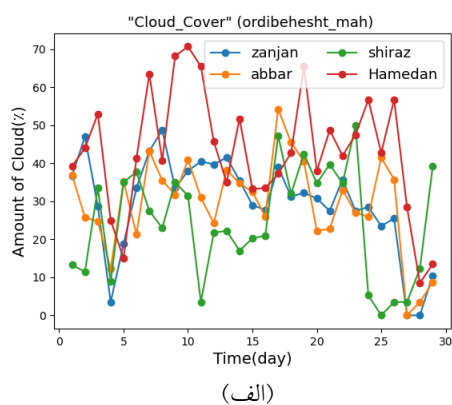
شکل (۵): مقایسه انرژی دریافتی با و بدون احتساب ابرناکی سال ۱۳۹۷

جدول (۷): دامنه تغییرات ابرناکی، سرعت باد، دما، انرژی و توان خروجی پنل در چهار ماه انتخاب طی سال ۱۳۹۸ برای شهرهای مورد مطالعه

ماه	ابرناکی (%)	دما (°C)	سرعت باد (m/s)	انرژی (w/m ²)	توان (w)
شیراز					
اردیبهشت	۰-۵۰	۱۷/۵-۲۷/۵	۱-۶	۳۵۰-۵۵۰	۸۰-۱۲۰
مرداد	۰-۴۰	۳۴-۳۶	۱-۲/۵	۳۸۰-۵۳۰	۹۰-۱۲۰
مهر	۰-۲۳	۱۹/۵-۲۹	۰/۴-۳/۶	۴۱۷-۵۵۵	۸۲-۱۲۳
بهمن	۰-۳۲	۶/۴-۱۵	۰/۴-۴/۶	۲۷۹-۴۸۵	۷۰-۱۰۸
همدان					
اردیبهشت	۱۵-۵۶	۹/۲-۱۷/۸	۱/۴-۶/۸	۲۹۵-۵۳۷	۶۸-۱۱۳
مرداد	۰-۵۰	۲۶/۲-۳۸	۱/۸-۵/۸	۴۲۴-۵۵۴	۹۷-۱۲۵
مهر	۰-۵۵	۱۲-۲۲/۸	۱/۲-۵/۲	۳۳۷-۵۴۵	۶۶-۱۲۳
بهمن	۰-۶۴	۰-۷	۰/۲-۵/۶	۱۶۳-۴۹۴	۳۷-۹۶
زنجان					
اردیبهشت	۰-۴۹	۹/۸-۱۹/۴	۱/۴-۳/۲	۳۵۴-۵۴۲	۸۳-۱۱۹
مرداد	۰-۲۹	۲۲-۳۲/۸۲	۱/۲-۴/۴	۳۹۲-۵۴۸	۹۰-۱۲۴
مهر	۰-۴۰	۱۲/۷-۲۲	۱-۴/۸	۳۲۴-۵۳۸	۷۴-۱۲۲
بهمن	۰-۵۲	۰-۸	۱/۴-۳/۶	۲۳۱-۴۹۹	۵۲-۱۰۷
آبیر					
اردیبهشت	۰-۵۴	۱۲/۰۸-۲۵	۰/۸-۵/۲	۳۵۰-۵۰۵	۷۷-۱۱۳
مرداد	۰-۳۵	۲۵/۲-۳۳	۲-۷	۳۶۶-۵۰۶	۸۲-۱۱۶
مهر	۰-۳۴	۱۶-۲۷	۱-۵/۸	۲۶۸-۴۹۰	۶۱-۱۱۳
بهمن	۰-۴۰	۲/۴-۱۳	۰/۸-۲/۶	۲۱۳-۴۴۱	۴۹-۱۰۰

جدول (۶): دامنه تغییرات ابرناکی، سرعت باد، دما، انرژی و توان خروجی پنل در چهار ماه انتخابی طی سال ۱۳۹۷ برای شهرهای مورد مطالعه

ماه	ابرناکی (%)	دما (°C)	سرعت باد (m/s)	انرژی (w/m ²)	توان (w)
شیراز					
اردیبهشت	۰-۴۷	۱۵-۲۵	۰/۲-۳/۲	۳۷۵-۵۵۰	۸۷-۱۲۷
مرداد	۰-۳۲	۳۲-۳۶	۰-۴/۲	۳۵۵-۵۰۰	۹۰-۱۲۷
مهر	۰-۲۵	۲۳-۳۰	۰-۳	۳۹۵-۵۴۵	۹۸-۱۲۷
بهمن	۰-۴۲	۱/۵-۱۴/۵	۰-۵	۳۰۰-۵۰۰	۷۰-۱۱۵
همدان					
اردیبهشت	۵-۵۲	۴-۲۲	۲/۴-۶	۳۵۰-۵۵۰	۷۵-۱۲۲
مرداد	۰-۵۲	۲۶-۳۲	۱/۸-۸	۴۰۵-۵۰۵	۹۲-۱۲۸
مهر	۰-۶۰	-۲۴/۵ ۱۲/۵	۱/۱-۵/۹	۲۶۰-۵۵۰	۶۰-۱۲۵
بهمن	۰-۵۹	-۱۰-۹	۱-۸	۲۲۵-۴۹۰	۵۰-۱۰۹
زنجان					
اردیبهشت	۰-۵۰	۱-۲۰	۱/۲-۴	۳۵۰-۵۴۰	۸۰-۱۲۰
مرداد	۰-۲۵	۲۴-۳۱	۱-۳/۱	۳۹۵-۵۵۰	۸۹-۱۲۳
مهر	۰-۴۰	۱۳-۲۵/۵	۱/۱-۳	۳۴۰-۵۳۸	۸۹-۱۲۲
بهمن	۰-۴۸	-۱۰-۹	۱/۲-۴/۸	۲۴۹-۴۵۲	۵۳-۱۰۳
آبیر					
اردیبهشت	۳-۶۰	۵-۲۹	۰/۸-۳/۵	۳۰۰-۵۱۰	۷۰-۱۱۰
مرداد	۰-۳۳	۲۳-۳۶	۲-۸/۴	۳۲۵-۵۰۰	۸۲-۱۱۲
مهر	۰-۴۰	۱۹-۲۸	۰/۸-۴/۵	۳۰۰-۴۹۰	۷۰-۱۱۲
بهمن	۰-۵۲	۰-۱۷	۰/۱-۷/۱	۱۶۰-۴۱۰	۴۱-۹۸

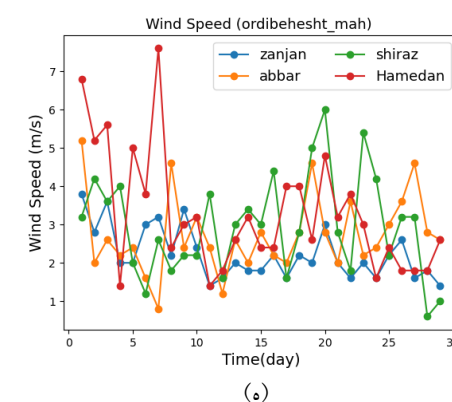
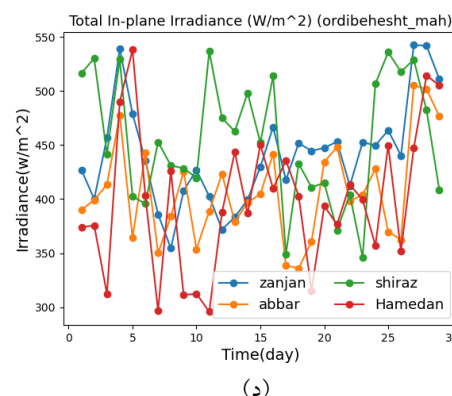
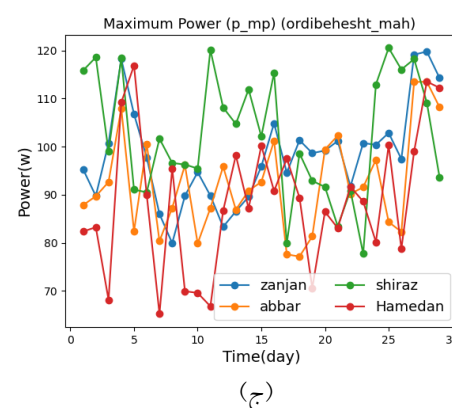
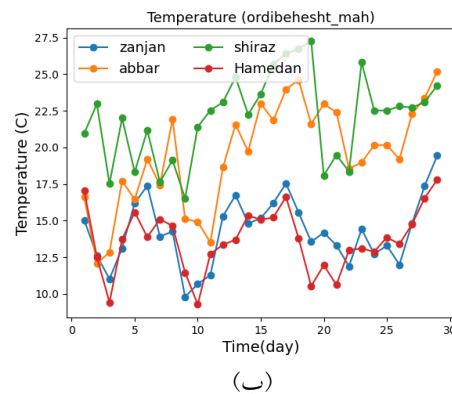


شهر شیراز دارای بیشترین تابش دریافتی و توان پنل تا نیمه اردیبهشت ماه بوده است. از نیمه ماه به بعد به دلیل افزایش پوشش ابری و دما و همچنین کاهش سرعت باد این شهر، تابش و توان پنل در شهر شیراز کمتر می شود. به طوری که از نیمه دوم ماه، شهر زنجان بالاترین تابش و توان پنل را داشته و بعد همدان و شیراز قرار دارند. البته کمترین تابش و توان مربوط به شهر آبیر است که هم دارای سرعت باد کم و هم دارای بالاترین دما نسبت به شهرهای دیگر است. روند منظم و یکسان برای همه شهرها در تغییرات تابش و توان پنل دیده نمی شود.

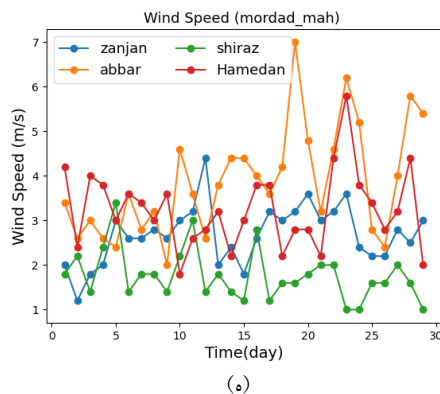
۳.۲. مقایسه داده‌های روزانه اردیبهشت‌ماه و مردادماه

نتایج تحلیل داده‌های مردادماه در شکل (۸) آورده شده است. با توجه به شکل‌های (۷) و (۸) در شهر شیراز، مقایسه توان دریافتی از پنل برای دو ماه اردیبهشت و مرداد نشان می‌دهد که در اردیبهشت‌ماه ابرناکی حدود ۱۵٪ بیشتر از مردادماه است و انتظار می‌رود توان دریافتی کمتر از مردادماه باشد، اما متوسط دمای هوا در مردادماه تقریباً ۱۶٪ بیشتر از اردیبهشت‌ماه است؛ به همین دلیل بازدهی پنل فتوولتائیک کاهش یافته و موجب گردیده است به‌رغم کم بودن درصد ابرناکی مردادماه، توان دریافتی از پنل برای دو ماه اردیبهشت و مرداد تقریباً یکسان باشد.

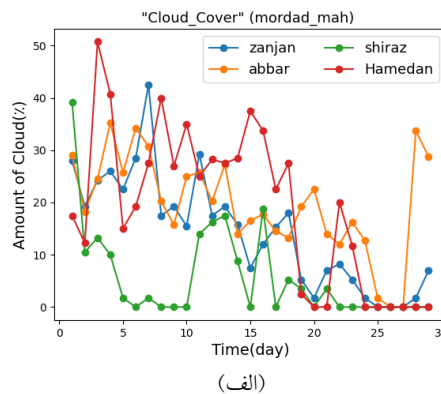
در شهر همدان درصد ابرناکی اردیبهشت‌ماه و مردادماه تقریباً یکسان است، اما دمای هوای مردادماه بیشتر از اردیبهشت‌ماه است. باین‌حال، توان دریافتی از پنل برای مردادماه بیشتر از اردیبهشت‌ماه است. این امر به دلیل سرعت باد بیشتر مردادماه به نسبت اردیبهشت‌ماه است که موجب خنک شدن پنل و افزایش بازدهی آن شده است. در شهر زنجان، اردیبهشت‌ماه حدود ۲۵٪ ابرناک‌تر از مردادماه است. با وجود این، توان دریافتی از پنل در مردادماه بیشتر از اردیبهشت‌ماه است. این امر ناشی از آن است که گرچه دمای هوای مردادماه بیشتر از اردیبهشت‌ماه است، دمای هوا آن‌قدر بالا نیست که بر توان خروجی پنل تأثیر محسوسی بگذارد؛ در نتیجه به دلیل درصد ابرناکی کمتر مردادماه، توان خروجی پنل بیشتر است. در شهر آبر، دمای هوای مردادماه بیشتر از اردیبهشت‌ماه است؛ اما اردیبهشت‌ماه ۳۰٪ بیشتر ابرناکی است و سرعت باد در مردادماه بیشتر از اردیبهشت‌ماه است؛ بنابراین توان خروجی مرداد بیشتر است. مقایسه بین ماه‌های مهر و بهمن با اردیبهشت‌ماه نیز تقریباً همین نتایج را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که در دو ماه مرداد و مهر توان خروجی پنل حدود ۱۰ درصد بیشتر از ماه اردیبهشت و در بهمن‌ماه همین مقدار توان کمتر از ماه اردیبهشت است. از طرف دیگر، اگر توان دریافتی از پنل در چهار شهر شیراز، همدان، زنجان و آبر را مقایسه کنیم، درمی‌یابیم که میزان توان دریافتی از پنل در هر چهار شهر تقریباً یکسان است و کمتر از ۱۰ درصد اختلاف دارند؛ در نتیجه، باینکه چهار شهر شیراز، همدان، زنجان و آبر در اقلیم‌های متفاوتی واقع شده‌اند، توان در هر چهار منطقه تقریباً یکسان است؛ در نتیجه هر چهار شهر می‌توانند مناطق مناسبی برای نصب پنل فتوولتائیک باشند.



شکل ۷ (الف): پوشش ابر، (ب): تابش دریافتی پنل، (ج): توان خروجی پنل، (د): سرعت باد، (ه): دمای هوا اردیبهشت‌ماه، چهار شهر شیراز، زنجان، همدان و آبر ۹۷



(ه)

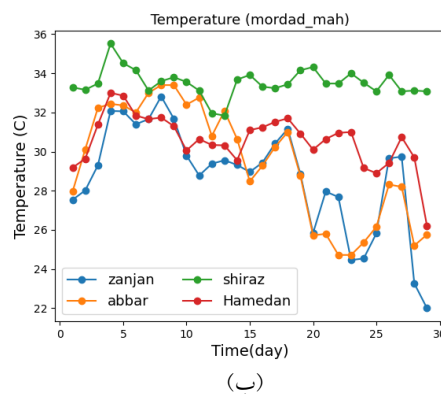


(الف)

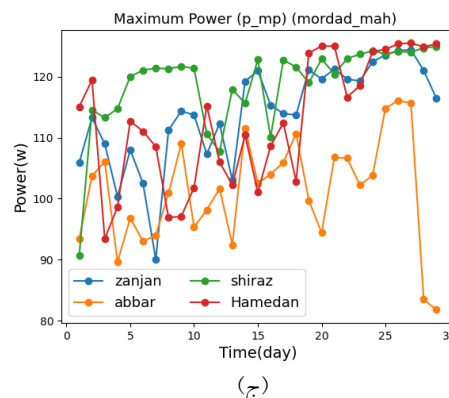
شکل ۸ (الف): پوشش ابر، (ب): تابش دریافتی پنل، (ج): توان خروجی پنل، (د): سرعت باد، (ه): دمای هوای مردادماه چهار شهر شیراز، زنجان، همدان و آبر سال ۱۳۹۷

۴.۲. مقایسه چهار پارامتر اصلی روزانه اردیبهشت ماه و مردادماه

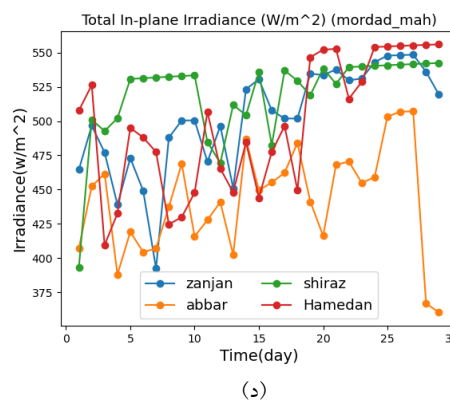
در این بخش، چهار پارامتر اصلی پنل خورشیدی، V_{oc} ، I_{sc} و FF و بازده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند که نتایج عددی آن‌ها در جدول‌های (۸) و (۹) برای سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ آورده شده‌اند. برای نمونه، نمودار تغییرات پارامترهای فوق، برای مقایسه بین ماه‌های اردیبهشت و مرداد سال ۱۳۹۷ در شکل‌های (۹) و (۱۰) نشان داده شده‌اند. با ملاحظه نمودار شکل‌های فوق در ماه اردیبهشت، شیراز از نظر مقادیر I_{sc} و V_{oc} دارای مقادیر بیشتر و همدان دارای مقادیر نسبتاً کمتری است. همچنین از نظر مقادیر FF دارای کمترین مقادیر نسبت به سه شهر دیگر است. روند تغییرات این پارامتر برای سه شهر زنجان، آبر و همدان مشابه و نزدیک هم است. در ماه مرداد نیز نتیجه مشابه بوده با این تفاوت که کمترین مقادیرها به جای همدان شهر آبر است. بنابراین با توجه به تأثیر سه پارامتر فوق بر روی بازده می‌توان چهار شهر را به ترتیب شیراز، زنجان، همدان و آبر رتبه‌بندی کرد. این موضوع با ملاحظه شکل (۹-د) و (۱۰-د) مربوط به بازده تقریباً تأیید می‌گردد. با مقایسه ماه اردیبهشت با ماه مرداد با توجه به شکل‌های (۹) و (۱۰) دیده می‌شود که دامنه تغییرات دو پارامتر I_{sc} و V_{oc} در مردادماه نسبت به ماه اردیبهشت مقداری بیشتر شده و دامنه تغییرات FF تقریباً تغییری نکرده است. این امر سبب شده تا دامنه تغییرات بازده نیز در ماه مرداد نسبت به ماه اردیبهشت به مقادیر نسبتاً بیشتری جابه‌جا گردد. البته این مورد را می‌توان در جدول‌های (۸) و (۹) در ستون بازده با مقایسه بازده اردیبهشت و مرداد ملاحظه نمود. همان‌طور که دیده می‌شود، بازده برای ماه مرداد در هر چهار شهر نسبت به ماه اردیبهشت بیشتر است.



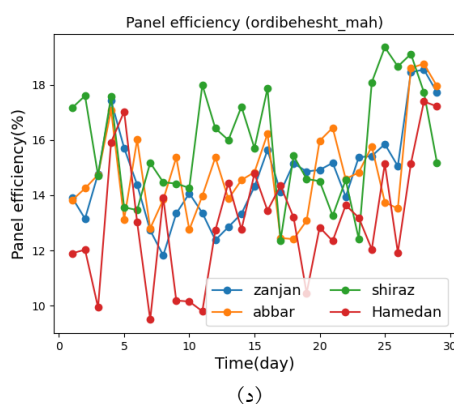
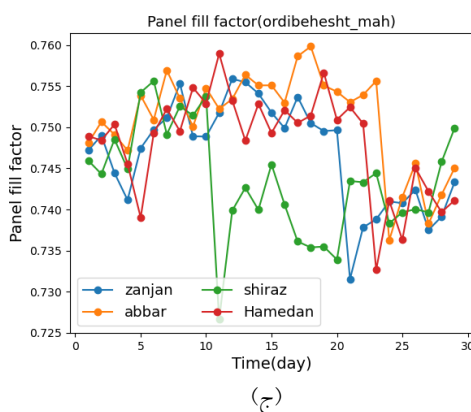
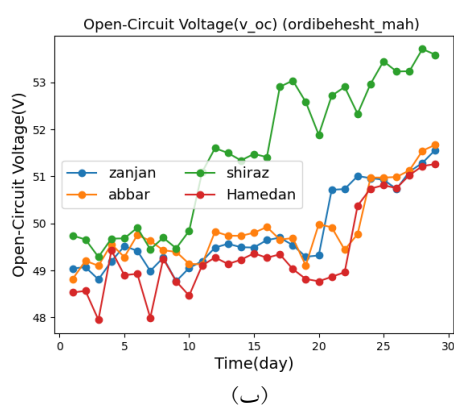
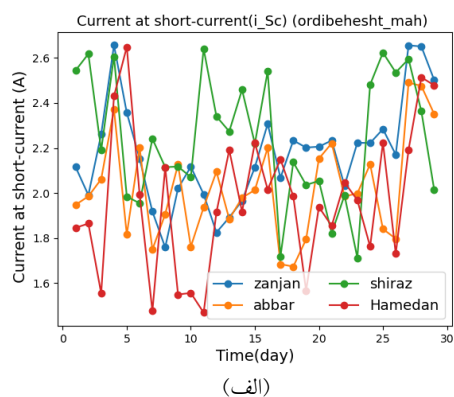
(ب)



(ج)



(د)



شکل ۹ (الف): i_{sc} , (ب): v_{oc} , (ج): FF, (د): بازده، اردیبهشت‌ماه

چهار شهر شیراز، زنجان، همدان و آبر سال ۱۳۹۷

جدول (۸): مقادیر i_{sc} , v_{oc} , FF و بازده پنل در چهار ماه انتخابی

سال ۱۳۹۷

شهر	ماه	i_{sc}	v_{oc}	FF	بازده
شیراز	اردیبهشت	۲/۰۱	۴۸/۳۹	۰/۷۴	۱۵/۸۲
	مرداد	۲/۰۹	۵۱/۵۵	۰/۷۵	۱۸/۵۱
	مهر	۲/۴۲	۵۱/۹۸	۰/۷۵	۱۵/۵۸
	بهمن	۲/۴۱	۴۷/۷۰	۰/۷۵	۱۲/۹۲
همدان	اردیبهشت	۲/۰۳	۴۸/۸۲	۰/۷۵	۱۳/۱۲
	مرداد	۲/۱۸	۵۱/۶۷	۰/۷۵	۱۶/۹۸
	مهر	۲/۳۱	۵۱/۷۶	۰/۷۵	۱۴/۰۲
	بهمن	۲/۱۶	۴۹/۰۹	۰/۷۵	۱۰/۹۱
زنجان	اردیبهشت	۲/۱۵	۴۸/۴۴	۰/۷۴	۱۴/۷۴
	مرداد	۲/۲۸	۵۱/۵۷	۰/۷۵	۱۷/۴۰
	مهر	۲/۵۷	۵۲/۰۲	۰/۷۵	۱۴/۴۲
	بهمن	۲/۶۹	۴۹/۶۹	۰/۷۴	۱۱/۵۲
آبر	اردیبهشت	۲/۱۳	۴۸/۶۸	۰/۷۴	۱۴/۸۵
	مرداد	۲/۴۰	۵۱/۶۴	۰/۷۵	۱۶/۶۲
	مهر	۲/۵۶	۵۲/۰۱	۰/۷۵	۱۳/۵۲
	بهمن	۲/۶۱	۴۹/۷۰	۰/۷۴	۱۱/۶۹

جدول (۹): مقادیر i_{sc} , v_{oc} , FF و بازده پنل در چهار ماه انتخابی

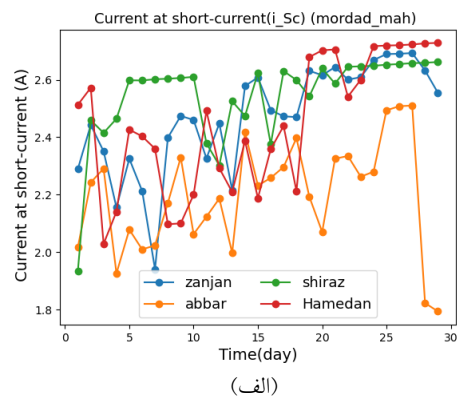
سال ۱۳۹۸

شهر	ماه	i_{sc}	v_{oc}	FF	بازده
شیراز	اردیبهشت	۱/۷۹	۴۲/۵۲	۰/۷۵	۱۶/۶۷
	مرداد	۱/۲۲	۳۶/۴۷	۰/۷۵	۱۷/۹۵
	مهر	۱/۳۷	۳۵/۳۲	۰/۷۵	۱۵/۸۵
	بهمن	۱/۸۵	۴۱/۹۰	۰/۷۴	۱۳/۳۶
همدان	اردیبهشت	۱/۹۴	۴۲/۷۲	۰/۷۵	۱۴/۹۷
	مرداد	۱/۳۳	۳۷/۰۶	۰/۷۴	۱۷/۱۲
	مهر	۱/۳۲	۳۵/۴۰	۰/۷۵	۱۵/۰۲
	بهمن	۱/۷۸	۴۱/۸۷	۰/۷۵	۱۰/۹۱
زنجان	اردیبهشت	۲/۰۷	۴۲/۸۰	۰/۷۴	۱۵/۶۳
	مرداد	۱/۴۲	۳۶/۸۰	۰/۷۴	۱۸/۰۷
	مهر	۱/۵۴	۳۴/۸۳	۰/۷۴	۱۵/۲۴
	بهمن	۲/۰۹	۴۱/۱۶	۰/۷۳	۱۰/۷۹
آبر	اردیبهشت	۲/۲۲	۴۳/۱۳	۰/۷۴	۱۵/۵۰
	مرداد	۱/۵۱	۳۶/۶۷	۰/۷۴	۱۷/۱۴
	مهر	۱/۶۲	۳۴/۹۳	۰/۷۴	۱۴/۱۷
	بهمن	۲/۰۳	۴۱/۶۸	۰/۷۴	۱۰/۲۰

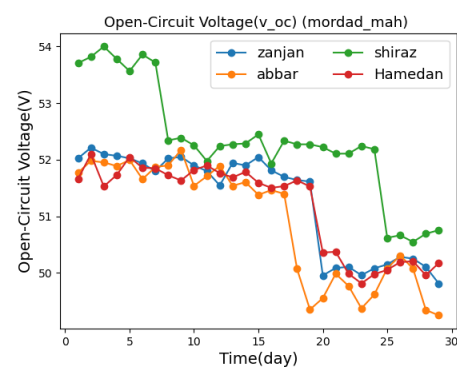
۴. نتیجه گیری

اکثر سرمایه‌گذاران و مردم بر این باورند که محیط‌های بسیار گرم و غیرکوهستانی همانند یزد، کرمان یا خوزستان بهترین مکان برای نصب پنل‌های و استفاده از انرژی الکتریکی است. متأسفانه هنوز به این آگاهی نرسیده‌اند که پنل‌های خورشیدی از فلزات و مواد ظرفیت مثل سیلیکون که به دما حساس هستند تشکیل شده است. وقتی دمای پنل بالا برود بازدهی آن فوق‌العاده پایین می‌آید. در مناطق گرمسیر دمای پنل به بالای ۶۰ درجه می‌رسد. وقتی دمای پنل به این حد رسید، بازده پنل و تولید برق آن ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. ما در این تحقیق دیدیم که محیط‌های خنک و کوهستانی در صورتی که ابر نباشد بازدهی بیشتر از محیط‌های گرم است و در واقع در روزهایی که هوا صاف است، کسری تولید انرژی روزهای ابری جبران می‌شود. مطابق جدول (۳) اردیبهشت‌ماه و مردادماه شیراز و همدان نشان‌دهنده افزایش توان پنل در شهر همدان در روزهای گرم مرداد است که در همین ماه از میزان توان خروجی شیراز به دلیل گرمای هوا کاسته شده است. پس باید دنبال محیط‌هایی باشیم که دمای آن محیط‌ها پایین بوده یا بادخیز باشد تا دمای پنل پایین بیاید و بازدهی آن بالا برود. از دیگر مشکلاتی که در زمینه تولید انرژی از پنل داریم، این است که اکثر مردم و سرمایه‌گذاران بر این باورند که در هوای ابری تابش خورشید به صفر می‌رسد اما مطابق این تحقیق نشان داده شده است که اگر آسمان صردرصد ابری باشد، ۶۰٪ انرژی خورشید به پنل می‌رسد. برای مثال شهر همدان در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۷ که ابرناکی بالای ۶۰ بوده، درصد چشمگیری انرژی خورشیدی رسیده به سطح پنل داشته است، و انرژی دریافتی پنل بیشتر از ۱۶۳ وات بر متر مربع است (جدول ۶). نکته جالب این است که تمام شهرهای ایران به‌ندرت روز صردرصد ابری را تجربه می‌کنند.

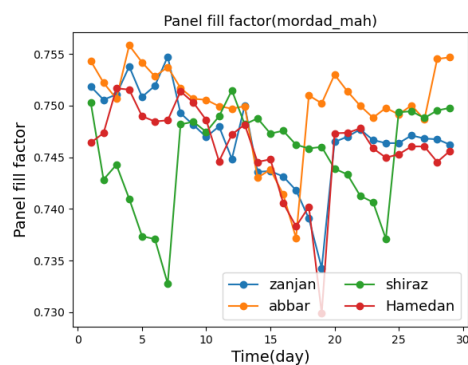
در طول سال با توجه به اقلیم‌های متفاوت که در نظر گرفتیم، به‌طور میانگین کمتر از ۵۰٪ ابر مشاهده می‌گردد؛ در نتیجه ۶۰٪ انرژی دریافتی که برای روزهای صددردصد ابری می‌تواند باشد، برای ۵۰٪ ابرناکی انرژی دریافتی پنل به بالای ۸۰٪ می‌رسد که مقدار درخور توجهی است. پس با این تفاسیر می‌توان نتیجه گرفت که شهرهای با اقلیم‌های مختلف با اختلاف تقریباً ۱۰٪ قابلیت نصب پنل را دارند. حتی مناطقی که کوهستانی یا ابرناکی باشند، انرژی دریافتی مناسب است. در عین حال با یک امتیازبندی برای هرکدام از پنج متغیر تابش کل دریافتی پنل (بالا مثبت و پایین منفی)، توان پنل (بالا مثبت و پایین منفی)، باد (بالا مثبت و پایین منفی)، ابرناکی (بالا منفی و پایین مثبت) و دما (بالا منفی و پایین مثبت)، می‌توان از نظر مناسب بودن برای بهره‌برداری از پنل‌های خورشیدی برای سال ۱۳۹۷، چهار شهر مورد نظر را به ترتیب زنجان، همدان، شیراز، آبر، و برای سال ۱۳۹۸، به ترتیب شیراز، زنجان، همدان و آبر اولویت‌بندی



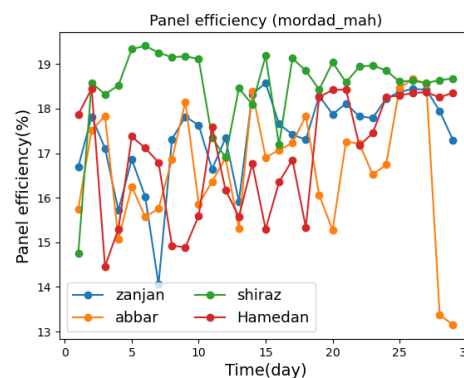
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۹ (الف): I_{sc} ، (ب): V_{oc} ، (ج): FF، (د): بازده، مردادماه چهار شهر شیراز، زنجان، همدان و آبر سال ۱۳۹۷

سپاسگزاری

این مقاله نتیجه گزارش طرح تحقیقاتی است که با حمایت مالی و مشاوره‌ای بنیاد علم ایران (صندوق حمایت از پژوهشگران) انجام شده است که بدین وسیله از بنیاد محترم قدردانی می‌گردد. همچنین از اداره کل هواشناسی زنجان که در تهیه داده‌های هواشناسی مساعدت نمودند، سپاسگزاری می‌گردد.

نمود. همچنین برای متوسط دو سال فوق اولویت‌بندی به صورت زنجان، شیراز، همدان و آبر خواهد بود.

از نظر انرژی کل سالانه طبق جدول (۵)، چهار شهر فوق به ترتیب شیراز، همدان، زنجان و آبر دارای مرتبه هستند. در نهایت با توجه به بخش ۴.۲، از نظر بازدهی پنل، رتبه‌بندی آن‌ها عبارت‌اند از: شیراز، زنجان، آبر و همدان. بنابراین با جمع‌بندی این سه رتبه‌بندی می‌توان اولویت‌بندی نهایی را به صورت شیراز، زنجان، همدان و آبر ارائه کرد.

مراجع

- [1] Bahramloei, S., "Study of solar energy on Zanjan province and applied case for design of solar water heater", MSc Thesis, Supervisors: Abedini, Y. and Asareh, H., University of Zanjan, 2015.
- [2] Green, M. A., "Third generation photovoltaics: solar cells for 2020 and beyond", Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, Vol. 14, pp. 65-70, 2002, [https://doi.org/10.1016/S1386-9477\(02\)00361-2](https://doi.org/10.1016/S1386-9477(02)00361-2).
- [3] Günes, S., Neugebauer, H., Sariciftci, N. S., "Conjugated polymer-based organic solar cells", Chemical Reviews, Vol. 107, pp. 1324-1338, 2007, <https://doi.org/10.1021/cr050149z>.
- [4] Hosseiny M. E., "Estimating the maximum power of solar energy on tilted surfaces by atmospheric parameters in Iran", MSc Thesis, Institute of Abdorahman Soofi Razi, Zanjan, Iran, 2016.
- [5] Tonui, J. K., Tripanagnostopoulos, Y., "Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements", Solar energy, Vol. 81, No. 4, pp. 498-511, 2007, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.08.002>.
- [6] Dabaghzadeh, N., Eslami, M., "Three dimensional transient numerical modeling of temperature distribution and output power in photovoltaic module", Energy Engineering and Management, Vol. 11, No. 2, PP. 106-115, 2021, <https://doi.org/10.22052/11.2.5>.
- [7] Armstrong, S., Hurely, W.G., "A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions", Applied Thermal Engineering, Vol. 30, No. 11, PP. 1488-1495, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.03.012>.
- [8] Midya, P. e. et al., "Dynamic maximum power point tracker for photovoltaic applications". Power Electronics Specialists Conference, 1996, <https://doi.org/10.1109/PESC.1996.548811>.
- [9] Hussein, K.H. et al., "Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", IEE Proceedings-Generation Transmission and Distribution, 142.1, 59-64, 1995.
- [10] Tina, G.M., Abate, R., "Experimental verification of thermal behaviour of photovoltaic modules", Electrotechnical Conference, The 14th IEEE Mediterranean, 2008, <https://doi.org/10.1109/MELCON.2008.4618497>.
- [11] Matsukawa, H., Kurokawa, K., "Temperature fluctuation analysis of photovoltaic modules at short time interval", Photovoltaic Specialists Conference, 31st IEEE, 1816-1819, 2005, <https://doi.org/10.1109/PVSC.2005.1488505>.
- [12] Crabtree, G.W., Lewis, N. S., "Solar energy conversion", Physics Today, Vol. 60, pp. 37-42, 2007, <https://doi.org/10.1063/1.2718755>.
- [13] Su, D.E., "Dynamic performance analysis of photovoltaic-thermal solar collector with dual channels for different fluids", Energy Conversion and Management, Vol. 120, pp. 13-24, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.095>.
- [14] Sabziparvar, A., Shetaee, H., "Estimation of global solar radiation in arid and semi-arid climates of East and West Iran", Energy, Vol. 32, pp. 649-655, 2007, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.05.005>.
- [15] Ashjaee, M., Roomina, M.R., Ghafouri-Azar, R., "Estimating direct, diffuse global solar radiation for various cities in Iran by two", 1993, [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(93\)90066-W](https://doi.org/10.1016/0038-092X(93)90066-W).
- [16] khaledi, P., Modeling solar cells by the drift-diffusion equations in the silicon and quantum dot structures, Msc Thesis, Azarbaijan Shahid Madani University, 2016.
- [17] Matthew, J.R., Clifford, H., Joshua S.S., "Global horizontal irradiance clear sky models: implementation and analysis", Sandia Reports, Sand 2012-2389, 2012, <https://doi.org/10.2172/1039404>.
- [18] Amori, K.E., Abd-AlRaheem, M.A., "Field study of various air based photovoltaic/thermal hybrid solar collector", Renewable Energy, Vol. 63, pp. 402-414, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.047>.
- [19] Ineichen, P., Perez R., "A new air mass independent formulation for the Linke turbidity coefficient", Solar Energy, Vol. 73, pp. 151-157, 2002, [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(02\)00045-2](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(02)00045-2).
- [20] Slimani, M. E. A. et al., "A detailed thermal-electrical model of three photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid air collectors and photovoltaic (PV) module: comparative study under Algiers climatic", Energy Conversion and Management, Vol. 133, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.10.066>.
- [21] Kasten, F., "A simple parameterization of the pyrheliometric formula for determining the linke turbidity factor", Meteorologische Rundschau, Vol. 33, 1980.
- [22] Salehi, M. et al, "Effects of temperature and wind on the photovoltaic energy receives from the Sun in Zanjan province using PVLib python", The 4th Reg. Conf. on Climate Change and Global Warming, 2018.
- [23] King D.L., Kratochvil, J.A., "Photovoltaic array performance model", Sandia National Laboratories, SAND2004-3535, 2004, <https://doi.org/10.2172/919131>.
- [24] King, B. H. et al., "Procedure to determine coefficients for the Sandia Array Performance Model (SAPM)", SAND2016-5284, 2016, <https://doi.org/10.2172/1256510>.