



Investigation of the Effect of Solar Panel Type on the Design and Operation of a Grid-Connected Photovoltaic System Using PVsyst Software

Sana Sadeghi¹

¹ Faculty Member, Department of Electrical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 06.21.2022

Revised: 11.06.2022

Accepted: 01.03.2023

Keyword:

Solar power plant

Angle of radiation

PV system

Solar panel

Efficiency

PVsyst

***Corresponding Author:**

Sana Sadeghi

Email: s.sadeghi@tvu.ac.ir

ABSTRACT

Nowadays, due to the increase in the amount of environmental pollutants and the electricity production price of energy carriers, the use of renewable energy sources for electricity production is increasing. Among renewable energy systems, photovoltaic systems, due to their stability, long lifetime, and low maintenance costs, are very popular. Utilization of these systems requires an accurate evaluation and understanding of various aspects of their performance, and ignoring this important issue is not only ineffective, but it may also lead to irrecoverable economic costs. To prevent this problem, several simulator applications are available for pre-construction testing of power generation units. In this paper, in order to simulate and assess the possibility of installing a photovoltaic production unit in the study environment, PVsyst application and accurate meteorological data such as annual radiation rate and environmental temperature were used. Since solar arrays are installed in both movable and fixed forms, in this paper, the performance of both is examined separately and the model that had lower losses in practice and consequently higher efficiency is introduced. The simulation results showed that in the study environment, using the fixed type of solar panel for generating electrical energy is more appropriate than using the mobile type.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Nowadays, due to the increase in the amount of environmental pollutants and the electricity production price of energy carriers, the use of renewable energy sources for electricity production is increasing. Among renewable energy systems, photovoltaic systems, due to their stability, long lifetime, and low maintenance costs, are very popular. Utilization of these systems requires an accurate evaluation and understanding of various aspects of their performance, and ignoring this important issue is not only ineffective, but might also lead to irrecoverable economic costs. To prevent this problem, several simulator applications are available for pre-construction testing of power generation units. In the present research, in order to simulate and assess the possibility of installing a photovoltaic production unit in the study environment, PVsyst application and accurate meteorological data such as annual radiation rate and environmental temperature were used. Since solar arrays are installed in both movable and fixed forms, in this study, the performance of both was examined separately and the model that had lower losses in practice and consequently higher efficiency was introduced. The simulation results showed that in the study environment, using the fixed type of solar panel for generating electrical energy is more appropriate than using the mobile type.

Methodology

In the present research, first, the geographical location of the meteorological data of the region was determined. Then, by using the PVsyst 7.2 software, the installation angle of photovoltaic panels was determined. Next, the type of inverter was considered, selecting the inverter based on nominal power in addition to other required equipment. The arrangement of arrays with respect to the nominal power of the inverter was determined. Finally, after finishing the adjustment of system inputs, the simulation was run. After initial simulators for fixed-type panels (FTP), all of the above steps were repeated for Tracking Tilted Panel (TTP) as well as Seasonal Tilt Adjustment Panel (STAP). Finally, based on the simulation results, type of panel most appropriate for use was determined. The mentioned steps for selecting fixed panels are shown in Figure 1.

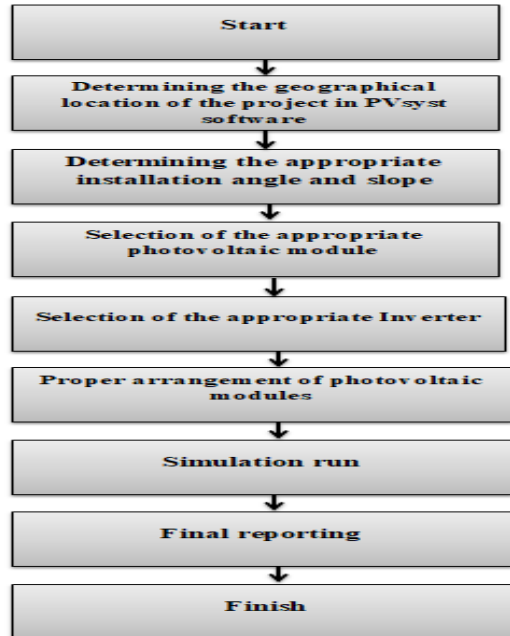


Figure 1. Design steps of the FTP panel

Pvsyst software

Pvsyst is considered one of the standard simulation software in the field of designing photovoltaic systems and has been used by most engineers globally as it provides quick and useful results. This software simulates using a detailed and explicit study on several parameters that affect the efficiency of a system, including the amount of solar radiation, ambient temperature, wind speed, and physical parameters of PV panels. In addition, it has the ability to perform periodic estimates and generate reports. The accuracy of Pvsyst software is very high and the results are very close to the real values.

Geographic coordinates and weather conditions of the case study

The case study of this research was Payam Noor University, Hamadan Center, located at the latitude and longitude coordinates of 48.52°N and 34.83°E , respectively. Using the Pvsyst software, the meteorological data of this area including the amount of solar radiation, air temperature, wind speed, and other items, was extracted and is listed in Table 1.

Table 1. Meteorological data of the case study

Month	Gh (Kwh/m ²)	Gd (Kwh/m ²)	Average temperature (°C)	Average wind speed (m/s)
January	88.1	31.7	-2	1.7
February	105.1	35.8	1.3	2.5
March	142.8	58.4	7.7	3.3
April	173.9	70.0	12.0	3.2
May	216.6	75.8	17.0	2.6

Month	Gh (Kwh/m ²)	Gd (Kwh/m ²)	Average temperature (°C)	Average wind speed (m/s)
June	236.4	64.3	22.3	2
July	228.6	62.8	26.3	2.1
August	208.3	66.4	25.5	2
September	179.3	46.3	20.1	1.8
October	134.1	41.6	14.3	1.9
November	93.0	29.9	6.3	1.5
December	77.8	28.9	1.4	1.5
Year	1884.0	611.9	12.7	2.2

Where Gh and Gd in Table 1 denote global horizontal radiation and horizontal scattered radiation, respectively.

Results and discussion

Summary of the simulation results in this paper are presented in Table 2.

Table 2. Summary of the simulation

Panel type	E_Grid (MWh)	Losses (MWh)	Efficiency%	PR Ratio%
FTP	54.0	8.9	85.85	84.0
TTP	69.7	13.4	83.87	83.2
STAP	56.1	9.6	85.38	83.7

By comparing the PR % results of Table 2, it can be concluded that all three combinations had acceptable performance and no significant difference was observed in selecting each of the proposed methods. However, if the basis of decision-making is efficiency and losses, selecting the FTP method is the first priority for implementation, followed by the STAP and TTP methods.

Conclusion

In the current study, the feasibility of the installation of a photovoltaic unit with an emphasis on the type of panels was investigated. The simulation results showed that by considering the installation type, the efficiency of the system is effective. Three types of installing solar panels were investigated including constant Fixed Tilted Panels, Tracking Tilted panels, and Seasonal Tilt Adjustment panels. After applying the weather conditions of the study area to supply the 30 kw grid connected to the grid, the efficiency of each proposed system was calculated separately to supply the desired load. The results of the simulation showed that if the selection criterion is the appropriate method of performance coefficient, there is no significant difference in the proposed methods. However, if the system efficiency and losses are more important factors in selecting the appropriate system, the use of fixed panel system is the first priority, followed by Seasonal Tilt Adjustment panel and Tracking Tilted panels. In addition, taking into consideration that the use of movable panels due to the existence of moving parts has less life span than fixed plates, they need to be replaced every few years which lead to additional costs. Thus, the first choice of fixed panels is recommended.



شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰

شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶



بررسی اثر نوع پنل خورشیدی در طراحی و عملکرد یک سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه با کمک نرم‌افزار PVsyst

ثنا صادقی*^۱

۱- عضو هیات علمی، گروه مهندسی برق، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

چکیده

امروزه با توجه به افزایش میزان آلاینده‌های زیست محیطی و نیز افزایش قیمت حامل‌های انرژی در تولید انرژی الکتریکی، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر جهت تولید انرژی الکتریکی در حال افزایش می‌باشد. در میان سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های فتوولتائیک به دلیل پایداری، طول عمر بالا و نیز هزینه‌های سرویس و نگهداری پایین، از محبوبیت گسترده‌ای برخوردار هستند. استفاده از این سیستم‌ها مستلزم ارزیابی دقیق و درک جنبه‌های مختلف عملکرد آنها می‌باشد و عدم توجه به این مهم نه تنها مفید واقع نخواهد شد، بلکه ممکن است منجر به ایجاد هزینه‌های جبران ناپذیر اقتصادی نیز گردد. جهت پیشگیری از این مشکل، نرم‌افزارهای شبیه ساز متعددی برای بررسی پیش از احداث واحدهای تولید انرژی الکتریکی در دسترس می‌باشند. در این مقاله به منظور شبیه‌سازی و سنجش امکان نصب یک واحد تولیدی فتوولتائیک در محیط مورد بررسی، از نرم‌افزار PVsyst و داده‌های دقیق هواشناسی از جمله میزان تابش سالیانه و دمای محیط استفاده شده است. با توجه به این که آرایه‌های خورشیدی به دو صورت متحرک و ثابت نصب می‌شوند، عملکرد هر دو به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته و مدلی که در عمل دارای تلفات کمتر و در نتیجه راندمان بالاتری بود، معرفی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در مکان مورد بررسی، استفاده از پنل خورشیدی نوع ثابت جهت تولید انرژی الکتریکی، نسبت به نوع متحرک آن مناسب‌تر است.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱

بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳

کلید واژگان:

نیروگاه خورشیدی

زاویه تابش

سیستم فتوولتائیک

پنل خورشیدی

راندمان

PVsyst

*نویسنده مسئول: ثنا صادقی

پست الکترونیکی:

s.sadeghi@tvu.ac.ir



مقدمه

امروزه استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک برای تولید انرژی الکتریکی بسیار فراگیر شده است. این افزایش عمدتاً به دلیل کمبود منابع انرژی دیگر از جمله سوخت‌های فسیلی و همچنین آلاینده‌گی آنها و نیز قیمت بالای آنها می‌باشد. بنابراین نیاز به تغییر منابع قابل اعتماد و پایدار مثل سیستم‌های فتوولتائیک احساس می‌شود [۱]. استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک جهت تولید انرژی الکتریکی در کشور ما رو به افزایش می‌باشد. همچنین با توجه به پتانسیل بالای کشور ایران در بهره‌مندی از انرژی خورشیدی و همچنین سیاستگذاری‌های کلان اقتصادی در استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر پیش‌بینی می‌شود استفاده از این سیستم‌ها در آینده افزایش یابد. با این حال در ایران، ظرفیت PV در حدود ۳۶۵ مگاوات است، که کم‌تر از ۰.۵٪ کل مصرف انرژی کشور است [۲]. این در حالی است که بیشتر شهرها در ایران پتانسیل انرژی خورشیدی بسیار بالایی دارند. عملکرد پنل‌های فتوولتائیک به شدت به شرایط آب و هوایی و منطقه‌ای وابسته می‌باشد. میزان تابش خورشید و دمای محیط از جمله مهم‌ترین عوامل در عملکرد پنل‌های خورشیدی می‌باشد [۳]. همچنین مقالات بسیاری در مورد عملکرد نامطلوب پنل‌های خورشیدی در دمای بالا نگاشته شده است [۴-۶] از جمله عوامل مؤثر دیگر در عملکرد پنل‌های خورشیدی ذرات معلق موجود در فضا می‌باشد. وجود گرد و خاک باعث کاهش راندمان پنل‌های خورشیدی می‌شود. تحقیقات نشان داده است که گرد و غبار می‌تواند باعث کاهش ۱.۵ تا ۶.۲ درصدی راندمان سالانه یک پنل خورشیدی شود که این میزان می‌تواند در مناطق بیابانی و دارای گرد و غبار تا ۳۰ درصد کاهش هم برسد [۷-۹]. از جمله موارد مؤثر دیگر در عملکرد پنل‌های خورشیدی رطوبت می‌باشد که میزان اثرگذاری آن در مقالاتی چون [۱۰] بررسی شده است. یکی از مشکلات استفاده از انرژی خورشیدی ماهیت متناوب آن است و تابش خورشید را برای ساعات محدودی در طول روز دریافت می‌کنیم. حتی با این وجود توزیع انرژی برای یک مکان خاص، باز هم در طول سال متفاوت است. این بر میزان انرژی الکتریکی تولید شده از یک سیستم انرژی خورشیدی تأثیر می‌گذارد. تکنیک طراحی و نصب همراه با کیفیت تجهیزات مورد استفاده نیز بر خروجی کلی پنل PV تأثیر می‌گذارد. برای نصب یک نیروگاه خورشیدی، تشخیص ویژگی‌های خاص این ناحیه مانند عرض جغرافیایی، شرایط آب و هوایی، میانگین تابش روزانه، زاویه انحراف، زاویه آزیموث، و ... مهم است. این عوامل به شدت بر خروجی کلی تولید شده از یک سیستم فتوولتائیک تأثیر می‌گذارند. هدف این تحقیق ارزیابی بلند مدت عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک، با تأکید بر نحوه نصب پنل در غرب ایران است که سیستم مورد مطالعه یک فضای آموزشی در شهر همدان بوده و شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار کاربردی PVsyst صورت گرفته است. PVsyst ابزار مدلسازی مورد استفاده مهندسان و محققان می‌باشد و برای مشخص کردن این که چه میزان انرژی خورشیدی می‌تواند از یک مکان خاص به کار گرفته شود و از آن برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های متصل به شبکه و منفصل از شبکه و همچنین سیستم‌های پمپاژ خورشیدی استفاده می‌شود. با توجه به این واقعیت که پژوهش‌های کمی در مورد این موضوع در فضاهای آموزشی در غرب ایران و حتی کل کشور وجود دارد، داده‌های این تحقیق می‌تواند منبع خوبی برای محققان علاقه‌مند به تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم‌های فتوولتائیک در آب و هوای مشابه باشد.

روش طراحی

در این مقاله، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار PVsyst ۷.۲ پس از تعیین موقعیت جغرافیایی پروژه داده‌های هواشناسی منطقه استخراج می‌شود. سپس زاویه نصب پنل‌های فتوولتائیک برای پنل ثابت^۱ تعیین می‌شود. در ادامه به تعیین نوع پنل‌ها و انتخاب اینورتر بر اساس توان نامی می‌پردازیم و سپس سایر تجهیزات مورد نیاز انتخاب می‌شود. سپس در ادامه

¹ Fixed Tilted Panel (FTP)

نحوه چیدمان آرایه‌ها با توجه به توان نامی اینورتر مشخص می‌گردد. و در انتها پس از اتمام تعیین ورودی‌های سیستم، به اجرای شبیه‌سازی می‌پردازیم. پس از شبیه‌سازی اولیه برای پنل‌های نوع ثابت، کلیه مراحل فوق جهت پنل‌های ردیاب^۱ و همچنین پنل‌های شیب متغیر فصلی^۲ نیز تکرار خواهد شد. تا در انتها نتایج شبیه‌سازی هر یک استخراج شده و با توجه با آن مشخص شود که استفاده از کدام نوع پنل مناسب‌تر می‌باشد. مراحل فوق جهت انتخاب پنل‌های ثابت در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. مراحل طراحی پنل FTP

نرم‌افزار PVsyst

PVsyst به عنوان یکی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استاندارد در نظر گرفته می‌شود و توسط اکثر مهندسان در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته شده است. چون نتایج سریع و مفیدی را ارائه می‌دهد. این نرم‌افزار با استفاده از مطالعه دقیق و صریح بر روی پارامترهای متعدد که بر کارایی یک سیستم تاثیر می‌گذارند، از جمله میزان تابش خورشید، دمای محیط، سرعت باد، و پارامترهای فیزیکی صفحات PV به شبیه‌سازی می‌پردازد. علاوه بر این، توانایی

¹ Tracking Tilted Panel (TTP)

² Seasonal Tilt Adjustment Panel (STAP)

انجام تخمین‌های تناوبی و تولید گزارش را دارد. دقت نرم‌افزار PVSyst بسیار بالا بوده و نتایج به مقادیر واقعی بسیار نزدیک است.

مختصات جغرافیایی و شرایط جوی منطقه مورد مطالعه

سیستم مورد مطالعه در این پژوهش، دانشگاه پیام نور مرکز همدان واقع در مختصات به طول و عرض جغرافیایی به ترتیب $N^{\circ}48.52$ و $E^{\circ}34.83$ می‌باشد. با استفاده از نرم‌افزار PVSyst اطلاعات هواشناسی این منطقه از جمله میزان تابش خورشید، دمای هوا، سرعت وزش باد و سایر موارد استخراج شده و در جدول ۱ آورده شده است.

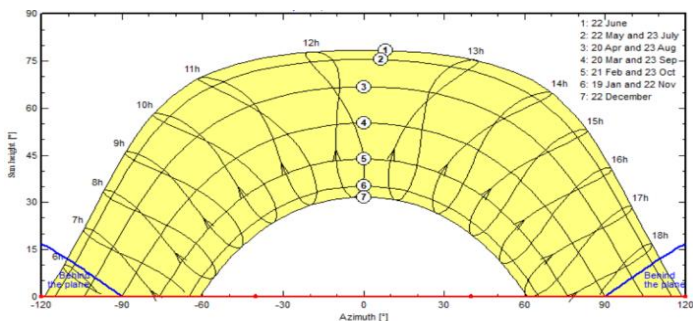
جدول ۱. اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه

ماه‌های سال	Gh (Kwh/m ²)	Gd (Kwh/m ²)	متوسط دما (C°)	سرعت متوسط باد (m/s)
January	۸۸.۱	۳۱.۷	۲-	۱.۷
February	۱۰۵.۱	۳۵.۸	۱.۳	۲.۵
March	۱۴۲.۸	۵۸.۴	۷.۷	۳.۳
April	۱۷۳.۹	۷۰.۰	۱۲.۰	۳.۲
May	۲۱۶.۶	۷۵.۸	۱۷.۰	۲.۶
June	۲۳۶.۴	۶۴.۳	۲۲.۳	۲
July	۲۲۸.۶	۶۲.۸	۲۶.۳	۲.۱
August	۲۰۸.۳	۶۶.۴	۲۵.۵	۲
September	۱۷۹.۳	۴۶.۳	۲۰.۱	۱.۸
October	۱۳۴.۱	۴۱.۶	۱۴.۳	۱.۹
November	۹۳.۰	۲۹.۹	۶.۳	۱.۵
December	۷۷.۸	۲۸.۹	۱.۴	۱.۵
year	۱۸۸۴.۰	۶۱۱.۹	۱۲.۷	۲.۲

که Gd، Gh در جدول ۱ به ترتیب تابش افقی جهانی و تابش پراکنده افقی می‌باشند.

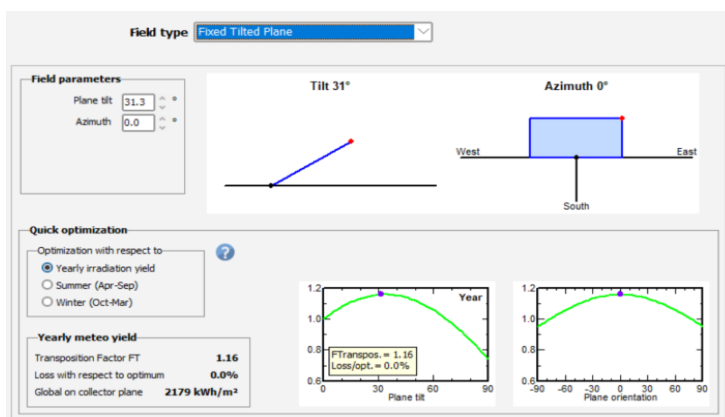
تنظیم زاویه و جهت مناسب نصب پنل FTP

عملکرد بهینه پنل‌های خورشیدی به تنظیم دو فاکتور مهم بستگی دارد. اول جهت‌گیری مناسب و دوم شیب یا زاویه مناسب. مسیرهای مختلف تابش خورشید در ساعات مختلف روز در شکل ۲ نمایش داده شده است. کاربرد اصلی این منحنی نشان دهنده میزان دقیق دسترسی نور خورشید می‌باشد.



شکل ۲. مسیر تابش خورشید

بدیهی است که خورشید با توجه به عرض‌های جغرافیایی مختلف و همچنین زاویه‌های مختلفی که نسبت به محل شبیه‌سازی دارد، با کیفیت‌های مختلفی نور به سطح پنل‌های می‌تاباند. جهت دقیق‌تر شدن شبیه‌سازی می‌توان با تنظیم دقیق ازیموت یا همان سمت و سوی پنل به خورشید و ارتفاع تابش بر حسب درجه، به محاسبات سایه نیز پرداخت و در واقع شبیه‌سازی دقیقی با در نظر گرفتن اثر سایه انجام داد.

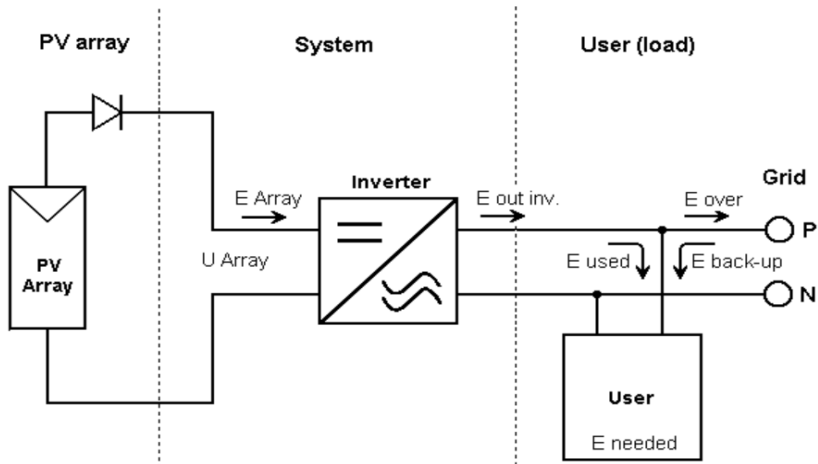


شکل ۳. تنظیم زاویه و جهت نصب پنل FTP

پس از بررسی زوایای مختلف مشاهده می‌شود که زاویه مناسب قرارگیری پنل‌های خورشیدی تقریباً برابر با عرض جغرافیایی یا حدوداً چهار یا پنج درجه کمتر از آن می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، زاویه ۳۱.۳ درجه باعث حصول کمترین میزان تلفات شده است که حدوداً سه درجه از عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه کمتر می‌باشد. همچنین به دلیل قرارگیری کشور ایران در نیمکره شمالی، بهترین حالت زمانی رخ می‌دهد که جهت پنل‌ها به سمت جنوب باشد تا زمانی که خورشید در حال طلوع از شرق به غرب می‌باشد، بیشترین میزان تابش حاصل شود.

اجزای تشکیل دهنده سیستم فتوولتائیک

شماتیک کلی یک سیستم فتوولتائیک در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴. شماتیک کلی یک سیستم فتوولتائیک

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، یک سیستم فتوولتائیک شامل پنل‌های خورشیدی، دیود جهت جلوگیری از بازگشت جریان به پنل‌ها و پیشگیری از پدیده تغییر رنگ آنها، اینورتر جهت تبدیل جریان مستقیم به متناوب، کنتور جهت سیستم‌های متصل به شبکه و کابل‌های ارتباطی و در نهایت مصرف کننده یا شبکه می‌باشد. مشخصات اجزای تشکیل دهنده سیستم مورد مطالعه در این پژوهش در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول ۲. مشخصات اجزای عمومی تشکیل دهنده سیستم مورد مطالعه

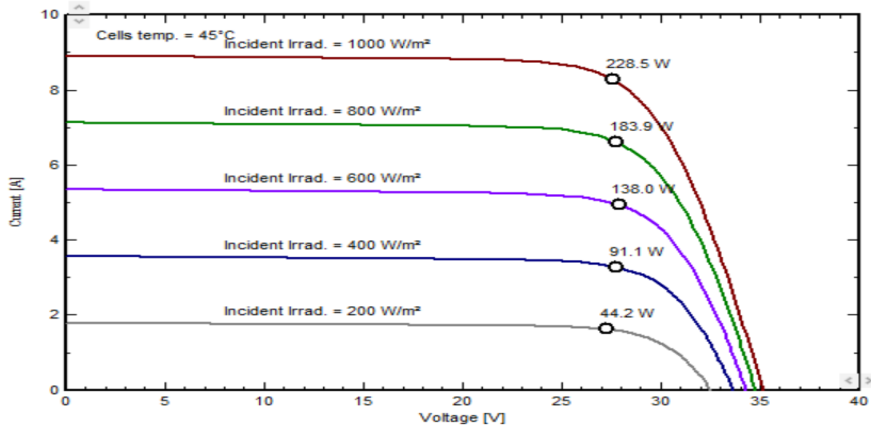
Module Type	Si-Poly
Load	Grid-connected
Total Nominal Power	30kw
PV Module	Yingli Solar 250Wp
Inverter	Growatt New Energy, 25kw, 200-1000 50-60Hz
Module Area	m ² 166

راندمان پنل‌های خورشیدی

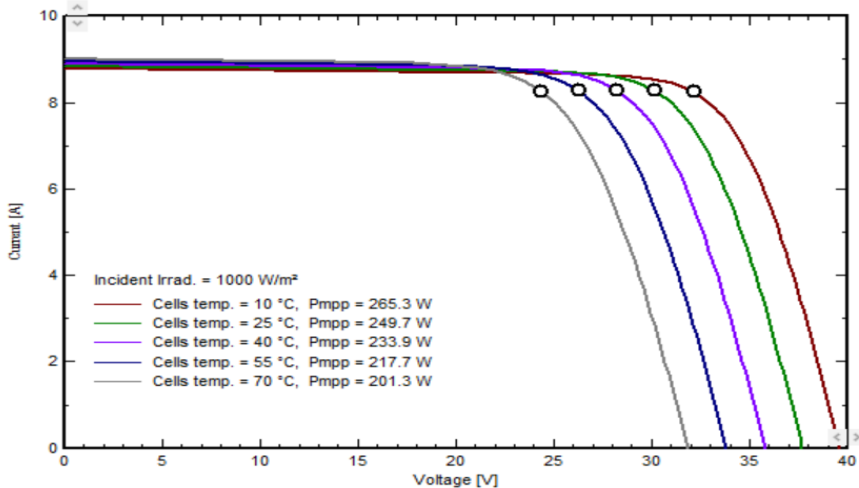
راندمان پنل‌های خورشیدی از رابطه ۱ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\eta_{Arrays} = \frac{E_{actual}}{G_{total}} \quad (1)$$

که E_{actual} : انرژی تزریق شده به شبکه و G_{total} : میزان تابش نهایی در کلکتور می‌باشد. شکل ۵ ارتباط بین میزان تابش و ولتاژ و جریان خروجی پنل خورشیدی یا به عبارتی توان خروجی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، در یک دمای ثابت، با افزایش میزان تابش، جریان افزایش می‌یابد. اما برای یک میزان تابش ثابت، تقریباً با افزایش ولتاژ مقدار جریان تغییر خاصی نکرده اما در محدوده ۳۳ تا ۳۵ ولت با افزایش ولتاژ، جریان دچار کاهش شدیدی می‌شود.



شکل ۵. ارتباط بین ولتاژ و جریان در شدت تابش‌های مختلف و دمای ثابت



شکل ۶. ارتباط بین ولتاژ و جریان در شدت تابش ثابت و دمای مختلف

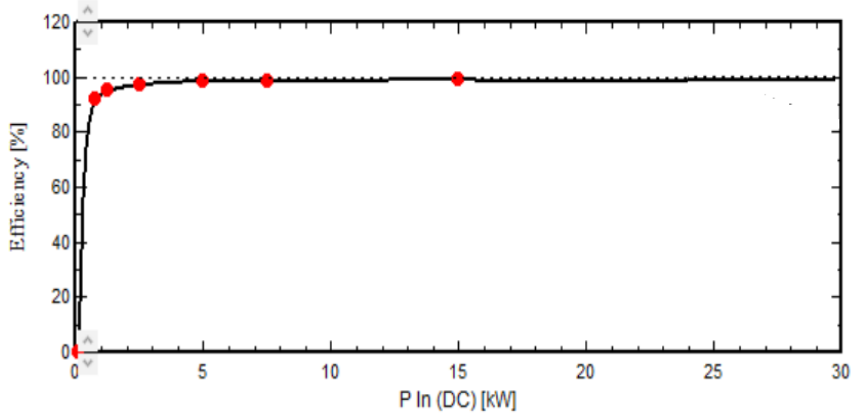
شکل ۶ رابطه بین ولتاژ و جریان در یک شدت تابش ثابت را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل پیداست به ازای یک میزان تابش ثابت با افزایش دما سطح زیر منحنی ولتاژ جریان یا همان توان خروجی پنل کوچکتر شده و در نتیجه راندمان سیستم کاهش می‌یابد.

راندمان اینورتر

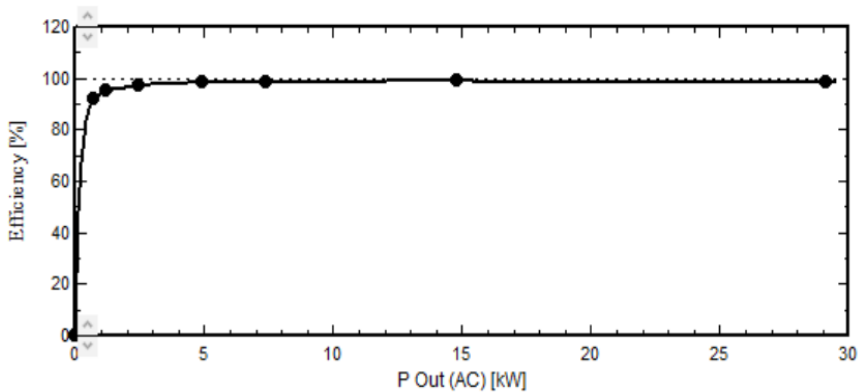
راندمان اینورتر خورشیدی از رابطه ۲ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\eta_{Inverter} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (2)$$

که P_{AC} : توان خروجی اینورتر و P_{DC} : توان ورودی اینورتر می باشد. راندمان اینورتر انتخاب شده حدود ۹۸.۸ درصد می باشد. همان طور که در شکل های ۷ و ۸ مشاهده می شود، با تغییر توان های خروجی و ورودی، راندمان تقریباً ثابت بوده و این اثبات عملکرد مناسب اینورتر می باشد.



شکل ۷. ارتباط بین توان ورودی و راندمان اینورتر



شکل ۸. ارتباط بین توان خروجی و راندمان اینورتر

شبیه سازی و نتایج آن

الف) شبیه سازی پنل FTP

شبیه سازی صورت گرفته در این مقاله به کمک نرم افزار PVsyst انجام شده است. با استفاده از داده های جدول ۱ و انتخاب تجهیزات مناسب و تنظیم آنها نتایج زیر استخراج می شود.

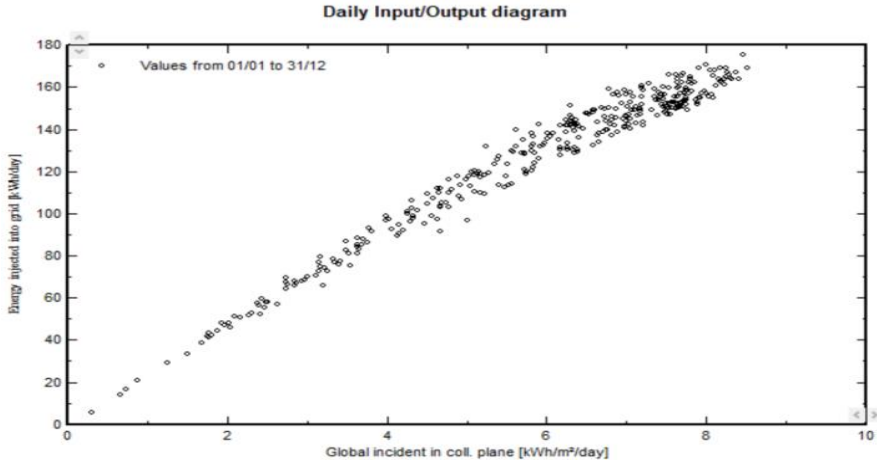
نتایج شبیه سازی پنل FTP به صورت خلاصه در جدول ۳ آورده شده است. این جدول شامل پارامترهایی مانند تابش جهانی میتنی بر صفحه افقی، تابش پراکنده میتنی بر صفحه افقی، دمای محیط، تابش جهانی در صفحه کلکتور، نسبت عملکرد، انرژی عرضه شده به شبکه و بازده انرژی کلی آرایه است. همچنین متوسط تابش جهانی سالانه در صفحه

افقی ۱۸۸۳.۹ کیلووات ساعت بر متر مربع است. تابش جهانی تصادفی در صفحه کلکتور ۲۱۴۳.۶ کیلووات ساعت بر متر مربع و همچنین تابش پراکنده در صفحه افقی ۶۱۱.۹۷ کیلووات ساعت بر متر مربع است.

جدول ۳. نتایج کلیدی شبیه‌سازی سیستم FTP

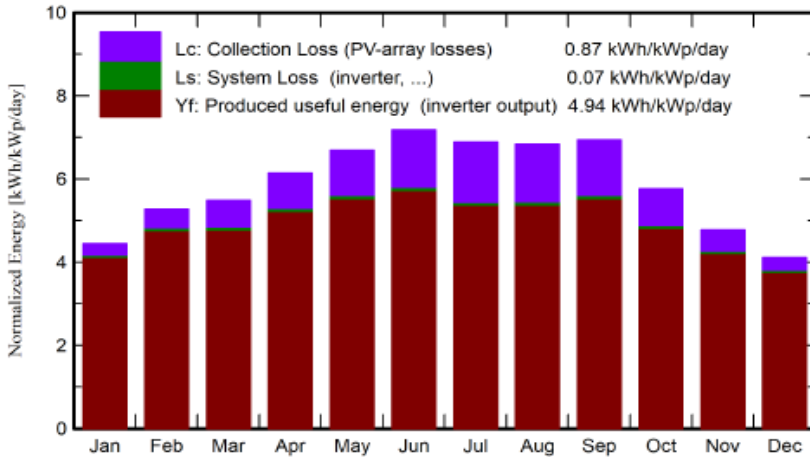
ماه‌های سال	GlobHor KWh/m ²	DiffHor KWh/m ²	A_Amb C°	GlobInc KWh/m ²	GlobEff KWh/m ²	EArray KWh	E_Grid KWh	PR ratio
January	۸۸.۱	۳۱.۷۳	۱.۹۵-	۱۳۷.۷	۱۳۵.۷	۳۸۸۳	۳۸۳۰	۰.۹۲۷
February	۱۰۵.۱	۳۵.۷۹	۱.۳۴	۱۴۷.۶	۱۴۵.۵	۴۰۵۵	۳۹۹۶	۰.۹۰۳
March	۱۴۲.۸	۵۸.۴۱	۷.۷۱	۱۷۰.۱	۱۶۶۵	۴۵۰۸	۴۴۴۵	۰.۸۷۱
April	۱۷۳.۹	۷۰.۰۴	۱۲.۰۴	۱۸۴.۱	۱۷۹۹	۴۷۶۹	۴۷۰۱	۰.۸۵۱
May	۲۱۶.۶	۷۵.۸۳	۱۶.۹۵	۲۰۷.۴	۲۰۲.۰	۵۲۲۲	۵۱۴۷	۰.۸۲۷
June	۲۳۶.۴	۶۴.۲۹	۲۲.۳۱	۲۱۵.۳	۲۰۹۶	۵۲۲۹	۵۱۵۴	۰.۷۹۸
July	۲۲۸.۶	۶۲.۷۵	۲۶.۲۷	۲۱۳.۴	۲۰۸۲	۵۰۷۲	۴۹۹۹	۰.۷۸۱
August	۲۰۸.۳	۶۶.۳۹	۲۵.۴۷	۲۱۲.۱	۲۰۷۱	۵۰۷۶	۵۰۰۴	۰.۷۸۷
September	۱۷۹.۳	۴۶.۲۵	۲۰.۱۴	۲۰۸.۱	۲۰۳۸	۵۰۵۲	۴۹۸۱	۰.۷۹۸
October	۱۴۴.۱	۴۱.۵۸	۱۳.۲۳	۱۷۸.۶	۱۷۵۷	۴۵۵۱	۴۴۸۷	۰.۸۳۷
November	۹۳.۰	۲۹.۹۵	۶.۲۵	۱۴۳.۲	۱۴۰۷	۳۸۴۸	۳۷۹۴	۰.۸۸۳
December	۷۷.۸	۲۸.۹۵	۱.۳۷	۱۲۷.۵	۱۲۵۵	۳۵۵۳	۳۵۰۳	۰.۹۱۶
year	۱۸۸۳.۹	۶۱۱.۹۷	۱۲.۷۵	۲۱۴۵.۱	۲۱۰۰.۲	۵۴۸۱۹	۵۴۰۴۲	۰.۸۴۰

همان‌طور که از جدول ۳ مشاهده می‌شود، نسبت عملکرد متوسط (PR) سالانه محاسبه شده ۸۴٪ برای سیستم فتوولتائیک Si - poly ۳۰ kWp می‌باشد انرژی خروجی مؤثر و مقادیر انرژی تزریقی به ترتیب ۵۴۸۱۹ کیلووات ساعت و ۵۴۰۴۲ کیلووات ساعت محاسبه شد. توان به‌دست آمده از آرایه PV به صورت DC می‌باشد. این جریان مستقیم باید به برق AC تبدیل شود که منجر به اتلاف انرژی در اثر تلفات سیستم می‌شود. انرژی ورودی در مقایسه با مقدار انرژی خروجی مقدار متفاوتی خواهد داشت. برای سیستم فتوولتائیک Si - poly ۳۰ kWp، سیستم فتوولتائیک انرژی سالانه ۵۴۰۴۲ کیلووات ساعت تزریق می‌کند. در ماه جون، حداکثر تزریق انرژی با مقدار ۵۱۵۴ کیلووات ساعت و کمترین مقدار انرژی تزریق شده به شبکه در ماه دسامبر با مقدار ۳۵۰۳ کیلووات ساعت می‌باشد. انرژی تزریق شده به شبکه در مقابل انرژی دریافتی توسط صفحه کلکتور در شکل ۹ نشان داده شده است.



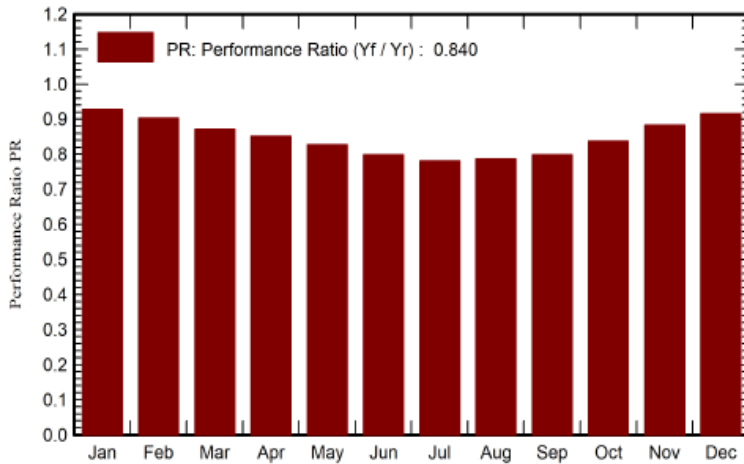
شکل ۹. انرژی تزریق شده به شبکه در مقابل انرژی دریافتی توسط صفحه کلکتور سیستم FTP

نمودار شکل ۹ میزان کیفیت سیستم و عناصر استفاده شده را نشان می‌دهد. فرضاً اگر سیستم ایده‌آل باشد، بایستی در مقدار تابش ۹ کیلووات بر متر مربع در روز میزان انرژی خروجی سیستم نیز ۶ کیلووات بر ساعت در روز باشد. اما در عمل چنین نیست و سیستم دارای تلفات مختلفی می‌باشد. بنابراین نمودار شکل ۹ هر چقدر به یک خط نزدیکتر باشد نشان از بهبود عملکرد سیستم خواهد داشت. همان‌طور که در شکل شماره ۹ دیده می‌شود میزان پراکندگی نقاط کم بوده و این نشان از عملکرد بهینه سیستم و انتخاب مناسب تجهیزات دارد. میزان تولید نرمال شده سیستم در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. میزان تولید نرمال شده سیستم FTP

همان‌طور که از شکل ۱۰ مشخص است. محدوده زرشکی رنگ میزان توان تولید شده یا خروجی اینورتر با مقدار 4.94 kWh/kwp/day ، قسمت سبز رنگ تلفات سیستم با مقدار 0.07 kWh/kwp/day و قسمت بنفش تلفات پنل خورشیدی با مقدار 0.87 kWh/kwp/day به تفکیک هر ماه را نشان می‌دهد. همچنین واضح است که بیشترین میزان تولید در ماه جون و کمترین میزان در ماه دسامبر می‌باشد. ضریب عملکرد سیستم در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱. ضریب عملکرد سیستم FTP

ضریب عملکرد که در واقع راندمان کلی سیستم می‌باشد، به صورت رابطه ۳ نوشته می‌شود.

$$P_R = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (3)$$

که در آن،

Y_f : انرژی تولید شده سیستم

Y_r : انرژی تولیدی مورد انتظار سیستم می‌باشد.

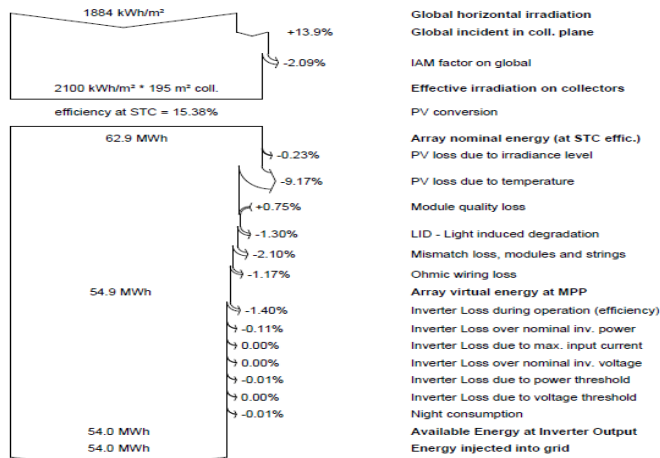
مقادیر Y_f و Y_r جهت محاسبه P_R در جدول شماره ۴ آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، ضریب عملکرد سالانه سیستم ۸۴ درصد می‌باشد که عدد نسبتاً خوبی می‌باشد.

جدول ۴. مقادیر Y_f و Y_r سیستم FTP

ماه‌های سال	Y_f KWh/KWp/day	Y_r KWh/m ² /day
January	۴.۴۴	۴.۱۲
February	۵.۲۷	۴.۷۶
March	۵.۴۹	۴.۷۸
April	۶.۱۴	۵.۲۲
May	۶.۶۹	۵.۵۳

ماه‌های سال	Yf KWh/KWp/day	Yr KWh/m ² /day
June	۷.۱۸	۵.۷۳
July	۶.۸۹	۵.۳۸
August	۶.۸۴	۵.۳۸
September	۶.۹۴	۵.۵۳
October	۵.۷۶	۴.۸۳
November	۴.۷۷	۴.۲۲
December	۴.۱۱	۳.۷۷
year	۵.۸۸	۴.۹۴

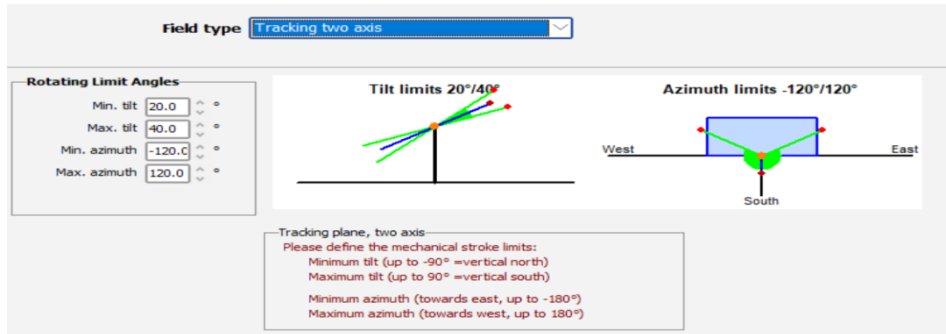
شکل ۱۲ دیاگرام پخش توان یا تلفات مرحله به مرحله سیستم در یک سال را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این نمودار مشخص است، توان نامی تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی ۶۲.۹ MWh می‌باشد که پس از کسر تلفاتی همچون تلفات میزان کیفیت نامطلوب پنل‌ها، تلفات بر اثر تغییرات دما، تلفات اهمی سیم‌کشی و همچنین تلفاتی مربوط به تابش در نهایت با کسر حدود ۱۳ درصد از توانی نامی پنل، عدد ۵۴.۹ MWh حاصل خواهد شد که در نهایت با کسر حدود ۱.۶ درصد از آن به دلیل تلفات ناشی از اینورتر، در نهایت انرژی خروجی تزریق شده به شبکه پس از کسر حدود ۸.۹ مگاوات ساعت انرژی به دلیل کل تلفات، ۵۴ MWh خواهد شد.



شکل ۱۲. دیاگرام پخش توان سالانه سیستم FTP

ب) شبیه‌سازی پنل TTP

جهت شبیه‌سازی این مدل پنل، پنل‌ها به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که در راستای عمود به اندازه $\pm 10^\circ$ درجه به مرکزیت عرض جغرافیایی 31° و در راستای افق به اندازه 240° درجه یعنی از $120^\circ -$ تا $120^\circ +$ قابلیت تغییر موقعیت داشته باشند که در شکل ۱۳ نمایش داده شده است.



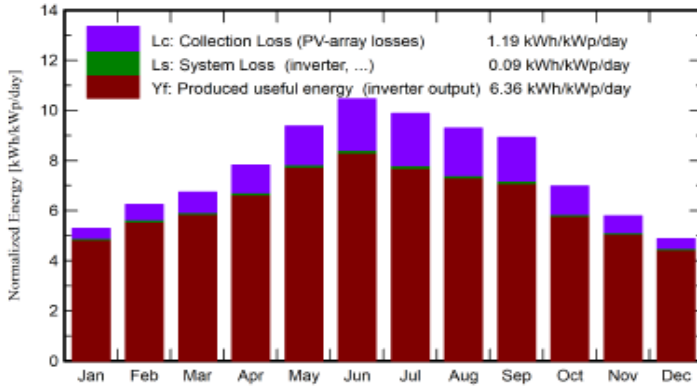
شکل ۱۳. تنظیم زاویه و جهت نصب پنل TTP

در این مرحله مشابه شبیه‌سازی صورت گرفته برای پنل FTP با استفاده از داده‌های جدول ۱ و انتخاب تجهیزات مناسب و تنظیم آنها نتایج شبیه‌سازی پنل TTP به صورت خلاصه در جدول ۶ آورده شده است. این جدول شامل پارامترهایی مانند تابش جهانی مبتنی بر صفحه افقی، تابش پراکنده مبتنی بر صفحه افقی، دمای محیط، تابش جهانی در صفحه کلکتور، نسبت عملکرد، انرژی عرضه شده به شبکه و بازده انرژی کلی آرایه است. همچنین متوسط تابش جهانی سالانه در صفحه افقی ۱۸۸۳.۹ کیلووات ساعت بر متر مربع است. تابش جهانی تصادفی در صفحه کلکتور ۲۷۹۸.۷ کیلووات ساعت بر متر مربع و همچنین تابش پراکنده در صفحه افقی ۶۱۱.۹۷ کیلووات ساعت بر متر مربع است.

جدول ۶. نتایج کلیدی شبیه‌سازی سیستم TTP

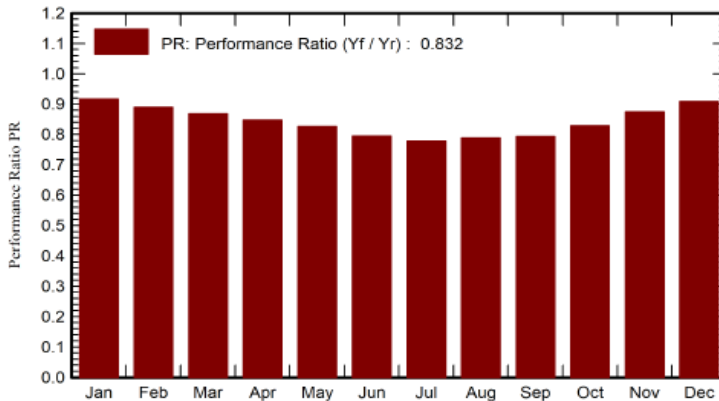
ماه‌های سال	GlobHor KWh/m ²	DiffHor KWh/m ²	A_Amb C°	GlobInc KWh/m ²	GlobEff KWh/m ²	EArray KWh	E_Grid KWh	PR ratio
January	۸۸.۱	۳۱.۷۳	۱.۹۵-	۱۶۳.۶	۱۶۲.۷	۴۵۶۱	۴۴۹۸	۰.۹۱۶
February	۱۰۵.۱	۳۵.۷۹	۱.۳۴	۱۷۵.۰	۱۷۴.۰	۴۷۳۹	۴۶۷۱	۰.۸۸۹
March	۱۴۲.۸	۵۸.۴۱	۷.۷۱	۲۰۸.۹	۲۰۷.۳	۵۵۲۰	۵۴۴۴	۰.۸۶۹
April	۱۷۳.۹	۷۰.۰۴	۱۲.۰۴	۲۳۴.۶	۲۳۲.۸	۶۰۵۳	۵۹۶۹	۰.۸۴۸
May	۲۱۶.۶	۷۵.۸۳	۱۶.۹۵	۲۹۰.۵	۲۸۸.۸	۷۲۹۸	۷۱۹۷	۰.۸۲۶
June	۲۳۶.۴	۶۴.۲۹	۲۲.۳۱	۳۱۳.۶	۳۱۲.۱	۷۵۸۱	۷۴۷۵	۰.۷۹۵
July	۲۲۸.۶	۶۲.۷۵	۲۶.۲۷	۳۰۶.۳	۳۰۴.۹	۷۲۵۷	۷۱۵۸	۰.۷۷۹
August	۲۰۸.۳	۶۶.۳۹	۲۵.۴۷	۲۸۷.۸	۲۸۶.۲	۶۹۰۱	۶۸۰۸	۰.۷۸۸
September	۱۷۹.۳	۴۶.۲۵	۲۰.۱۴	۲۶۷.۹	۲۶۶.۵	۶۴۷۰	۶۳۸۰	۰.۷۹۴
October	۱۳۴.۱	۴۱.۵۸	۱۳.۳۳	۲۱۶.۳	۲۱۵.۱	۵۴۵۴	۵۳۷۸	۰.۸۲۹
November	۹۳.۰	۲۹.۹۵	۶.۲۵	۱۷۳.۷	۱۷۲.۷	۴۶۲۲	۴۵۵۷	۰.۸۷۵
December	۷۷.۸	۲۸.۹۵	۱.۳۷	۱۵۱.۳	۱۵۰.۴	۴۱۸۸	۴۱۳۰	۰.۹۱۰
year	۱۸۸۳.۹	۶۱۱.۹۷	۱۲.۷۵	۲۷۸۹.۷	۲۷۷۳.۵	۷۰۶۴۳	۶۹۶۶۵	۰.۸۳۲

همان طور که از جدول ۶ مشاهده می‌شود، نسبت عملکرد متوسط (PR) سالیانه محاسبه شده ۸۳.۲٪ برای سیستم فتوولتائیک ۳۰ kWp Si - poly می‌باشد انرژی خروجی مؤثر و مقادیر انرژی تزریقی به ترتیب ۷۰۶۴۳ کیلووات ساعت و ۶۹۶۶۵ کیلووات ساعت محاسبه شد. همچنین مطابق جدول ۶ حداکثر میزان تزریق انرژی در ماه جون، با مقدار ۷۴۵۵ کیلووات ساعت و کمترین مقدار انرژی تزریق شده به شبکه در ماه دسامبر با مقدار ۴۱۳۰ کیلووات ساعت می‌باشد. میزان تولید نرمال شده سیستم در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۴. میزان تولید نرمال شده سیستم TTP

همان طور که از شکل ۱۴ مشخص است. محدوده زرشکی رنگ میزان توان تولید شده یا خروجی اینورتر با مقدار ۶.۳۶ kWh/kWp/day، قسمت سبز رنگ تلفات سیستم با مقدار ۰.۰۹ kWh/kWp/day و قسمت بنفش تلفات پنل خورشیدی با مقدار ۱.۱۹ kWh/kWp/day به تفکیک هر ماه را نشان می‌دهد. همچنین واضح است که بیشترین میزان تولید در ماه جون و کمترین میزان در ماه دسامبر می‌باشد. ضریب عملکرد سیستم در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

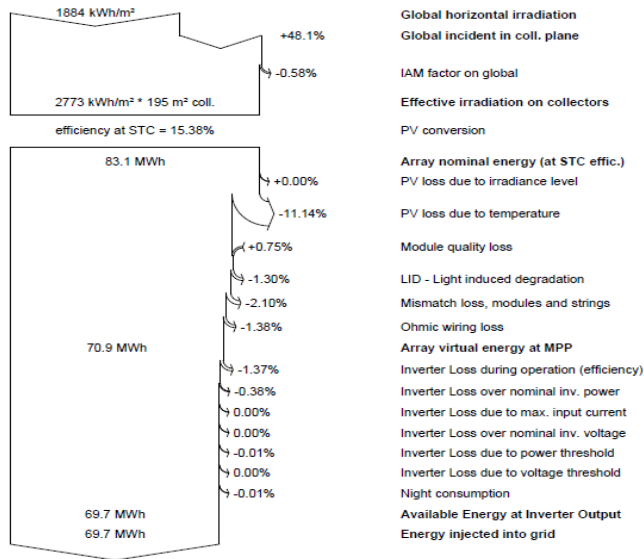


شکل ۱۵. ضریب عملکرد سیستم TTP

ضریب عملکرد مشابه آنچه برای FTP گفته شد، با کمک رابطه ۳ به دست می آید. که مقادیر Y_f و Y_r جهت محاسبه P_R در جدول ۷ آورده شده است. همان طور که در جدول ۷ مشاهده می شود، ضریب عملکرد سالانه سیستم ۸۳.۲ درصد می باشد که نسبت به روش FTP اندکی کاهش یافته است.

جدول ۷. مقادیر Y_f و Y_r سیستم FTP

ماه های سال	Y_f KWh/KWp/day	Y_r KWh/m ² /day
January	۴.۸۴	۵.۲۸
February	۵.۵۶	۶.۲۵
March	۵.۸۵	۶.۷۴
April	۶.۶۳	۷.۸۲
May	۷.۷۴	۹.۳۷
June	۸.۳۱	۱۰.۴۵
July	۷.۷۰	۹.۸۸
August	۷.۳۲	۹.۲۸
September	۷.۰۹	۸.۹۳
October	۵.۷۸	۶.۹۸
November	۵.۰۶	۵.۷۹
December	۴.۴۴	۴.۸۸
year	۶.۳۶	۷.۶۴

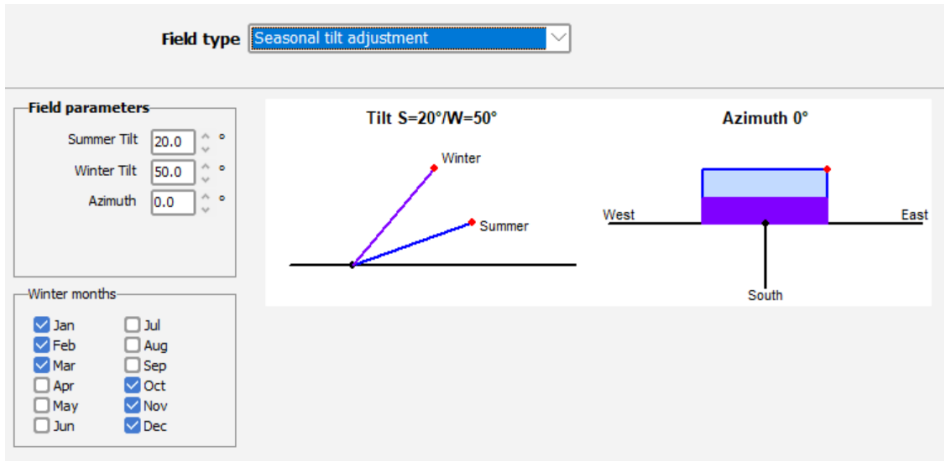


شکل ۱۶. دیاگرام پخش توان سالانه سیستم TTP

شکل ۱۶ دیاگرام پخش توان یا تلفات مرحله به مرحله سیستم در یک سال را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این نمودار مشخص است، توان نامی تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی 83.1 MWh می‌باشد که پس از کسر تلفاتی همچون تلفات میزان کیفیت نامطلوب پنل‌ها، تلفات بر اثر تغییرات دما، تلفات اهمی سیم کشی و همچنین تلفاتی مربوط به تابش در نهایت با کسر حدود ۱۵ درصد از توانی نامی پنل، عدد 70.9 MWh حاصل خواهد شد که در نهایت با کسر حدود ۱.۷ درصد از آن به دلیل تلفات ناشی از اینورتر، در نهایت انرژی خروجی تزریق شده به شبکه پس از کسر 13.4 مگاوات ساعت انرژی به دلیل کل تلفات، 69.7 MWh خواهد شد.

پ) شبیه‌سازی پنل STAP

این نوع از پنل‌ها به پنل‌های گفته می‌شود که با تغییر فصل، زاویه و راستای قرارگیری آنها تغییر می‌کند و معمولاً به صورت دو فصلی تغییرات آنها اعمال می‌شود. به طوری که یکبار برای زمستان و یکبار برای تابستان تنظیمات آنها تغییر کرده و برای باقی فصول سال ممکن است از مدار خارج باشند. این نوع تنظیمات پنل در نرم‌افزار PVSyst زیر شاخه پنل‌های ثابت در نظر گرفته می‌شود. نحوه تنظیمات پنل به این روش، در شکل ۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۷. تنظیم زاویه و جهت نصب پنل STAP

همان‌طور که در شکل ۱۷ نشان داده است، زاویه نصب پنل‌ها برای نیمسال تابستانی ۲۰ درجه و در نیمسال دوم یا زمستانه، ۵۰ درجه در نظر گرفته شده است.

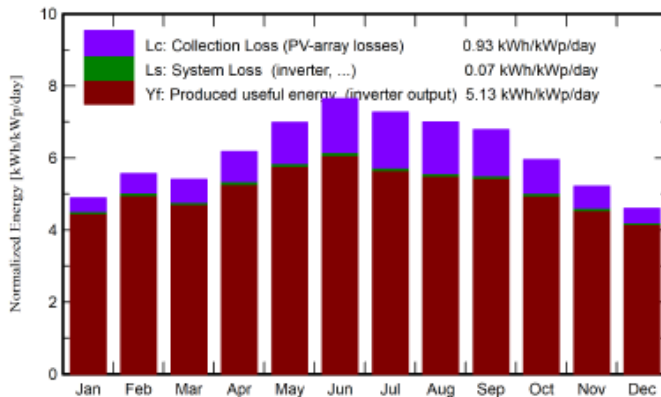
در این مرحله مشابه شبیه‌سازی صورت گرفته برای پنل FTP با استفاده از داده‌های جدول ۱ و انتخاب تجهیزات مناسب و تنظیم آنها نتایج شبیه‌سازی پنل STAP به صورت خلاصه در جدول ۸ آورده شده است. این جدول شامل پارامترهایی مانند تابش جهانی مبتنی بر صفحه افقی، تابش پراکنده مبتنی بر صفحه افقی، دمای محیط، تابش جهانی در صفحه کلکتور، نسبت عملکرد، انرژی عرضه شده به شبکه و بازده انرژی کلی آرایه است. همچنین متوسط تابش جهانی سالانه در صفحه افقی 1883.9 کیلووات ساعت بر متر مربع است. تابش جهانی تصادفی در صفحه کلکتور 2235.3 کیلووات ساعت بر متر مربع و همچنین تابش پراکنده در صفحه افقی 611.97 کیلووات ساعت بر متر مربع است.

جدول ۸. نتایج کلیدی شبیه‌سازی سیستم STAP

ماه‌های سال	GlobHor KWh/m ²	DiffHor KWh/m ²	A_Amb C°	GlobInc KWh/m ²	GlobEff KWh/m ²	EArray KWh	E_Grid KWh	PR ratio
January	۸۸.۱	۳۱.۷۳	۱.۹۵-	۱۵۱.۶	۱۵۰.۱	۴۲۰۶	۴۱۴۸	۰.۹۱۶
February	۱۰۵.۱	۳۵.۷۹	۱.۳۴	۱۵۵.۸	۱۵۴.۱	۴۲۲۹	۴۱۶۸	۰.۸۹۲
March	۱۴۲.۸	۵۸.۴۱	۷.۷۱	۱۶۷.۵	۱۶۴.۰	۴۴۴۶	۴۳۸۴	۰.۸۷۳
April	۱۷۳.۹	۷۰.۰۴	۱۲.۰۴	۱۸۵.۴	۱۸۱.۱	۴۸۱۳	۴۷۴۵	۰.۸۵۳
May	۲۱۶.۶	۷۵.۸۳	۱۶.۹۵	۲۱۶.۵	۲۱۱.۳	۵۴۴۷	۵۳۷۰	۰.۸۲۷
June	۲۳۶.۴	۶۴.۲۹	۲۲.۳۱	۲۲۹.۳	۲۲۳.۸	۵۵۵۲	۵۴۷۳	۰.۷۹۶
July	۲۲۸.۶	۶۲.۷۵	۲۶.۲۷	۲۲۵.۳	۲۲۰.۰	۵۳۳۵	۵۲۵۹	۰.۷۷۸
August	۲۰۸.۳	۶۶.۳۹	۲۵.۴۷	۲۱۶.۸	۲۱۱.۷	۵۱۸۹	۵۱۱۷	۰.۷۸۷
September	۱۷۹.۳	۴۶.۲۵	۲۰.۱۴	۲۰۳.۵	۱۹۹.۰	۴۹۶۳	۴۸۹۳	۰.۸۰۲
October	۱۳۴.۱	۴۱.۵۸	۱۳.۳۳	۱۸۴.۶	۱۸۲.۰	۴۶۷۶	۴۶۱۱	۰.۸۳۳
November	۹۳.۰	۲۹.۹۵	۶.۲۵	۱۵۶.۵	۱۵۴.۷	۴۱۵۱	۴۰۹۲	۰.۸۷۲
December	۷۷.۸	۲۸.۹۵	۱.۳۷	۱۴۲.۵	۱۴۱.۲	۳۹۱۹	۳۸۶۴	۰.۹۰۴
year	۱۸۸۳.۹	۶۱۱.۹۷	۱۲.۷۵	۲۲۳۵.۳	۲۱۹۳.۲	۵۶۹۲۷	۵۶۱۲۳	۰.۸۳۷

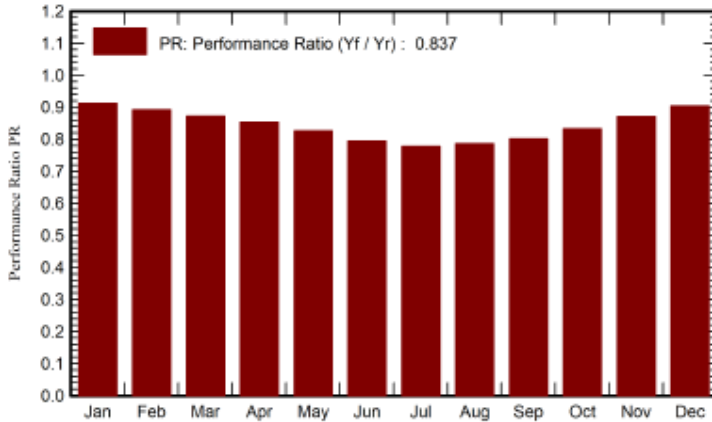
همان‌طور که از جدول ۸ مشاهده می‌شود، نسبت عملکرد متوسط (PR) سالیانه محاسبه شده ۸۳.۷٪ برای سیستم فتوولتائیک ۳۰ kWp Si - poly می‌باشد انرژی خروجی مؤثر و مقادیر انرژی تزریقی به ترتیب ۵۶۹۲۷ کیلووات ساعت و ۵۶۱۲۳ کیلووات ساعت محاسبه شد. همچنین مطابق جدول ۸ حداکثر میزان تزریق انرژی در ماه جون، با مقدار ۵۴۷۳ کیلووات ساعت و کمترین مقدار انرژی تزریق شده به شبکه در ماه دسامبر با مقدار ۳۸۶۴ کیلووات ساعت می‌باشد.

میزان تولید نرمال شده سیستم در شکل ۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۱۸. میزان تولید نرمال شده سیستم STAP

همان طور که از شکل ۱۴ مشخص است. محدوده زرشکی رنگ میزان توان تولید شده یا خروجی اینورتر با مقدار ۵.۱۳ kWh/kwp/day ، قسمت سبز رنگ تلفات سیستم با مقدار ۰.۰۷ kWh/kwp/day و قسمت بنفش تلفات پنل خورشیدی با مقدار ۰.۹۳ kWh/kwp/day به تفکیک هر ماه را نشان می‌دهد. همچنین واضح است که بیشترین میزان تولید در ماه جون و کمترین میزان در ماه دسامبر می‌باشد. ضریب عملکرد سیستم در شکل ۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۱۹. ضریب عملکرد سیستم STAP

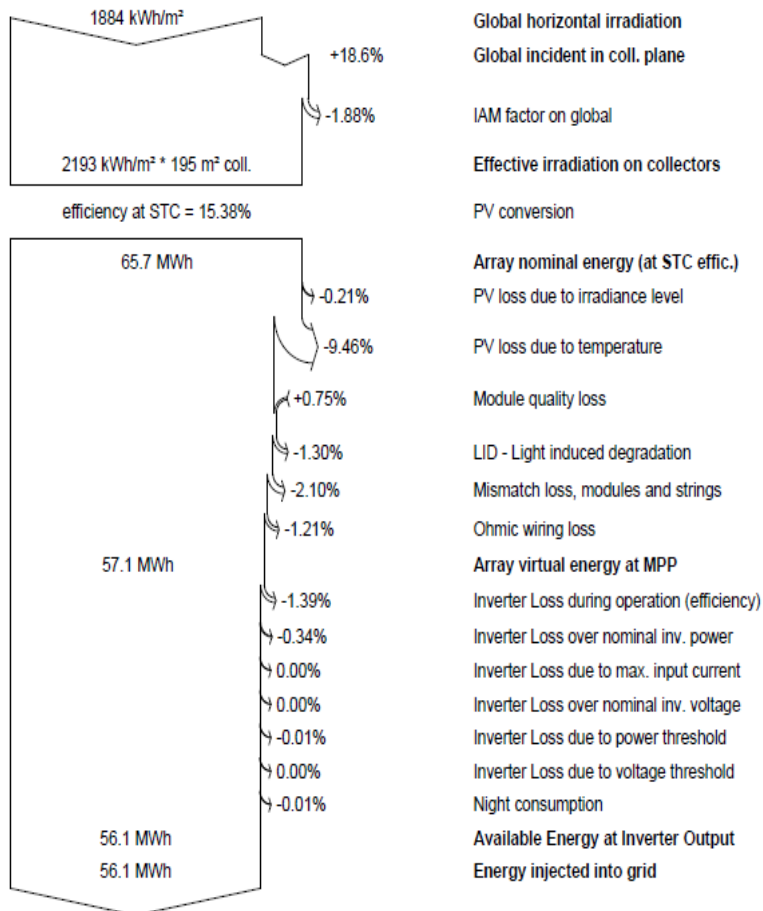
ضریب عملکرد مشابه آنچه برای FTP گفته شد، با کمک رابطه شماره ۳ به دست می‌آید. که مقادیر Y_f و Y_r جهت محاسبه PR در جدول ۹ آورده شده است. همان طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، ضریب عملکرد سالانه سیستم ۸۳.۷ درصد می‌باشد که نسبت به روش FTP اندکی کاهش یافته است.

جدول ۹. مقادیر Y_f و Y_r سیستم STAP

ماه‌های سال	Y_f KWh/KWp/day	Y_r KWh/m ² /day
January	۴.۴۶	۴.۸۹
February	۴.۹۶	۵.۵۶
March	۴.۷۱	۴.۴۰
April	۵.۲۷	۶.۱۸
May	۵.۷۷	۶.۹۹
June	۶.۰۸	۷.۶۴
July	۵.۶۵	۷.۲۷
August	۵.۵۰	۶.۹۹
September	۵.۴۴	۶.۷۸
October	۴.۹۶	۵.۹۵
November	۴.۵۵	۵.۲۲

ماه‌های سال	Yf KWh/KWp/day	Yr KWh/m ² /day
December	۴.۱۶	۴.۶۰
year	۵.۱۳	۶.۱۲

شکل ۲۰ دیاگرام پخش توان یا تلفات مرحله به مرحله سیستم در یک سال را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این نمودار مشخص است، توان نامی تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی ۶۵.۷MWh می‌باشد که پس از کسر تلفاتی همچون تلفات میزان کیفیت نامطلوب پنل‌ها، تلفات بر اثر تغییرات دما، تلفات اهمی سیم‌کشی و همچنین تلفاتی مربوط به تابش در نهایت با کسر حدود ۱۳ درصد از توانی نامی پنل، عدد ۵۷.۱MWh حاصل خواهد شد که در نهایت با کسر حدود ۱.۷۵ درصد از آن به دلیل تلفات ناشی از اینورتر، در نهایت انرژی خروجی تزریق شده به شبکه پس از کسر ۹.۶ مگاوات ساعت انرژی به دلیل کل تلفات، ۵۶.۱MWh خواهد شد.



شکل ۲۰. دیاگرام پخش توان سالانه سیستم STAP

تحلیل نتایج

خلاصه نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در این مقاله در جدول شماره ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۱۰. مقایسه نتایج شبیه‌سازی

روش شبیه سازی	E_Grid (MWh)	losses (MWh)	Efficiency %	PR Ratio %
FTP	۵۴.۰	۸.۹	۸۵.۸۵	۸۴.۰
TTP	۶۹.۷	۱۳.۴	۸۳.۸۷	۸۳.۲
STAP	۵۶.۱	۹.۶	۸۵.۳۸	۸۳.۷

با مقایسه PR٪ نتایج جدول شماره ۱۰ می‌توان بیان کرد که هر سه ترکیب از عملکرد قابل قبولی برخوردار می‌باشند و در انتخاب هر کدام از روش‌های پیشنهادی، تفاوت چندانی وجود نخواهد داشت. اما اگر مبنای تصمیم‌گیری راندمان و میزان تلفات باشد، مشاهده می‌شود که انتخاب روش FTP در اولویت اول پیاده‌سازی و سپس روش‌های STAP و TTP در اولویت‌های بعدی انتخاب و پیاده‌سازی قرار خواهند گرفت.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به کمک نرم‌افزار PVsyst امکان سنجی فنی نصب و راه‌اندازی یک واحد فتوولتائیک با تأکید بر نحوه نصب پنل‌ها بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که توجه به نحوه نصب پنل‌ها، در راندمان سیستم مؤثر خواهد بود. سه مدل روش نصب پنل خورشیدی شامل ثابت، ردیاب و شیب متغیر فصلی در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته شد و پس از اعمال شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه برای تأمین بار ۳۰ کیلووات متصل به شبکه، راندمان هر یک از سیستم‌های پیشنهادی جهت تأمین بار مورد نظر به صورت مجزا محاسبه گردید. نتایج شبیه‌سازی نشان داد در صورتی که ملاک انتخاب روش مناسب میزان ضریب عملکرد باشد، تفاوت چندانی در روش‌های پیشنهادی وجود نخواهد داشت. اما اگر در انتخاب سیستم مناسب توجه به تلفات و راندمان سیستم از اهمیت بیشتری برخوردار باشد، استفاده از سیستم پنل ثابت اولویت اول انتخاب و سپس استفاده از پنل شیب متغیر فصلی در اولویت دوم و در انتها پنل‌های ردیاب در اولویت سوم قرار خواهد گرفت. همچنین با توجه به این‌که استفاده از پنل‌های متحرک به دلیل وجود اجزای متحرک دارای طول عمر کمتری نسبت به پنل‌های ثابت می‌باشد، لذا هر چند سال یک‌بار بایستی تعویض گردد. که خود مستلزم صرف هزینه اضافی می‌باشد و تأکیدی بر انتخاب اول پنل‌های ثابت خواهد بود.

References

- [1] Shrivastava, A., Sharma, R., Kumar Saxena, M., Shanmugasundaram, V., Lal Rinawa, M., & Ankit. (2023). Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVSYS. *Materials Today: Proceedings*, 80, 3385-3392. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.258>
- [2] Yazdani, H., & Yaghoubi, M. (2021). Techno-economic study of photovoltaic systems performance in Shiraz, Iran. *Renewable Energy*, 172(1), 251-262. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.012>
- [3] Meral, M. E., & Dinçer, F. (2011). A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2176-2184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.010>

- [4] Amelia, A., Irwan, Y., Leow, W., Irwanto, M., Safwati, I., & Zhafarina, M. (2016). Investigation of the effect temperature on photovoltaic (PV) panel output performance. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 6(5), 682-688. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.6.5.938>
- [5] Dash, P., & Gupta, N. (2015). Effect of temperature on power output from different commercially available photovoltaic modules. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 5(1), 148-151. https://www.researchgate.net/publication/279497414_Effect_of_Temperature_on_Power_Output_from_Different_Commercially_available_Photovoltaic_Modules
- [6] Rahman, M. M., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2015). Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management*, 103, 348-358. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.067>
- [7] Chaichan, M. T., & Kazem, H. A. (2017). Effect of sand, ash and soil on photovoltaic performance: An experimental study. *International Journal of Scientific Engineering and Science*, 1(2), 27-32. https://www.researchgate.net/publication/313996729_Effect_of_Sand_Ash_and_Soil_on_Photovoltaic_Performance_An_Experimental_Study
- [8] Darwish, Z. A., Kazem, H. A., Sopian, K., Al-Goul, M. A., & Alawadhi, H. (2015). Effect of dust pollutant type on photovoltaic performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 735-744. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.068>
- [9] Tanesab, J., Parlevliet, D., Whale, J., & Urmee, T. (2019). The effect of dust with different morphologies on the performance degradation of photovoltaic modules. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 31(11), 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.12.024>
- [10] Kazem, H. A., & Chaichan, M. T. (2016). Effect of environmental variables on photovoltaic performance-based on experimental studies. *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science* 2(4), 1-8. https://www.researchgate.net/publication/307964486_Effect_of_Environmental_Variables_on_Photovoltaic_Performance-Based_on_Experimental_Studies