



## Journal of Environmental Research

Vol. 14, No. 27, Spring & Summer 2023

Journal Homepage: [www.iraneiap.ir](http://www.iraneiap.ir)

Print ISSN: 2008-9597

Online ISSN 2008-9590

### Techno- Economic Assessment of Photovoltaic Powerhouse Developments (Case Study in Selected Agricultural Research Stations)

Document Type  
Research Paper

Received  
2022/10/24

Accepted  
2023/06/12

Omid Reza Roustapour<sup>1\*</sup>, Alireza Nikouei<sup>2</sup>, Ahmad Sharifi Malvajerdi<sup>3</sup>

1,3 Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

2 Assistant Professor; Economic, Social and Extension Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2023.179290

#### Abstract

Iran has a high potential of solar radiation and lots of sunny days (more than 300 days) in a year. In this study the feasibility of establishment the photovoltaic powerhouse in several agricultural research stations of Markazi, Esfahan and Kerman Provinces was investigated. In this regard, after determining and analyzing the required meteorological information using Meteonorm software and system simulation by PVsys software, economic analysis of each station were performed by determining the breakeven point and the average cost of energy production for different discount rates. The study also examined the reduction of pollution due to the reduction of  $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  and  $\text{SO}_x$  emissions as a result of employing photovoltaic power plants. According to the results, the most solar electricity generation was occurred in Rudasht station of Esfahan province equaled to  $303 \text{ kWh/m}^2$  per a year. Photovoltaic powerhouse establishment in the research stations could eliminate pollution production up to 748 tons in a year which exhausted from fuel combustion in the power generation turbines. Results also illustrates considering electricity purchase tariff (6370 IRR/kWh), the construction of photovoltaic power plants with the usual interest rate (more than 8%) is not economically viable for investors. Therefore, the implementation of such projects cusses to produce clean energy and to bring environmental protection, a special banking facilities with interest rates below 8% is recommend to motivate private sector for investment.

JEL classification: Q12, Q28, Q42

**Keywords:** Photovoltaic powerhouse, Feasibility study, Simulation, Economic analysis, Environmental

\* Corresponding author

Email: Roostapour@areo.ir

## Introduction

Energy consumption is increasing due to population growth and urbanization. The importance of sustainable development and policy in this field has increased the tendency to use renewable energy (Aghahosseini et al., 2018). In Iran, many researches and studies have been done on the potential of sunlight and also the evaluation of the solar power system with different approaches as one of the renewable energy sources in recent years. Iran has a high capacity to use solar energy and has an average of 300 sunny days per year, in other words, an average of 2954 sunny hours per year (Mojarrad & Moradi 2014). The highest radiation potential is related to the southern region and the lowest is related to the northern region of Iran. It is suitable to install solar power systems in areas where there is more sunlight. The environmental performance and energy payback time of a grid-connected photovoltaic system with a capacity of 1 MW in China were evaluated. Based on the results, the input energy for the balance of this system was  $19.55 \times 10^6$  and the annual output energy was  $8.33 \times 10^6$  MJ and the energy return time was 2.3 years. The life cycle assessment of this power plant shows that it can be used for a period of 27 to 30 years, and it is environmentally suitable compared to fossil power generation systems (Peishi et al., 2017). Since the installation of photovoltaic systems requires spending a lot of money, and also according to research, environmental and climatic factors have a significant impact on the performance and efficiency of these systems, therefore, potential measurement and evaluation of the installation location of these systems is essential. In this research, the performance of the solar power system was evaluated in a number of selected stations of the Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) in order to find the effect of environmental factors and the most suitable place to install these systems. In this regard, economic analysis was done before the implementation in order to make a general decision and make a policy regarding the construction of solar power plants.

## Methodology

According to the research done by Roustapour et al. (2020) who evaluated 27 agricultural research stations, in the central to southeastern part of Iran, the research centers of the Markazi province (Baghiberkeh research station located in Saveh), Isfahan province (Roudasht research stations in the east of Isfahan, Fozveh in the south west of Isfahan and Zayandehroud dam pasture in west of Isfahan) and Kerman province (Zarand education center located in the northwest of Kerman and Gallehbalouchi Bardsir research station in the southwest of Kerman) affiliated to the Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), which represents the different levels of radiation in the mentioned stations in different parts of the country. Models and empirical relationships were used to predict the weather condition, which includes the ambient temperature and the intensity of sunlight on the horizon. For this purpose, the Meteonorm software considers a twenty-year period and uses the Perez model to estimate the radiation intensity (Anonymous, 2017). The information output by the software in the form of monthly and annual averages includes the intensity of global sunlight on the horizon, the intensity of scattered radiation and the temperature of the environment. According to the obtained information, the solar power system in the desired station was simulated using PVsys software (v. 6.43) and the number of panels and inverters was calculated. Also, the performance of the system was evaluated in regard to the climatic conditions. Considering losses such as panel losses, inverter, direct current wiring, alternating current wiring, pollution and dust, the total loss coefficient was considered equal to 0.77. The desired capacity of the power plant for each unit and the actual energy produced per year was obtained by technical analysis of the solar power plant (farm) in each station and checking the available capacities in the desired area (Gevorkian, 2008).

To investigate the positive environmental impacts of photovoltaic renewable power plants in replacing fossil power plants, the equivalent of the number of barrels of raw oil per million kilowatt hours of electricity production was used. As a result of the combustion of fossil fuels, the exhaust gases include CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> (Kaabi Nejadian, 2013). After determining the amount of energy production in the power plants of the desired fields, investment, operation and performance were evaluated and analyzed economically. After collecting the economic data and information and calculating the fixed investment costs, the financial cash flow table of the project was prepared and then, using the methods of engineering economics to analyze the plans, it was started to provide the economic criteria for the evaluation of the project. The criteria used for evaluation include "internal rate of return" and "fixed price". According to the guaranteed purchase price of photovoltaic electricity, the income from the sale of electricity was calculated. For the economic analysis of

the power plant, its annual maintenance cost should also be taken into account, which is generally equal to 5% of the annual income of the power plant.

### Results and discussion

Examining the average monthly changes of meteorological data in 6 selected stations including temperature and radiation in one year in MeteorNorm software showed that the highest temperature level in Baghiberkeh research station of Central province is about 32 C° and the lowest temperature level in Zayandehroud pasture research station is about 23 C°. Also, the highest amount of radiation related to Roudasht stations in Isfahan province and Zarand and Gallehbalouchi in Kerman province is about 250 kilowatt hours per square meter and the lowest radiation received in Baghiberkeh research stations in Markazi province and Golpayegan in Isfahan province is equivalent to 220 kilowatt hours per square meter in the months of June and July. In the design, after entering data such as geographical characteristics of the area, drops, initial selection of the type of panel and inverter; The number of panels and inverters, the net area occupied by the panels and finally the amount of electricity produced by the power plant in each month of the year were obtained. The amount of electricity injected into the grid during one year in the 10 MW photovoltaic power plants designed in Roudasht, Fazoh and Zayandehroud dam research stations in Isfahan province and Zarand education station in Kerman province was obtained as 19614, 19261, 16748 and 19309 MWh, respectively. According to the obtained results, the lowest amount of electricity production in the Zayandehroud dam station compared to the other two stations is due to the decrease in the intensity of radiation on the surface of the panels. Height above sea level and temperature are important factors in the amount of radiation received, so that with decreasing temperature and decreasing height above sea level, receiving radiation decreases. At the Zayandehroud dam station, due to the colder climate, it receives less radiation and, as a result, the amount of electricity injected into the grid is lower. Changes in the energy injected into the grid in the 7 MW power plant at Gallehbalouchi Bardsir research station throughout the year show that the most energy injected into the grid in August is equal to 1250 MWh. The total energy injected into the network of this power plant during one year was 13121 MWh. The amount of energy injected into the grid at the one megawatt research station of Baghiberkeh in the Markazi province in different months of the year showed that the maximum energy production is from the middle of spring to the end of summer and the cumulative production of photovoltaic electricity of this power plant is 1711 MWh per year. Based on the amount of electricity production in each station, the equivalent of barrels of raw oil and kilograms of pollution by each pollutant per year were obtained. Based on the decontamination cost for each of the mentioned polluting gases, the total decontamination cost was calculated in dollars. The results showed that the construction of photovoltaic power plants in these stations prevents the production of about 747.7 tons of pollutants resulting from the combustion of fossil fuels to produce electricity, and will have the economic savings of about 1720340 dollars for the cost of pollution removal. According to the results of the economic analysis and the sensitivity of the construction and operation of photovoltaic power plants, depending on the desired reduction rate, the cost of producing each kilowatt of energy is different from at least 1770 rials for each kWh at the Roudasht research station of Isfahan province with the reduction rate of 0% and the maximum is 8214 rials per kWh with a reduction rate of 18% in the research station of Zayandehroud dam in Isfahan province. Investigating the internal rate of return of investment in the implementation of the mentioned projects, the lowest economic justification with the number of 9.1% and the highest with the number of 11.4% is related to the implementation of the project in the research station of Zayandehroud dam and Roudasht in Isfahan province. The sensitivity analysis of the cost price of electricity production in the photovoltaic power plants in question with the purchase tariff of electricity produced for different discount rates showed that the average cost price of energy production in these areas with the purchase rate of energy at the discount rate of 14% with a minimum number of 11.5 for the highest fixed price and 16% for the lowest fixed price. This means that for the economic justification of the project, the desired discount rate for the investor should be lower than these numbers. Comparing these numbers with the interest rate of long-term investment deposits with the assumption of 15%, indicates that there is no economic justification for investing in these projects using personal investment. Therefore, the implementation of such projects should be done through bank facilities or investment development funds with an interest rate of less than 8% (based on the minimum discount rate) in order to motivate applicants to enter this field.

## Conclusion

It is necessary to evaluate and measure the potential of solar power systems in different places compared to other sources of electricity supply, considering the cost and also various factors that affect the performance and efficiency of these systems. For this purpose, the system should be simulated in the desired location, taking into account the influencing factors, in order to achieve a correct understanding and decision to choose the right place for installation. In the survey carried out in this study, the highest amount of electricity production per year is at the Roudasht research station and the lowest at the Zayandehroud dam and Baghiberkeh research stations. Based on the results obtained, the construction of photovoltaic power plants in these stations will prevent the production of about 747.7 tons of pollutants resulting from the combustion of fossil fuels to produce electricity, and will have the economic savings will be about 1720340 dollars for the cost of pollution removal. Considering the electricity purchase tariff in the year of the study, the construction and operation of photovoltaic power plants in agricultural research stations with private sector investment and the use of credit facilities at the usual rate (more than 10%) does not have the necessary economic justification. Nevertheless, it is recommended to implement such projects, considering the importance of clean energy production and indirect benefits resulting from their implementation, from bank facilities or investment development funds for development in specific areas, with an interest rate of less than 8% (based on the minimum discount rate) to motivate investment applicants to enter this field.

## References

- Aghahosseini, A., Bogdanov, D. Ghorbani, N. & Breyer, C. 2018. Analysis of 100% Renewable Energy for Iran in 2030: Integrating Solar PV, Wind Energy and Storage. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 15(1): 17–36.
- Anonymous. 2017. *Meteonorm.7.1.3.19872 user's guide*.
- Gevorkian, P. 2008. *Solar Power in Building Design*. Mc Graw Hill Publishing Company, New York, USA, pp. 95-116.
- Kaabi Nejadian, A.R. 2013. *New Energies Technology*. Gissom Publication, 208 pp. (In Persian).
- Mojarrad, F., Fathnia, A. & Rajaei, S. 2015. The estimation of receiving solar radiation at earth's surface in Kermanshah province. *Arid Regions Geographic Studies*. 5(19): 55-69. (In Persian).
- Mojarrad, F. & Moradi, K. 2014. A study of anomalies and trends of sunshine hours in Iran. *Geography and Development Iranian Journal*. 12(34): 153-165. (In Persian).
- Peishi, Wu., Xiaoming, Ma., Junping, Ji. & Yunrong, Ma. 2017. Review on life cycle assessment of energy payback of solar photovoltaic systems and a case study. *Energy Procedia*. 105: 68-74.
- Roustapour, O.R., Nikoui, A.R. & Sharifi Malvajerdi, A. 2020. Feasibility study of establishing photovoltaic power stations on Research Centers and Institutes of AREEO. *Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)*. No.: 59409, 203 pp. (In Persian).

## بررسی فنی - اقتصادی توسعه نیروگاه‌های خورشیدی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های منتخب تحقیقات کشاورزی)

امید رضا روستاپور<sup>۱\*</sup>، علیرضا نیکوئی<sup>۲</sup>، احمد شریفی مالواجردی<sup>۳</sup>

۱ و ۳ دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران  
۲ استادیار بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۰۲

### چکیده

ایران یکی از کشورهای با پتانسیل بالای استفاده از انرژی خورشید است و بیش از ۳۰۰ روز هوای آفتابی در سال دارد. در این تحقیق، امکان احداث نیروگاه خورشیدی در چند ایستگاه تحقیقات کشاورزی منتخب در استان‌های مرکزی، اصفهان و کرمان از لحاظ فنی، محیط زیستی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفتند. در این راستا، بعد از تعیین اطلاعات هواشناسی مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار Meteonorm و شبیه‌سازی سامانه توسط نرم افزار PVsyst، به تحلیل اقتصادی و تعیین نقطه سر به سر و میانگین قیمت تمام شده تولید انرژی برای نرخ‌های تنزیل مختلف پرداخته شد. همچنین کاهش آلاینده‌گی در اثر کاهش انتشار گازهای  $CO_x$ ،  $NO_x$  و  $SO_x$  با توسعه نیروگاه خورشیدی بررسی شد. طبق نتایج، حداکثر میزان تولید برق در سال در ایستگاه رودشت اصفهان معادل ۳۰۳ کیلووات ساعت بر مترمربع می‌باشد. احداث این نیروگاه‌ها از تولید ۷۴۸ تن آلاینده حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی برای تولید برق جلوگیری می‌نماید. همچنین مشخص شد که با لحاظ تعرفه خرید انرژی الکتریکی (۶۳۷۰ ریال بر کیلووات ساعت)، احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک با نرخ معمول تسهیلات اعتباری که بیش از ۸ درصد است، از توجیه اقتصادی لازم برای سرمایه‌گذاران برخوردار نیست لذا با عنایت به اینکه اجرای این پروژه‌ها باعث تولید انرژی‌های پاک می‌گردد و اثرات مثبت زیست محیطی به همراه دارد، به همین منظور توصیه می‌شود تسهیلات ویژه بانکی با نرخ بهره کمتر از ۸ درصد برای توسعه آن در کشور در نظر گرفته شود تا انگیزه ورود بخش خصوصی به این عرصه برقرار گردد.

طبقه‌بندی JEL: Q12، Q28، Q42

**کلید واژه‌ها:** نیروگاه فتوولتائیک، مطالعه امکان‌سنجی، شبیه‌سازی، تحلیل اقتصادی، محیط زیستی

(منبع استخراج مقاله: گزارش نهایی تحقیقاتی به شماره ثبت ۵۹۴۰۹ مورخ ۱۴۰۰/۱/۲۴)

\* نویسنده مسئول:

Email: Roostapour@areo.ir

DOI: 10.22034/eiap.2023.179290

DOR: 20.1001.1.20089597.1402.14.27.6.8

## سرآغاز

با توجه به رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی در ایران، مصرف انرژی روزبه‌روز در حال افزایش است. یارانه دولت بر روی حامل‌های انرژی باعث مصرف بی‌رویه و ناکارآمد انرژی در ایران شده است. به طوری که به ترتیب ۳۶ و ۲۷ درصد از متوسط مصرف جهانی و خاورمیانه بیشتر است (Aghahosseini et al., 2018). در سال‌های اخیر، تحریم‌های بین‌المللی اثرات منفی بر فروش نفت و گاز گذاشته، به همین دلیل دولت را مجبور به تغییر رویکرد در سیاست‌های مصرف انرژی کرده است. اهمیت توسعه پایدار و سیاست‌گذاری در این زمینه، گرایش به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را بیش از پیش افزایش داده است.

در ایران تحقیقات و مطالعات زیادی بر روی پتانسیل تابش نور خورشید و همچنین ارزیابی سامانه برق خورشیدی با رویکردهای مختلف به عنوان یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر در سال‌های اخیر صورت گرفته است. ایران کشور دارای ظرفیت بالا جهت استفاده از انرژی خورشید و دارای متوسط ۳۰۰ روز هوای آفتابی در سال و به عبارتی دیگر دارای متوسط ۲۹۵۴ ساعت آفتابی در سال است (Mojarrad & Moradi 2014). بیشترین پتانسیل تابش مربوط به ناحیه جنوبی و کمترین مربوط به ناحیه شمالی ایران است. در مناطقی که تابش نور خورشید بیشتر می‌باشد، مناسب نصب سامانه‌های برق خورشیدی است. اما طبق تحقیقات صورت گرفته، تنها این عامل را نمی‌توان در تصمیم‌گیری برای نصب این سامانه‌ها دخالت داد (Satba, 2018).

در تحقیقی پتانسیل تابش نور خورشید در ایران با در نظر گرفتن ۶۳ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین تابش سالانه مربوط به استان‌های خراسان جنوبی و خوزستان است و در این مناطق به لحاظ اقتصادی، نصب سامانه‌های فتوولتائیک مناسب‌تر است (Alamdari et al., 2013).

در پژوهشی دیگر، یک سامانه برق خورشیدی از منظر فنی و اقتصادی مورد ارزیابی قرار گرفت و با توجه به تجزیه و تحلیل‌های انجام گرفته، مناسب‌ترین محل برای نصب این سامانه‌های فتوولتائیک شهرهای کرمان، یزد، شیراز، زاهدان، بیرجند و اصفهان اعلام شد (Edalati et al., 2016).

در راستای کاهش تلفات و استفاده بهینه از حداکثر توان تولیدی توسط آرایه‌های خورشیدی برای تولید برق، تاثیر کاربرد

تنظیم‌کننده‌های پیشرفته جریان از نوع ردیابی نقطه توان بیشینه مورد بررسی قرار گرفت. آزمون تعیین کارایی سامانه در دو زاویه شیب افقی ۱۵ و ۴۵ درجه آرایه خورشیدی در فصل تابستان در شهرستان شیراز انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده بکارگیری کنترل کننده نامبرده در زاویه ۱۵ درجه پنل باعث افزایش راندمان تولید الکتریسیته تا سطح ۳۰ درصد نسبت به کنترل کننده نوع تلفیق پهنای باند شد (Khakbaz & Roustapour, 2016).

عملکرد محیط‌زیستی و زمان بازگشت انرژی یک سامانه فتوولتائیک متصل به شبکه با ظرفیت یک مگاوات در چین مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج، انرژی ورودی برای توازن این سامانه  $10^6 \times 19/55$  و انرژی خروجی سالیانه  $10^6 \times 8/33$  مگاژول و زمان بازگشت انرژی ۲/۳ سال به دست آمد. ارزیابی چرخه حیات این نیروگاه نشان‌دهنده قابلیت کاربرد آن برای مدت زمان ۲۷ تا ۳۰ سال است و در مقایسه با سامانه‌های تولید برق فسیلی بسیار مناسب از لحاظ محیط‌زیستی می‌باشد (Peishi et al., 2017).

تقاضای الکتریسیته در بحرین که توسط توربین‌های گاز تامین می‌شود، رشدی معادل ۶/۵ درصد در سال دارد و در آینده نزدیک نیاز به احداث نیروگاه جدید را می‌طلبد. این کشور از لحاظ تابش خورشید و تعداد روزهای آفتابی در سال شرایط بسیار خوبی را دارد. تاکنون مطالعات جامعی در خصوص امکان احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک با مقیاس بزرگ انجام نشده است. در این تحقیق، اثرات بالقوه احداث نیروگاه به ظرفیت یک مگاوات با مدلسازی سامانه بررسی شده است. نتایج بهره‌برداری از این سامانه نشان دهنده تطبیق آن با اوج تقاضای برق می‌باشد (Pilai & Yaqoob Naser., 2017).

در یک پژوهش با استفاده مدل تاپسیس فازی و در نظر گرفتن معیارهای ساعات آفتابی، شیب، فاصله از مناطق جمعیتی، فاصله از راه‌ها، فاصله از خطوط انتقال نیرو و کاربری اراضی، پتانسیل سنجی مکان‌های مساعد برای توسعه نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی در استان هرمزگان انجام شد. مقایسه نتایج حاصل از این روش با استفاده از کنترل زمینی حاکی از رضایت بخش بودن به‌کارگیری روش تاپسیس فازی در امر مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی بود (Nohegar et al., 2016).

در تحقیق به عمل آمده، پایداری یک مکانیزم تولید هیدروژن با

وزن‌دهی زیرمعیارها و اعمال تمام وزن‌ها در تک تک لایه‌ها استفاده شد. همچنین با تکیه بر فراسنج‌های اقلیم، مناطق مستعد جهت استقرار نیروگاه خورشیدی در استان شناسایی شد. نتایج نشان داد که ساعات آفتابی سالانه، مهمترین فراسنج اقلیمی است که میزان انرژی دریافتی از خورشید را نشان می‌دهد. بر این اساس بهترین مکان برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی، شهرستان‌های رباط پشت بادام، مهریز، میبد و مروست در اولویت اول و پس از آن شهرستان یزد در اولویت دوم و در نهایت، شهرستان‌های ابرکوه و هرات در اولویت سوم تشخیص داده شدند. در یک نگاه، مشخص شد که ۱۳/۶۳ درصد مناطق استان در محدوده بسیار مطلوب، ۲۳/۰۶ درصد در محدوده مطلوب، ۳۶/۷۸ درصد در محدوده متوسط و ۲۶/۵۳ درصد در محدوده نامطلوب برای احداث نیروگاه خورشیدی قرار دارند (Momenzadeh et al., 2021).

پژوهش دیگری که با روش هزینه- فایده احداث نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی ۲۵ مگاواتی انجام شد و سپس تاثیر به‌کارگیری مشوق‌ها در احداث چنین نیروگاه‌هایی در کشورهای مختلف دنیا، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مشوق‌های تعرفه‌های اشتراک بیشترین اثرات را بر بهبود شاخص‌های مالی احداث چنین نیروگاه‌هایی از خود نشان می‌دهند. میزان مالیات پرداختی بنگاه اقتصادی نیز در رتبه بعدی قرار دارد و ارایه تسهیلات مالی نیز جز در کاهش دادن سهم آورده سرمایه‌گذار تاثیر زیادی در دیگر شاخص‌ها نخواهد داشت (Mahdavi Adeli & Khaje Naeini, 2015).

در بررسی اقتصادی که با هدف بررسی امکان استفاده از نیروگاه‌های فتوولتائیک در مقایسه با انرژی شبکه سراسری در سه سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ)، بارانی سنتریپوت و بارانی کلاسیک ثابت در استان البرز انجام گرفت، مشخص شد که در دوره تحلیل، در به‌کارگیری برق شبکه سراسری برای سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی سنتریپوت و قطره‌ای (تیپ)، نسبت فایده به هزینه به ترتیب ۱/۶۴، ۱/۶۷ و ۲/۱ بود. در به‌کارگیری برق خورشیدی برای سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بارانی سنتریپوت و قطره‌ای (تیپ)، نسبت فایده به هزینه به ترتیب ۱/۲، ۱/۵۹ و ۱/۷۳ برآورد گردید. بنابراین، بر اساس شاخص‌های سودآوری، کاربرد سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ) با استفاده از برق شبکه سراسری به عنوان تیمار برتر

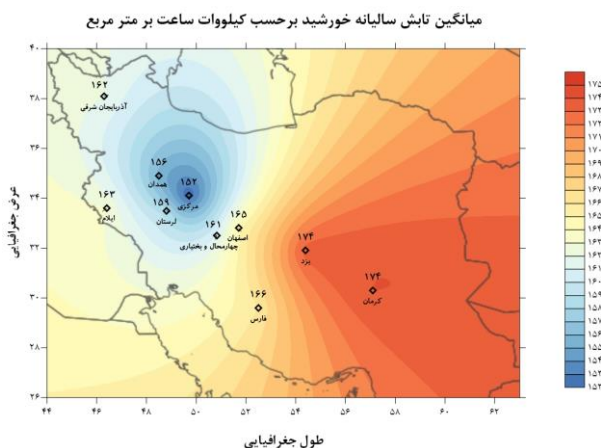
منبع تامین برق فتوولتائیک با توان ۲۰ کیلووات در شهر یزد مورد بررسی قرار گرفت. همچنین یک سامانه برق خورشیدی توسط نرم افزار Pvsys شبیه‌سازی و آزمایش‌های امکان‌سنجی در طول یک‌سال انجام شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، انرژی دریافتی توسط پنل‌های خورشیدی ۲۹۹/۳۷ مگاوات ساعت با راندمان ۱۲/۳۲ درصد، توان خروجی پنل‌ها معادل ۳۶/۹۱ مگاوات ساعت در سال و پتانسیل تولید هیدروژن ۳۷۳ تن در سال بود (Fereidooni et al., 2018).

در تحقیق انجام شده توسط (Rahnama et al. (2019) نقشه‌های اکسرژی- اقتصادی<sup>(۱)</sup> و اکسرژی- محیط زیستی<sup>(۲)</sup> به‌منظور تشخیص مناسب‌ترین محل برای احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک توسعه یافته است. در این راستا، نقشه‌های مکانی- زمانی<sup>(۳)</sup> نیز برای مطالعه ارزش واحد اکسرژی- اقتصادی و اثربخشی واحد اکسرژی- محیط زیستی تولید برق خورشیدی طی بررسی شرایط آب و هوایی معرفی شده است. نتایج نشان داد این نقشه‌ها اطلاعات ارزشمندتری نسبت به نقشه‌های راندمان اکسرژی در بررسی عملکرد سامانه‌های فتوولتائیک به‌منظور انتخاب محل مناسب برای نصب و تعیین ظرفیت تولید برق فراهم می‌کنند.

تعیین موقعیت مناسب برای احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک بسیار مهم است. در این راستا نقشه‌های مکانی- زمانی خورشیدی بر اساس روش جدید اکسرژی- اقتصادی توسعه یافته<sup>(۴)</sup> برای یک نیروگاه ۵۰۰ کیلوواتی متصل به شبکه در نقاط مختلف کشور تعیین شد. نتایج نشان داد که انرژی تابشی کل و اکسرژی تابش خورشید در ایران به ترتیب معادل ۱۲۰ تا ۱۸۴ و ۱۱۲ تا ۱۷۲ کیلووات ساعت بر متر مربع در هر ماه می‌باشد. همچنین، متوسط انرژی تولیدی ماهیانه، راندمان اکسرژی و بازده اکسرژی- اقتصادی توسعه یافته به ترتیب معادل ۴۵/۳ تا ۶۶ مگاوات ساعت، ۱۳/۶ تا ۱۴/۸ درصد و ۹/۴۶ تا ۱۰/۵ درصد برای شرایط مختلف آب و هوایی کشور به‌دست آمد. در یک نتیجه‌گیری کلی، جنوب شرق، مرکز و شمال غرب کشور برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی مناسب تشخیص داده شد (Aghbashlo et al., 2020).

در یک پژوهش، زیرمعیارهای اقلیمی شامل رطوبت نسبی، بارندگی سالانه، ساعات آفتابی، طول روز و گرد و غبار از ایستگاه‌های رباط پشت بادام، میبد، یزد، مهریز، ابرکوه، بافق، هرات و مروست استان یزد انتخاب گردید و با استفاده از نرم‌افزار

مراکز تحقیقاتی استان مرکزی (ایستگاه تحقیقات باغی برکه واقع در شهرستان ساوه)، استان اصفهان (ایستگاه‌های تحقیقاتی رودشت در شرق اصفهان، فزوه در جنوب غربی اصفهان و مرتع سد زاینده رود در غرب اصفهان) و استان کرمان (پردیس آموزش زرنده واقع در شمال غربی کرمان و ایستگاه تحقیقاتی گله‌بلوچی بردسیر در جنوب غربی کرمان) وابسته به سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی که نماینده سطوح مختلف تابش در ایستگاه‌های یاد شده در نقاط مختلف کشور هستند، انتخاب شدند. شکل (۱) نقشه تابش استانی مربوط به مراکز تحقیقات کشاورزی در نقاط مختلف کشور را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که در شمال غرب کشور به علت دور بودن ایستگاه‌های تحقیقاتی از شبکه سراسری برق و عدم قابلیت احداث نیروگاه خورشیدی در آن‌ها، نقطه‌ای در نظر گرفته نشد. برای دستیابی به حداکثر مساحت قابل تخصیص برای احداث نیروگاه بر اساس مجوز فنی توزیع برق منطقه، موقعیت مکانی ایستگاه‌ها به این ارگان ارسال و در خصوص ظرفیت مجاز احداث، استعلام گردید. بر اساس بررسی‌های فنی و با توجه به ظرفیت پست برق در هر منطقه، حداکثر ظرفیت مجاز برای احداث نیروگاه توسط شرکت توزیع برق اعلام شد. جدول (۱) موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی (Anonymous, 2018) و مساحت‌های مورد نیاز برای احداث نیروگاه بر اساس ظرفیت مجاز اعلان شده را در ایستگاه‌های تحقیقاتی نامبرده نشان می‌دهد. بایستی توجه داشت که مساحت مورد نیاز احداث نیروگاه معادل ۱۵۰۰۰ مترمربع به ازاء هر مگاوات توان نامی است (Satba, 2018).



شکل (۱): نقشه جانمایی میزان تابش خورشید در استان‌های محل استقرار ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی

انتخاب شد (Baghani & Asadi, 2020).

از آنجایی که نصب سامانه‌های فتوولتائیک نیازمند صرف هزینه‌های بسیاری است و همچنین طبق تحقیقات صورت گرفته، عوامل محیطی و اقلیمی تاثیر به‌سزایی بر عملکرد و بازدهی این سامانه‌ها دارند لذا پتانسیل‌سنجی و ارزیابی محل نصب این سامانه‌ها لازم و ضروری می‌باشد. در این تحقیق عملکرد سامانه برق خورشیدی در تعدادی از ایستگاه‌های منتخب سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به منظور یافتن اثر عوامل محیطی و پیدا کردن مناسب‌ترین مکان برای نصب این سامانه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا، تحلیل اقتصادی قبل از اجرا به منظور تصمیم‌گیری کلی و سیاست‌گذاری در خصوص احداث نیروگاه‌های خورشیدی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی

با توجه به هزینه‌بر بودن نصب سامانه‌های برق خورشیدی در مقایسه با دیگر منابع تامین الکتریسیته و همچنین عوامل مختلفی که بر عملکرد و بازدهی این سامانه‌ها تاثیر دارند، نیازمند ارزیابی و پتانسیل‌سنجی در محل مورد هستند. بنابراین باید سامانه را در محل مورد نظر با در نظر گرفتن عوامل تاثیرگذار، شبیه‌سازی کرد تا به درک و تصمیم‌گیری درستی برای انتخاب محل مناسب جهت نصب، دست یافت.

ملاک‌های اولیه در انتخاب محل احداث نیروگاه خورشیدی، شرایط آب‌وهوایی منطقه است. با افزایش رطوبت نسبی محیط به بیش از ۴۵ درصد، راندمان پنل‌های خورشیدی به شدت کاسته خواهد شد. از طرفی دمای عملیاتی پنل‌های خورشیدی ۴۲ تا ۴۸ درجه سلسیوس است و افزایش دما به بیش از این مقدار منجر به کاهش راندمان آرایه‌ها می‌شود. وجود گرد و غبار و آلودگی هوا تا بیش از ۵۰ ppm توسط ریزگردها، علاوه بر اینکه هزینه نگهداری پنل‌های خورشیدی را افزایش می‌دهد، باعث کاهش راندمان تولید الکتریسیته توسط پنل‌ها خواهد شد (Moshtagh & Roshandel, 2015; Satba, 2018). در این راستا، مطابق با تحقیقات انجام شده توسط Roustapour et al. (2020) که ۲۷ ایستگاه تحقیقات کشاورزی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند، در نوار مرکزی تا جنوب شرقی کشور (Aghbashlo et al., 2020)،



جدول (۱): موقعیت جغرافیایی و اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و مساحت مورد نیاز برای احداث نیروگاه فتوولتائیک

استان	ایستگاه	طول جغرافیایی (X)	عرض جغرافیایی (Y)	دمای حداکثر (سلسیوس)	دمای حداقل (سلسیوس)	رطوبت نسبی (%)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	مساحت مورد نیاز نیروگاه (هکتار)
چهارمحال و بختیاری	رودشت	۵۲/۱۶۷	۳۲/۴۸۳	۲۴	۶/۸	۴۰	۱۵۰۷	۱۵
	فروزه	۵۱/۴۵۰	۳۲/۶۱۷	۲۳/۵	۹/۱	۳۹	۱۶۱۶	۱۵
	مرتع سد زاینده رود	۵۰/۷۶۶	۳۲/۷۱۶	۱۷/۴	۴/۴	۴۱	۲۲۱۶	۱۵
کرمانشاه	گله‌بلوچی بردسیر	۵۶/۲۶۷	۳۹/۹۳۳	۱۶/۷	۳/۳	۳۰	۲۳۴۵	۱۰/۵
	پردیس آموزش زرنند	۵۶/۳۴۰	۳۰/۴۹۰	۱۷/۷	۷	۲۹	۱۸۷۱	۱۵
گیلان	تحقیقات باغی برکه (ساوه)	۵۰/۲۰۰	۳۴/۹۸۳	۲۲/۷	۱۱/۴	۳۴	۱۰۸۵	۱/۵

به‌منظور شبیه‌سازی یک نیروگاه الگویی، نیاز به روند تغییرات تابش و دما در طول سال می‌باشد لذا با استفاده از نرم‌افزار Meteonorm (v. 7.1.3.19872) اطلاعات یاد شده در هر ایستگاه به‌دست آمد.

#### تغییرات تابش و دما در ایستگاه‌های تحقیقاتی

برای پیش‌بینی وضعیت آب و هوایی که شامل دمای محیط و شدت تابش نورخورشید بر سطح افق می‌باشد، از مدل‌ها و روابط تجربی استفاده شد. برای این منظور نرم‌افزار Meteonorm یک بازه زمانی بیست ساله را در نظر گرفته و از مدل Perez برای تخمین شدت تابش استفاده می‌نماید (Anonymous, 2017). اطلاعات خروجی توسط نرم‌افزار به صورت میانگین ماهانه و سالانه شامل شدت تابش جهانی نور خورشید بر سطح افق، شدت تابش پراکنده و دمای محیط است.

با توجه به اطلاعات به‌دست آمده، سامانه برق خورشیدی در ایستگاه موردنظر با استفاده از نرم‌افزار PVsys (v. 6.43) شبیه‌سازی شد. در این نرم‌افزار با توجه به تقاضای مورد نیاز و با در نظر داشتن فاکتورهای ورودی همچون تغییرات دما و تابش که از نرم‌افزار Meteonorm مستخرج شده است، طراحی سامانه فتوولتائیک انجام و تعداد پنل‌ها و اینورتر مناسب محاسبه شد. همچنین با در نظر داشتن شرایط اقلیمی، عملکرد سامانه مورد ارزیابی قرار گرفت (Mojarrad et al., 2015).

#### طراحی نیروگاه خورشیدی در نرم‌افزار PVsys

داده‌های خروجی نرم‌افزار Meteonorm برای طراحی نیروگاه وارد نرم‌افزار PVsys و در ادامه زاویه استقرار پنل‌ها معادل با

عرض جغرافیایی منطقه (Gevorkian, 2008) تعریف شد. مکان‌های انتخابی زمین‌های کشاورزی بوده و هیچ مانعی که سبب ایجاد سایه بر روی پنل‌ها شود در اطراف آن وجود ندارد. بنابراین، نیاز به محاسبه افت حاصل از تشکیل سایه بر روی پنل‌ها در ماه‌های مختلف سال وجود نداشت. برای طراحی سامانه فتوولتائیک بایستی انرژی خالص خروجی با در نظر گرفتن تلفات کل محاسبه شود. در طراحی نیروگاه ایستگاه‌ها از پنل‌های خورشیدی با توان نامی ۳۰۰ وات ساخت شرکت Yingli Solar چین استفاده و زاویه استقرار آن‌ها نسبت به سطح افق معادل با عرض جغرافیایی منطقه در نظر گرفته شد. تنها در ایستگاه تحقیقات باغی برکه استان مرکزی، پنل‌های خورشیدی ۲۵۰ وات برای طراحی نیروگاه در نظر گرفته شد. همچنین از مبدل‌های تمام سینوسی سه فاز متصل به شبکه همگی دارای توان ۶۰ کیلووات با محدوده ولتاژ کاری ۵۷۰ تا ۸۰۰ ولت مدل TL با حداکثر فرکانس ۵۰ هرتز و ساخت شرکت SMA آلمان در طراحی تمامی نیروگاه‌ها استفاده شد. به طور معمول تلفات به‌دلایل شرایط محیطی و عناصر طراحی رخ می‌دهد. تلفات موجود در این سامانه‌ها در ذیل معرفی شده است.

#### تلفات سامانه‌های فتوولتائیک

تلفات دارای اهمیت در نیروگاه‌های برق خورشیدی شامل کاهش میزان توان جریان مستقیم خروجی ثبت شده بر پلاک پنل‌ها که از کاهش توان از خروجی مدول منتج می‌شود و ضریب آن ۹۵ و حاصل ابعاد فیزیکی یک پنل و اتصالات داخلی بین سلول‌ها می‌باشد؛ تلفات اینورتر (مبدل) که در طی تبدیل برق مستقیم به متناوب رخ می‌دهد. بازه اینورترهای سامانه فتوولتائیک از ۸۸ تا

ایستگاه و بررسی ظرفیت‌های موجود در عرصه مورد نظر، ظرفیت مطلوب نیروگاهی برای هر واحد و انرژی واقعی تولید شده در سال به‌دست آمد (Gevorkian, 2008).

### تحلیل محیط‌زیستی نیروگاه خورشیدی

برای بررسی اثرات مثبت محیط زیستی نیروگاه‌های تجدیدپذیر فتوولتائیک در جایگزینی با نیروگاه‌های فسیلی تولید برق از معادل تعداد بشکه نفت خام به ازاء هر میلیون کیلووات ساعت برق تولیدی استفاده شد. با توجه به انرژی برق تولیدی توسط هر نیروگاه فتوولتائیک در سال، معادل بشکه نفت خام مصرفی برای تولید این مقدار انرژی در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به‌دست آمد. در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی، گازهای آلاینده خروجی شامل  $\text{CO}_x$ ،  $\text{NO}_x$  و  $\text{SO}_x$  خواهد بود (Khaki et al., 2013; Kaabi, 2018; Nejadian, 2013; Satba, 2018) جدول (۲) مقادیر وزنی تولیدی این گازها به ازاء هر بشکه نفت خام و هزینه رفع آلودگی محیط‌زیستی (دلار) به ازای هر کیلوگرم را نشان می‌دهد (Anonymous, 2020):

جدول (۲): مقادیر گازهای آلاینده خروجی حاصل از احتراق نفت خام (Anonymous, 2020)

آلاینده	مقدار (کیلوگرم به ازاء هر بشکه نفت خام)	هزینه رفع آلودگی به ازاء هر کیلوگرم (دلار)
$\text{CO}_x$	۱۰/۶۵	۰/۲۴۳
$\text{NO}_x$	۲/۰۱	۶/۴۴۶
$\text{SO}_x$	۳/۵۹	۰/۸۸۳

### تحلیل اقتصادی نیروگاه خورشیدی

پس از مشخص شدن میزان تولید انرژی در نیروگاه‌های عرصه‌های مورد نظر، هر واحد به‌عنوان یک پروژه تولیدی یا یک بنگاه اقتصادی تلقی شد و سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و عملکرد بنگاه یاد شده به شرح زیر مورد ارزیابی و تحلیل اقتصادی قرار گرفت.

- اطلاعات مربوط به هزینه‌های سرمایه‌گذاری جهت اجرای پروژه
- اطلاعات مربوط به هزینه‌های جاری بعد از اجرای پروژه (دوران بهره‌برداری)
- اطلاعات مربوط به درآمدهای حاصل از فروش برق بعد از اجرای پروژه (دوران بهره‌برداری)

- اطلاعات مربوط به طول عمر پروژه و هزینه‌های استهلاک بعد از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات اقتصادی و محاسبه هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری، جدول گردش نقدی مالی پروژه تهیه و سپس با استفاده از روش‌های اقتصاد مهندسی تحلیل طرح‌ها، به ازایه معیارهای اقتصادی جهت ارزیابی پروژه مبادرت شد. بدیهی است در تحلیل‌های اقتصاد مهندسی برای ارزیابی پروژه‌ها از معیارها و ملاک‌های مختلف می‌توان استفاده کرد اما معیارهایی که برای ارزیابی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است به‌قرار زیر می‌باشند:

**الف- نرخ بازده داخلی<sup>(۷)</sup>:** نرخ بازده که جریان گردش نقدی یک پروژه را با سرمایه اولیه آن برابر می‌سازد. در این مطالعه نرخ



## تحلیل فنی

در طراحی پس از ورود داده‌هایی از قبیل مشخصات جغرافیایی منطقه و افت‌هایی از قبیل گرد و غبار، تلفات سیم‌بندی و مبدل<sup>(۸)</sup> و انتخاب اولیه نوع پنل و مبدل (توان و مدل)، مشخصات فنی پنل‌ها و مبدل‌ها، تعداد پنل‌ها و مبدل‌های مورد

نیاز، سطح خالص اشغال شده توسط پنل‌ها<sup>(۹)</sup> و در نهایت میزان انرژی برق تولیدی نیروگاه در هر ماه از سال به دست آمد. جدول (۳) داده‌های طراحی مربوط به ایستگاه‌های تحقیقاتی را نشان می‌دهد.

جدول (۳): گزارش طراحی نیروگاه فتوولتائیک در ایستگاه‌های تحقیقاتی

ایستگاه	توان اسمی (مگاوات)	تعداد پنل‌ها	زاویه استقرار پنل‌ها (درجه)	تعداد مبدل	سطح خالص پنل‌ها (مترمربع)
رودشت	۱۰	۳۳۳۲۶	۳۲/۵	۱۶۶	۶۴۶۶۶
فزه	۱۰	۳۳۳۲۶	۳۲/۶	۱۶۶	۶۴۶۶۶
مرتع سد زاینده‌رود	۱۰	۳۳۳۲۶	۳۲/۴	۱۶۶	۶۴۶۶۶
گله‌بلوچی بردسیر	۷	۲۳۳۳۲	۳۰	۱۱۶	۴۵۲۷۳
پردیس آموزش زرنند	۱۰	۳۳۳۲۶	۳۱	۱۶۶	۶۴۶۶۶
تحقیقات باغی برکه	۱	۴۰۰۲ (پنل ۲۵۰ وات)	۳۵	۱۷	۶۴۹۸

درصد)، انرژی موثر خروجی آرایه محاسبه خواهد شد. در نهایت با توجه به تلفات عملکرد مبدل (اینورتر) ۶۰ کیلووات سه فاز (طبق توصیه شرکت سازنده مساوی ۱/۷ درصد) و تلفات حاشیه ولتاژ (۰/۲ درصد)، انرژی خروجی نیروگاه که به شبکه سراسری تزریق می‌شود، به دست آمد.

جدول (۴): ضرایب افزایش تابش بر سطح تحت شیب پنل‌ها و تلفات حرارتی در ایستگاه‌های تحقیقاتی

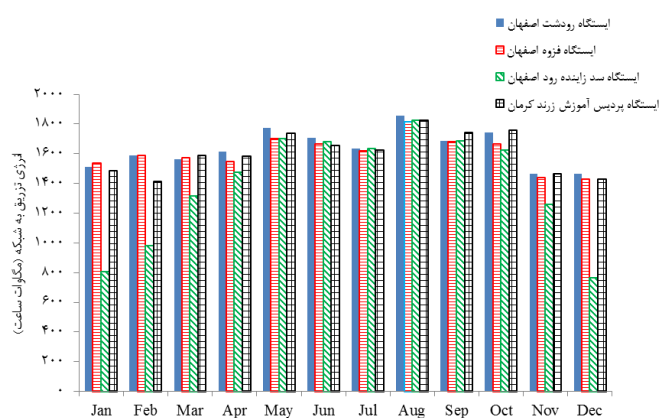
ایستگاه	افزایش تابش بر سطح تحت شیب پنل‌ها	تلفات حرارتی
رودشت	%۱۳/۳	%۱۱/۳
فزه	%۱۳/۴	%۱۱/۱
مرتع سد زاینده‌رود	%۷/۲	%۸/۶
گله‌بلوچی بردسیر	%۱۰/۵	%۱۰
پردیس آموزش زرنند	%۱۱/۴	%۱۱/۶
تحقیقات باغی برکه	%۱۳/۳	%۱۰/۹

تغییرات انرژی تزریق به شبکه در طول سال در نیروگاه‌های فتوولتائیک ۱۰ مگاواتی طراحی شده در ایستگاه‌های تحقیقاتی رودشت، فزه و سد زاینده رود استان اصفهان و ایستگاه پردیس آموزش زرنند استان کرمان در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین انرژی تولیدی از اواسط فصل بهار تا اوائل پاییز می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده، کمترین میزان تولید برق در ایستگاه سد زاینده رود نسبت به دو

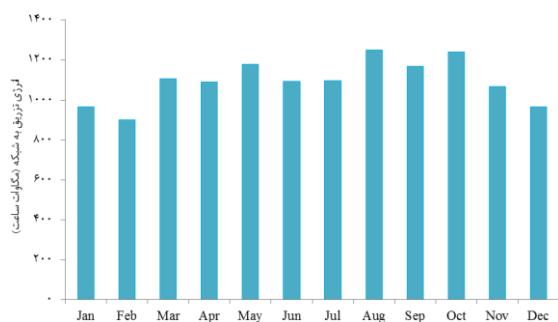
مطابق با ترازنامه انرژی مقدار تابش سالیانه بر سطح افق درصدی افزایش معادل مقدار انرژی دریافتی در سطح تحت شیب پنل‌ها خواهد بود. ضریب اصلاح زاویه شیب پنل‌ها<sup>(۱۰)</sup> معادل ۲/۵ درصد و تلفات گرد و غبار در سطح پنل‌ها معادل ۰/۱ درصد در نظر گرفته شده است (Anonymous, 2016). با توجه به تلفات یاد شده، تابش موثر بر سطح پنل‌ها<sup>(۱۱)</sup> (کیلووات ساعت بر مترمربع) و با توجه به سطح خالص پنل‌ها (جدول ۳) و نظر به بازده اعلام شده توسط کارخانه سازنده Yingli Solar برای پنل‌های ۳۰۰ وات و ۲۵۰ وات (۱۵/۴۶ درصد)، میزان انرژی تولیدی اسمی نیروگاه (مگاوات ساعت) به دست آمد. انرژی تولیدی پنل‌ها تحت شعاع تلفات حرارتی، تلفات به دلیل سطح تابش (۰/۲ درصد برای سطوح چمن و خاکی)، کاهش القاء نوری<sup>(۱۲)</sup> (۱/۳ درصد)، عدم تطابق داخلی مدول‌های آرایه<sup>(۱۳)</sup> (۱ درصد) و تلفات سیم‌بندی جریان مستقیم<sup>(۱۴)</sup> (۱/۱ درصد) است (Masters, 2012). طبق محاسبات طراحی برای ایستگاه‌های مختلف، این مقادیر توسط نرم افزار PVsyst محاسبه و در نظر گرفته شد. ضریب تلفات حرارتی پنل‌ها با توجه به مقادیر دما در هر منطقه قابل تخمین است (جدول ۴). ضریب افزایش شدت تابش بر سطح تخت شیب پنل‌ها در ایستگاه‌های مختلف محاسبه شده توسط نرم افزار نیز در جدول (۴) نشان داده شده است (Rahimi et al., 2018). با توجه به ضریب افزایش کیفیت آرایه (طبق توصیه کارخانه سازنده پنل مساوی ۰/۷

زاینده رود اصفهان و همچنین پردیس آموزش زرنده کرمان به ترتیب ۱۹۶۱۴، ۱۹۲۶۱، ۱۶۷۴۸ و ۱۹۳۰۹ مگاوات ساعت به دست آمد. قابل اذعان است که ایستگاه رودشت اصفهان شرایط مناسبی برای تولید برق در فصول مختلف سال دارد و با نتایج اعلام شده توسط (Taghvaei & Saboohi, 2017) که طی پهنه‌بندی در استان اصفهان، شهر نائین را (در یک موقعیت جغرافیایی با ایستگاه رودشت قرار دارد) بهترین مکان برای احداث نیروگاه فتوولتائیک اعلام کرده‌اند، مطابقت دارد.

ایستگاه دیگر، به علت کاهش شدت تابش بر سطح پنل‌ها (جدول ۴) می‌باشد. ارتفاع از سطح دریا و دما از فاکتورهای مهم در میزان دریافت تابش هستند به طوری که با کاهش دما و کاهش ارتفاع از سطح دریا، دریافت تابش کاهش می‌یابد (Taheri, 2021). در ایستگاه سد زاینده رود به علت سردتر بودن هوا، دریافت تابش و در نتیجه میزان برق تزریق به شبکه کمتری دارد. میزان برق تزریق به شبکه در طول یک سال برای ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی ۱۰ مگاواتی رودشت، فزوه و سد



شکل (۴): انرژی تزریق به شبکه در نیروگاه ۱۰ مگاواتی ایستگاه‌های رودشت، فزوه و سد زاینده‌رود استان اصفهان



شکل (۵): انرژی تزریق به شبکه در نیروگاه ۷ مگاواتی ایستگاه گله بلوچی بردسیر کرمان

میزان انرژی تزریق به شبکه در ایستگاه یک مگاواتی تحقیقات باغی برکه استان مرکزی در ماه‌های مختلف سال در شکل (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین انرژی تولیدی از اواسط فصل بهار تا آخر تابستان است. بر اساس نتایج به دست آمده تولید جمعی برق فتوولتائیک این نیروگاه ۱۷۱۱ مگاوات ساعت در سال می‌باشد.

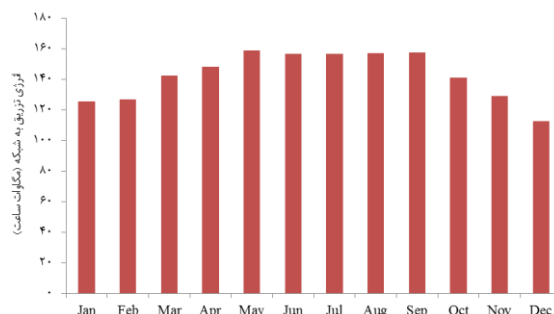
شکل (۵) انرژی تزریق به شبکه نیروگاه فتوولتائیک ۷ مگاواتی در ایستگاه تحقیقاتی گله‌بلوچی بردسیر را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین انرژی تولیدی از اواسط فصل بهار تا اوایل پاییز می‌باشد. همچنین بیشترین انرژی تزریق به شبکه در اواسط مرداد ماه معادل ۱۲۵۰ مگاوات ساعت است. مجموع کل انرژی تزریق به شبکه این نیروگاه در طی یک سال ۱۳۱۲۱ مگاوات ساعت به دست آمد. در تحقیقات انجام شده توسط (Badri et al., 2016) بیشترین میزان تولید در شهر کرمان برای یک نیروگاه ۵۰۰ کیلوواتی ۹۲۱ مگاوات ساعت گزارش شده است. این مقدار برای نیروگاه ۷ مگاواتی حدود ۱۲۸۹۵ مگاوات ساعت در سال خواهد شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این میزان تولید برق در مقایسه با نیروگاه گله بلوچی مقداری کمتر است که به علت ارتفاع کمتر شهر کرمان از سطح دریا (۱۷۵۵ متر) نسبت به ارتفاع شهر بردسیر از سطح دریا (۲۰۴۷ متر) می‌باشد.

فتوولتائیک در این ایستگاه‌ها از تولید حدود ۷/۷۴۷ تن آلاینده حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی برای تولید برق جلوگیری می‌نماید و صرفه اقتصادی حدود یک میلیون و هفتصد و بیست هزار و سیصد و چهل دلار بابت هزینه رفع آلودگی را به‌دنبال خواهد داشت. هزینه رفع آلودگی در قیمت خرید برق فتوولتائیک توسط وزارت نیرو لحاظ شده است لذا نیاز به اعمال این هزینه‌ها در محاسبات اقتصادی نمی‌باشد.

### تحلیل اقتصادی

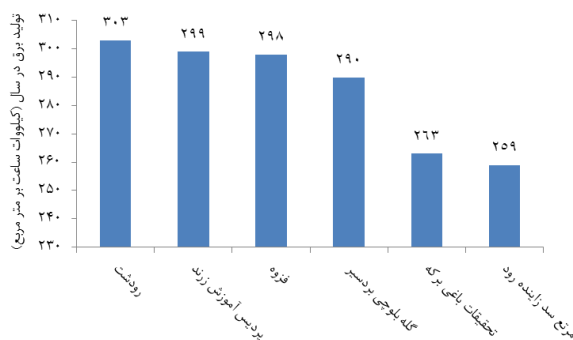
خلاصه اطلاعات تحلیل اقتصادی و حساسیت احداث و بهره برداری از نیروگاه‌های فتوولتائیک به تفکیک هر ایستگاه تحقیقاتی در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و بر اساس روش پیش گفته، مبتنی بر دو شاخص مهم قیمت تمام شده تولید هر کیلووات ساعت انرژی تولید شده و نرخ بازده داخلی در جدول (۶) ارائه شده است. با توجه به این نتایج، بسته به نرخ تنزیل مورد نظر قیمت تمام شده تولید هر کیلووات انرژی متفاوت است به‌صورتی‌که از حداقل ۱۷۷۰ ریال برای هر کیلووات ساعت در ایستگاه تحقیقاتی رودشت استان اصفهان با نرخ تنزیل صفر درصد و حداکثر ۸۲۱۴ ریال بر کیلووات ساعت با نرخ تنزیل ۱۸ درصد در ایستگاه تحقیقاتی سد زاینده رود استان اصفهان است. بررسی نرخ بازده داخلی سرمایه‌گذاری در اجرای طرح‌های مذکور، کمترین توجه اقتصادی با عدد ۹/۱ درصد و بیشترین آن با عدد ۱۱/۴ درصد نیز به‌ترتیب مربوط به اجرای طرح در ایستگاه تحقیقاتی سد زاینده رود و رودشت استان اصفهان است.

تحلیل حساسیت قیمت تمام شده تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه‌های فتوولتائیک مورد نظر با تعرفه خرید انرژی الکتریکی تولید شده (Anonymous, 2019) برای نرخ‌های تنزیل مختلف در شکل (۸) ارائه شده است. براساس این شکل، نقطه سر به سر میانگین قیمت تمام شده تولید انرژی در این عرصه‌ها با نرخ خرید انرژی در نرخ تنزیل ۱۴ درصد با حداقل عدد ۱۱/۵ برای بیشینه قیمت تمام شده و حداکثر ۱۶ درصد برای کمینه قیمت تمام شده، اتفاق می‌افتد. این بدان معنی است که برای داشتن توجه اقتصادی پروژه، نرخ تنزیل مورد نظر برای سرمایه‌گذار از این اعداد بایستی کمتر باشد. مقایسه این اعداد با نرخ سود سپرده‌های سرمایه‌گذاری بلند مدت با فرض ۱۵ درصد، حکایت



شکل (۶): انرژی تزریق به شبکه در نیروگاه ۱ مگاواتی ایستگاه تحقیقات باغی برکه استان مرکزی

تولید تجمعی برق در سال به ازاء هر متر مربع سطح پنل‌های خورشیدی در نیروگاه‌های برق فتوولتائیک طراحی شده در ایستگاه‌های تحقیقاتی، در شکل (۷) مقایسه شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان تولید در ایستگاه تحقیقاتی رودشت معادل ۳۰۳ کیلووات ساعت بر مترمربع و کمترین در ایستگاه‌های مرتع سد زاینده رود و تحقیقات باغی برکه معادل به ترتیب ۲۶۳ و ۲۵۹ کیلووات ساعت بر مترمربع است.



شکل (۷): تولید تجمعی برق در سال به ازاء هر مترمربع سطح دریافت تابش

### تحلیل محیط زیستی

هر میلیون کیلووات ساعت تولید برق معادل ۵۸۸ بشکه نفت خام است (Satba, 2018). بر اساس میزان تولید برق در هر ایستگاه، معادل بشکه نفت خام و کیلوگرم آلودگی توسط هر یک از آلاینده‌ها در سال به‌دست آمد. بر اساس هزینه رفع آلودگی برای هریک از گازهای آلاینده نامبرده (جدول ۲)، هزینه کل رفع آلودگی بر حسب دلار محاسبه شد. جدول (۵) خلاصه اطلاعات آلاینده‌ها و هزینه رفع آن در هر یک از ایستگاه‌های تحقیقاتی را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که احداث نیروگاه‌های

جدول (۵): نتایج محیط زیستی نیروگاه‌های فتوولتائیک در ایستگاه‌های تحقیقاتی

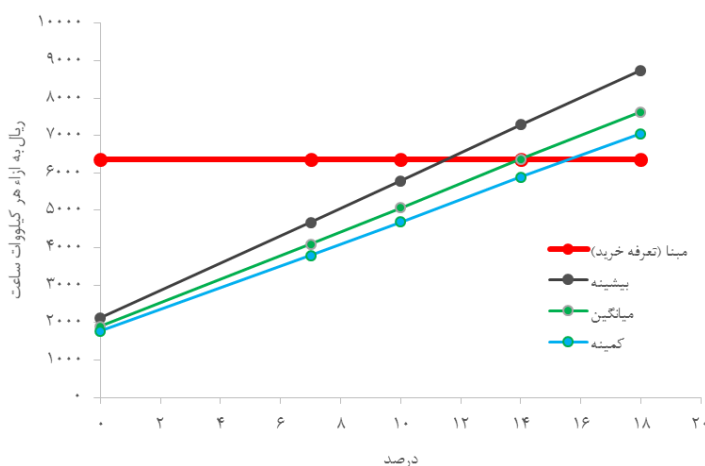
استان	ایستگاه	آلاینده	کیلوگرم به ازاء هر بشکه	برق تزریق به شبکه (میلیون کیلووات ساعت)	تعداد بشکه	کیلوگرم آلودگی کل در سال	هزینه کل آلودگی (دلار)	
اصفهان	رودشت	Co <sub>x</sub>	۲/۰۱	۱۹/۶۱۴	۱۱۵۳۳	۲۳۱۸۱/۳۳	۵۶۳/۳۰۶	
		No <sub>x</sub>	۳/۵۹			۴۱۴۰۳/۴۷	۲۶۶۸۸۶/۷۷	
		So <sub>x</sub>	۱۰/۶۵			۱۲۲۸۲۶/۴۵	۱۰۸۴۵۵/۷۵	
	فزوه	Co <sub>x</sub>	۲/۰۱	۱۹/۲۶۱	۱۱۳۲۵	۲۲۷۶۳/۲۵	۵۵۳/۱۵	
		No <sub>x</sub>	۳/۵۹			۴۰۶۷۶/۷۵	۲۶۲۰۷۳/۴۱	
		So <sub>x</sub>	۱۰/۶۵			۱۲۰۶۱۱/۲۵	۱۰۶۴۹۹/۷۳	
	سد زاینده‌رود	Co <sub>x</sub>	۲/۰۱	۱۶/۷۴۸	۹۸۴۸	۱۹۷۹۴/۴۸	۴۸۱/۰۰۶	
		No <sub>x</sub>	۳/۵۹			35354/32	۲۲۷۸۹۳/۹۵	
		So <sub>x</sub>	۱۰/۶۵			۱۰۴۸۸۱/۲۰	۹۲۶۱۰/۱۰	
کرمان	گله‌بلوچی بردسیر	Co <sub>x</sub>	۲/۰۱	۱۳/۱۲۱	۷۷۱۵	۱۵۵۰۷/۱۵	۳۷۶/۸۲	
		No <sub>x</sub>	۳/۵۹			۲۷۶۹۶/۸۵	۱۷۸۵۳۳/۸۹	
		So <sub>x</sub>	۱۰/۶۵			۸۲۱۶۴/۷۵	۷۲۵۵۱/۵۰	
	پردیس آموزش زرنند	Co <sub>x</sub>	۲/۰۱	۱۹/۳۰۹	۱۱۳۵۴	۲۲۸۲۱/۵۴	۵۵۴/۵۶	
		No <sub>x</sub>	۳/۵۹			۴۰۷۶۰/۸۶	۲۶۲۷۴۴/۵۰	
		So <sub>x</sub>	۱۰/۶۵			۱۲۰۹۲۰/۱۰	۱۰۶۷۷۲/۴۵	
	مرکزی	تحقیقات باغی برکه	Co <sub>x</sub>	۲/۰۱	۱/۷۱۱	۱۰۰۶	۲۰۲۲/۰۶	۴۹/۱۴
			No <sub>x</sub>	۳/۵۹			۳۶۱۱/۵۴	۲۳۳۷۹/۹۸
			So <sub>x</sub>	۱۰/۶۵			۱۰۷۱۳/۹۰	۹۴۶۰/۳۷
	جمع					۷۴۷۶۹/۱۸	۱۷۲۰۳۴۰/۴۰	

جدول (۶): تحلیل اقتصادی احداث و بهره برداری از نیروگاه‌های فتوولتائیک در ایستگاه‌های تحقیقاتی (۱۵)

نرخ بازده داخلی (درصد)	قیمت تمام شده (ریال بر کیلووات ساعت) در نرخ تنزیل					ایستگاه	استان
	%۱۸	%۱۴	%۱۰	%۷	%۰		
۱۱/۴	۷۰۵۳	۵۸۸۵	۴۶۹۴	۳۷۹۸	۱۷۷۰	رودشت	اصفهان
۱۱/۱	۷۱۷۷	۵۹۸۸	۴۷۷۵	۳۸۶۲	۱۷۹۷	فزوه	
۹/۱	۸۲۱۴	۶۸۴۵	۵۴۴۸	۴۳۹۷	۲۰۱۹	سد زاینده‌رود	
۱۰/۷	۷۳۶۹	۶۱۴۷	۴۸۹۹	۳۹۶۱	۱۸۳۸	گله‌بلوچی بردسیر	کرمان
۱۱/۱	۷۱۷۲	۵۹۸۴	۴۷۷۱	۳۸۵۹	۱۷۹۶	پردیس آموزش زرنند	
۹/۳	۸۰۵۳	۶۷۱۲	۵۳۴۴	۴۳۱۴	۱۹۸۵	تحقیقات باغی برکه	مرکزی
۱۱/۴	۸۲۱۴	۶۸۴۵	۵۴۴۸	۴۳۹۷	۲۰۱۹		بیشینه
۹/۱	۷۰۵۳	۵۸۸۵	۴۶۹۴	۳۷۹۸	۱۷۷۰		کمینه
۱۰/۲	۷۵۰۶	۶۲۶۰	۴۹۸۹	۴۰۳۲	۱۸۶۸		میانگین

نتایج مطالعه (Mahdavi Adeli & Khaje Naeini (2015) و (Baghani & Asadi (2020) ضمن تأیید توجیه اقتصادی پائین کاربرد نیروگاه‌های فتوولتائیک در مقایسه با نیروگاه‌های حرارتی با سوخت فسیلی، به ارایه مشوق‌های لازم برای توسعه آن‌ها تاکید می‌کنند و بنابراین با نتایج حاصل از این مطالعه، همخوانی دارد.

از عدم داشتن توجیه اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در این پروژه‌ها با استفاده از سرمایه شخصی است. بنابراین، اجرای چنین پروژه‌هایی بایستی از محل تسهیلات بانکی یا صندوق‌های توسعه سرمایه‌گذاری با نرخ سود کمتر از ۸ درصد (بر اساس کمیته نرخ تنزیل) صورت گیرد تا انگیزه ورود متقاضیان به این عرصه برقرار شود.



شکل (۸): مقایسه بیشینه، میانگین و کمینه قیمت تمام شده تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه‌های فتوولتائیک ایستگاه‌های تحقیقاتی با تعرفه خرید انرژی الکتریکی تولید شده برای نرخ‌های تنزیل مختلف

## نتیجه‌گیری

ایستگاه‌ها از تولید حدود ۷۴۷/۷ تن آلاینده حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی برای تولید برق جلوگیری می‌نماید و صرفه اقتصادی حدود یک میلیون و هفتصد و بیست هزار و سیصد و چهل دلار بابت هزینه رفع آلودگی را به‌دنبال خواهد داشت. با لحاظ تعرفه خرید انرژی الکتریکی در سال انجام مطالعه (۶۳۷۰ ریال بر کیلووات ساعت) احداث و بهره‌برداری از نیروگاه‌های فتوولتائیک در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی سازمان با سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و استفاده از تسهیلات اعتباری با نرخ معمول (بیش از ۱۰ درصد) از توجیه اقتصادی لازم برخوردار نیست و انگیزه‌ای برای ورود سرمایه‌گذار بخش خصوصی برای آن وجود ندارد. با این وجود، توصیه می‌گردد اجرای چنین پروژه‌هایی با عنایت به اهمیت تولید انرژی‌های پاک و منافع غیر مستقیم ناشی از اجرای آن‌ها، از محل تسهیلات بانکی یا صندوق‌های توسعه سرمایه‌گذاری برای توسعه در مناطق مشخص، با نرخ بهره کمتر از ۸ درصد (بر اساس کمیته نرخ تنزیل) صورت گیرد تا انگیزه ورود متقاضیان سرمایه‌گذاری به این عرصه برقرار گردد.

ارزیابی و پتانسیل‌سنجی سامانه‌های برق خورشیدی در مکان‌های مختلف در مقایسه با دیگر منابع تامین الکتریسیته، با توجه به هزینه‌بر بودن و همچنین عوامل مختلفی که بر عملکرد و بازدهی این سامانه‌ها تاثیر دارند، ضروری است. بدین منظور بایستی سامانه را در محل موردنظر با در نظر گرفتن عوامل تاثیرگذار، شبیه‌سازی کرد تا به درک و تصمیم‌گیری درستی برای انتخاب محل مناسب جهت نصب، دست یافت. افزایش شدت تابش باعث افزایش تولید برق می‌شود در حالی که افزایش دمای محیط کاهش تولید برق توسط سامانه فتوولتائیک را به‌دنبال خواهد داشت. در بررسی انجام شده در این مطالعه، بیشترین میزان تولید برق در سال در ایستگاه تحقیقاتی رودشت معادل ۳۰۳ کیلووات ساعت بر مترمربع و کمترین در ایستگاه‌های مرتع سد زاینده رود و تحقیقات باغی برکه به ترتیب معادل ۲۵۹ و ۲۶۳ کیلووات ساعت بر مترمربع است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک در این



## یادداشت‌ها

10. Incidence angle modifier (IAM)

11. Effective global irradiation

12. Light induced degradation (LID)

13. Module array mismatch loss

14. Ohmic wiring loss

۱۵. در تاریخ تهیه تحلیل‌های مربوطه، نرخ برابری هر دلار آمریکا معادل ۲۵۶۰۰۰ ریال بوده است.

1. Exergoeconomic

2. Exergoenvironmental

3. Spatio-temporal

4. Extended exergy accounting

5. DC wiring

6. AC wiring

7. Internal Rate of Return Method

8. Inverter

9. Module areas

## فهرست منابع

Aghahosseini, A.; Bogdanov, D.; Ghorbani, N. & Breyer, C. 2018. Analysis of 100% Renewable Energy for Iran in 2030: Integrating Solar PV, Wind Energy and Storage. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 15(1): 17–36.

Aghbashlo, M.; Tabatabaei, M.; Rahnama, E. & Rosen, M.A. 2020. A new systematic decision support framework based on solar extended exergy accounting performance to prioritize photovoltaic sites. *Journal of Cleaner Production*. 256 (120356).

Alamdari, A.; Alemrajabi, A. & Nematollahi, O. 2013. Solar Energy Potentials in Iran: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 21: 778–88.

Anonymous. 2016. PV syst V 6.43, Premium, Photovoltaic System Software.

Anonymous. 2017. Meteonorm.7.1.3.19872 user's guide.

Anonymous. 2018. Information collection of stations and research bases. The report of Technical and Support Services Office, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). (In Persian).

Anonymous. 2019. Renewable electricity purchase tariffs. Ministry of Energy, Organization of Renewable Energy and Electricity Energy Efficiency, <http://www.satba.gov.ir>. (In Persian).

Anonymous. 2020. Energy balance sheet (Milion barrel of oil equivalent). Ministry of Energy, Electricity and Energy Planning and Macroeconomics Office, <http://www.isn.moe.gov.ir>. (In Persian).

Badri, A.; Emadifar, R.; Vafae, S. & Eldoromi, M. 2016. Simulation and evaluation of solar potential in Tehran, Kerman and Yazd for a 500 kW photovoltaic power plant using PVsyst software. *Iranian Journal of Energy*. 19(1): 153-166. (In Persian).

Baghani, J. & Asadi, H. 2020. Economic Assessment of the Use of Solar Energy and National Electricity Network Energy in Pressurized Irrigation Systems. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Sciences)*. 34(3): 375-387. (In Persian).

Edalati, S.; Ameri, M.; Iranmanesh, M.; Tarmahi, H. & Gholampour, M. 2016. Technical and economic assessments of grid-connected photovoltaic power plants: Iran case study. *Energy*. 114: 923-934.

Fereidooni, M.; Mostafaeipour, A.; Kalantar, V. & Goudarzi, H. 2018. A comprehensive evaluation of hydrogen production from photovoltaic power station. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 82: 415-423.

Gevorkian, P. 2008. *Solar Power in Building Design*. Mc Graw Hill Publishing Company, New York, USA, pp. 95-116.

Gholamnia, A.; Mobin, M.H.; Jebali, A. & Alipor, H. 2016. Modeling and zoning solar energy received at the earth's surface in arid and semiarid regions of central Iran. *Journal of Water and Soil*. 30(4): 1294-1308. (In Persian).

Kaabi Nejadian, A.R. 2013. *New Energies Technology*. Gissom Publication, 208 pp. (In Persian).

- Khakbaz, M.H. & Roustapour, O.R. 2016. A comparison between performance of Maximum Power Point Tracking (MPPT) and Pulse Width Modulation (PWM) control chargers. *Future and Energy Journal*. 1(2): 10-16. (In Persian).
- Khaki, A.R.; Dastanian, M. & Hosein Nejad, A.R. 2013. Evaluation of reduction of environmental pollution of fossil fuel power plants by replacing photovoltaic systems. *The Second National Conference on Environmental Protection and Planning*. (In Persian).
- Mahdavi Adeli, M.H. & Khaje Naeini, R. 2015. Financial evaluation of electricity generation using solar energy in Iran. *Monetary & Financial Economics*. 21(7): 105-126. (In Persian).
- Masters, G. M. 2013. *Renewable and efficient electric power systems*. John Wiley & Sons.
- Mojarrad, F.; Fathnia, A. & Rajaei, S. 2015. The estimation of receiving solar radiation at earth's surface in Kermanshah province. *Arid Regions Geographic Studies*. 5(19): 55-69. (In Persian).
- Mojarrad, F. & Moradi, K. 2014. A study of anomalies and trends of sunshine hours in Iran. *Geography and Development Iranian Journal*. 12(34): 153-165. (In Persian).
- Momenzadeh, Z.; Kalantari, S.; Tazeh, M. & Thizadeh, R. 2021. Zoning and locating solar power station using AHP and GIS in Yazd province. *Journal of Environmental Science and Technology*. 22(12): 259-271. (In Persian).
- Moshtagh, A. & Roshandel, R. 2015. Determination the influence of temperature variation on output power of photovoltaic panels in solar power system. *International Conference on Research in Science and Technology*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Nohegar, A.; Kamangar, M.; Karami, P. & Ahmadidoost, B. 2016. Locating sustainable energy power plant through Topsis decision making procedure. *Environmental Based Territorial Planning (Amayesh)*. 9(33): 25-44. (In Persian).
- Peishi, Wu.; Xiaoming, Ma.; Junping, Ji. & Yunrong, Ma. 2017. Review on life cycle assessment of energy payback of solar photovoltaic systems and a case study. *Energy Procedia*. 105: 68-74.
- Pillai, G. & Yaqoob Naser, H. 2017. Assessing the technical impact of integrating largescale photovoltaics to the electrical power network of Bahrain. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 20: 78-87.
- Rahimi, A.; Karbalaee Dorei, A.R. & Karbalaee, M.R. 2018. Optimal slope and azimuth analysis for photovoltaic panels based on solar radiation in Kashan. *Journal of geographical Sciences*. 18(49): 59-74. (In Persian).
- Rahnama, E.; Aghbashlo, M.; Tabatabaei, M.; Khanali, M. & Rosen, M. A. 2019. Spatio-temporal solar exergoeconomic and exergoenvironmental maps for photovoltaic systems. *Energy Conversion and Management*. 195: 701-711.
- Roustapour, O.R.; Nikoui, A.R. & Sharifi Malvajerdi, A. 2020. Feasibility study of establishing photovoltaic power stations on Research Centers and Institutes of AREEO. *Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)*. No.: 59409, 203 pp. (In Persian).
- Taghvaei, M. & Saboohi, E. 2017. Zoning and location climate of a solar power plant in Esfahan province. *Research and Urban Planning*. 8(28): 61-82. (In Persian).
- Taheri, M. 2021. Investigating the effect of parameters of temperature, radiation and height above sea level in order to measure the potential of building a photovoltaic power plant in the cities of Kerman province. *First National Conference of Optimizing in Renewable Energies*. Jundishapur University of Technology, Dezful. (In Persian).
- WWW.satba.gov.ir/suna\_content/media/image/2017/02/5196. *Renewable Energy in Iran*. May 23, 2018. (In Persian).