The University of Tehran Press

Journal of Sustainable Energy Systems Online ISSN: 2980-8693

Home Page: https://ses.ut.ac.ir

Providing sustainable energy to solve the energy shortage in Hormozgan province using solar power plants

Majid Zarezadeh

Expert in energy audit, Department of Energy and Environment, Iranian National Standard Organization, Bandar Abbas, Iran.
Email: majid_zarezadeh_nu@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 28 July 2023
Revised 23 September 2023
Accepted 23 October 2023
Published Online 08 August 2024

Keywords:
ArcGIS,
PVSol,
solar energy,
site selection,
simulation.

ABSTRACT

The lack of energy in Hormozgan province and the need for a sustainable energy supply, especially in the hot seasons, has always been an important challenge for this province. Due to the current limitations in supplying the current 1000 Mw required energy shortage, the current procedure is to reduce consumption and planned shutdowns. This issue has caused losses to the industries of the province and is an obstacle to facilitating trade. The existence of flat and non-cultivable land as well as the suitable climate in Hormozgan province and Bandar Abbas city is a good potential for installing solar power plants and related panels. In this research, three pieces of land have been selected and the construction of this power plant has been simulated using the PVSol software, according to the technical requirements and limitations of ArcGIS. Their economic and environmental conditions have been analyzed using RETScreen software. According to the appropriate topology of the selected areas, and suitable climatic and weather conditions, the output power of the 154 Mw power plants has been estimated and the performance ratio (PR) in them is predicted to be more than 70%. It is suitable and acceptable. Also, the suitable conditions of these power plants have shown that in the case of investment, the return of the investor's cost is between 5 to 6 years, and this project is economically affordable and ultimately leads to sustainable energy production and solving the city's problem. It will be Bandar Abbas and Hormozgan province.

Cite this article: Zarezadeh, M. (2024). Providing sustainable energy to solve the energy shortage in Hormozgan province using solar power plants. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 3 (1), 23-38. DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.376591.1067

© Majid Zarezadeh **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.376591.1067

1. Introduction

In Hormozgan, 3 large power plants and 2 small power plants produce electricity, and the total electricity produced in this province is 2350 MW at best. Energy consumption in the province is 3300 MW, of which there is a shortage of 1000 MW of electricity. In the past 5 years, due to the increase in electricity consumption and the decrease in the production of electric power plants, it was not possible to import electricity from the national grid, and for this reason, planned power outages have been implemented to compensate for the deficit of electric energy. Investigating the use of renewable energies such as marine turbines, bio cells, and solar energy and their feasibility can be a suitable solution to solve this problem. One of the ways to use stable and separate electricity from the national grid for production units in these areas is to use renewable energy, especially solar energy. The use of solar energy in Hormozgan province is not properly understood due to the view that the climate of the province has high humidity and dusty conditions, but the results of different research have shown that solar cells can also work in tropical regions are acceptable.

2. Material and Method

In this research, after studying and reviewing the articles and research related to the topic, the climatic conditions of Bandar Abbas city have been studied first. The most important issue in installing solar panels is the amount of sunlight in the area. After that, according to the technical requirements for installing solar panels and using ArcGIS software, suitable places for installing solar panels have been selected. Finally, the simulation of the amount of output energy according to the selected conditions and the desired location has been checked by PVSol software, and its economic benefit has been estimated by RETScreen software. The data were obtained from 20 years of radiation and climate data of the Bandar Abbas region. Choosing the right location for installing the solar power plant and its panels is of vital importance. Based on this, by determining the importance coefficient of each of these factors and combining them with the ArcGIS geographic information system identified the most suitable lands and locations. 8 plots location with different sizes are selected and entered into the ArcGIS spatial analysis and site-selection system using the mentioned criteria. After choosing the right position for installing solar panel systems, it is necessary to perform a simulation based on these criteria. PVSOL Premium software version 2021 was used for simulation. RETScreen software has been used to estimate the environmental effects of simulated solar power plants. Based on the presented economic model and the conditions of guaranteed purchase of electricity in Iran, the return of capital from this project is 5 years. Also, from the environmental point of view, this project is in such a way that if fossil or gas power plants are built to produce the same amount of energy, more than 109600 tons of carbon dioxide gas will be produced. As a result, this project will reduce the same amount of harmful CO_2 gas.

3. Results and Discussion

The output data of the simulation shown that the construction of a solar power plant in non-cultivable land around Bandar Abbas can supply the needs of this city with clean and renewable solar energy. The low cloudiness of the region and the low rainfall of this city are advantages that will increase the efficiency of these power plants. The presence of constant humidity in most months of the year has led to the fact that the temperature of the area does not increase too much, and this has caused the benefit of this equipment to increase. Based on the output of the simulation results, the average amount of direct vertical radiation in the studied area in all months of the year is more than 100 kWh/m^2, and its maximum is in June with an average value of 170 kWh/m^2. This amount of energy will increase the efficiency of solar panels.The topology of the selected areas using the spatial selection feature of ArcGIS is in such a way that there is minimal shading on the installed panels and as a result, the reduction of the output power efficiency for these panels is less than 1% per year, and as a result, the performance ratio in the study area will be more than 70%.

4. Conclusions

The need of Hormozgan province and Bandar Abbas city for sustainable and non-polluting energy is a necessity that, if not paid attention to, will lead to the continuation of the problem of sustainable energy supply. The use of renewable solar energy in Bandar Abbas city can be very efficient. The low maintenance cost of these power plants compared to other energy production methods is an incentive to use this method to produce and provide energy. Supplying energy similar to this 154 MW power plant using fossil power plants, in addition to costing five times more than solar power plants, brings a large amount of polluting and destructive gases into the environment.

انتشارات دانشگاه تهران

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

تأمین انرژی پایدار برای رفع کمبود انرژی استان هرمزگان با استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی

مجید زارع‌زاده

دکتری هیدرولوژی دریا، بخش انرژی و محیط زیست، سازمان ملی استاندارد، بندرعباس، ایران. رایانامه: majid_zarezadeh_nu@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۱۸

کلیدواژه:
انتخاب موقعیت،
انرژی خورشیدی،
شبیه‌سازی،
ArcGIS،
PVSol.

چکیده

کمبود انرژی در استان هرمزگان و نیاز به تأمین انرژی پایدار به‌ویژه در فصل‌های گرم سال همواره چالشی مهم برای این استان بوده است. با توجه به محدودیت‌های موجود فعلی در تأمین کمبود انرژی مورد نیاز Mw ۱۰۰۰، تنها راهکار، کاهش مصرف، و همراه با خاموشی‌های برنامه‌ریزی شده است. این موضوع موجب ضرر و زیان به صنایع استان و مانعی برای تسهیل تجارت شده است. وجود زمین‌های مسطح و غیرقابل کشت و همچنین، اقلیم مناسب منطقهٔ استان هرمزگان و شهر بندرعباس، پتانسیل مناسبی برای نصب نیروگاه‌های خورشیدی و پنل‌های مربوط به آن است. در این پژوهش با استفاده از قابلیت انتخاب موقعیت مناسب ArcGIS، متناسب با الزامات فنی و محدودیت‌های موجود، سه قطعه زمین انتخاب و توسط نرم‌افزار PVSol، ساخت نیروگاه شبیه‌سازی شده است. پس از شبیه‌سازی نیروگاه خورشیدی، شرایط اقتصادی و زیست‌محیطی آن‌ها توسط نرم‌افزار RETScreen تجزیه‌وتحلیل شده است. بر اساس نتایج خروجی از نرم‌افزارها، با توجه به توپولوژی مناسب مناطق انتخاب‌شده، شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی مناسب، توان خروجی نیروگاه ۱۵۴ MW تخمین زده شده است و ضریب عملکرد در آن‌ها بیش از ۷۰ درصد پیش‌بینی شده، که مقدار مناسب و قابل قبولی است. همچنین، شرایط مناسب این نیروگاه‌ها نشان داده است که در صورت سرمایه‌گذاری، برگشت هزینهٔ سرمایه‌گذار بین ۵ تا ۶ سال است و این پروژه از لحاظ اقتصادی به‌صرفه و در نهایت موجب تولید انرژی پایدار و رفع مشکل شهر بندرعباس و استان هرمزگان خواهد شد.

استناد: زارع‌زاده، مجید. (۱۴۰۲). تأمین انرژی پایدار برای رفع کمبود انرژی استان هرمزگان با استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی. *فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار*، ۳ (۱) ۲۳-۳۸. DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.376591.1067

© مجید زارع‌زاده

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.376591.1067

۱. مقدمه

استان هرمزگان جنوبی‌ترین استان کشور با مساحتی حدود ۶۸۴۷۶ کیلومترمربع، حدود ۷/۴ درصد از مساحت ایران را به خود اختصاص داده است. بر اساس اطلاعات سامانهٔ خدمات سرمایه‌گذاری استان هرمزگان[1]، این استان و مرکز آن، شهر بندرعباس، از مهم‌ترین شهرهای کشور در اقتصاد سیاسی است. بیش از ۶۰ درصد صادرات، و ۵۸ درصد واردات کشور از بنادر شهر بندرعباس صورت می‌پذیرد. توسعهٔ نامتوازن و عدم به‌کارگیری تمامی ظرفیت‌های استان هرمزگان برای توسعه سبب شده، توسعهٔ صنایع متناسب با زیرساخت‌های بنیادی صورت نپذیرد و با چالش‌هایی همراه باشد. به نقل از این پایگاه خدمات سرمایه‌گذاری، مهم‌ترین مشکل در این حوزه، نبود زیرساخت لازم تأمین منابع انرژی و آب برای صنایع، تجارت و مصرف خانگی است که متناسب با روند توسعهٔ تجاری و صنعتی استان نبوده است. در هرمزگان ۳ نیروگاه بزرگ، و ۲ نیروگاه کوچک برق تولید می‌کنند، که کل برق تولیدی در این استان در بهترین حالت ۲۳۵۰ MW است. از دیگر سو، مصرف انرژی در استان ۳۳۰۰ MW است که ۱۰۰۰ MW کمبود انرژی وجود دارد. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند توربین‌های دریایی، بیوسل‌ها، و انرژی خورشیدی می‌تواند راه حل مناسبی برای رفع این کمبود منابع انرژی باشد. یکی از روش‌هایی که می‌توان برق پایدار و مجزا از شبکهٔ سراسری برای واحدهای تولیدی موجود در این مناطق به کار برد، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌ویژه انرژی خورشیدی است. استفاده از انرژی خورشیدی در استان هرمزگان به علت این دیدگاه که اقلیم استان دارای رطوبت بالا و شرایط غبارآلودی است، به شکل مناسبی درک نشده، اما نتایج پژوهش‌های متفاوت نشان داده است که سلول‌های خورشیدی در مناطق حاره‌ای نیز دارای عملکرد قابل قبولی هستند [۱ـ ۳]. پژوهش‌های صورت‌گرفته برای تأمین انرژی واحدهای تولیدی مستقر در شهرک‌های صنعتی، و بررسی الزامات مورد نیاز آن‌ها نشان داده است که علاوه بر نصب پنل خورشیدی به عنوان بام ساختمان این واحدها، می‌توان با ایجاد زیرساخت مناسب در این شهرک‌ها، و تخصیص زمین با موقعیت توپولوژی مناسب، چالش ناترازی انرژی در صنایع استان هرمزگان را تا حدودی رفع خواهد کرد [۴]. هفتمین برنامهٔ توسعهٔ سازمان ملل با عنوان انرژی پاک و قابل دسترس، مطمئن، پایدار برای همه[2]، تأکید فراوانی بر گسترش زیرساخت انرژی تجدیدپذیر و ارتقای فناوری برای تأمین خدمات نوین دارد. برنامهٔ یادشده سازمان ملل در نظر دارد به صورت تدریجی، و با بهره‌گیری از زیرساخت‌های اقتصاد دیجیتال و توسعهٔ صنایع زیرساختی انرژی‌های سبز همچون انرژی خورشیدی، بیش از ۴۰۰ میلیون شغل در جهان ایجاد کند [۵]. بر این اساس، رویکرد بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته، و در حال توسعه به سمت استفاده از این انرژی پاک است. بنگلادش از کشورهای در حال توسعهٔ صنعتی است که توجه ویژه‌ای به استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی صنایع خود دارد. پژوهشی در این کشور برای تأمین برق مورد نیاز واحدهای تولیدی و کارگاه‌ها با استفاده از نصب پنل‌های خورشیدی بر بام این کارخانه‌ها، مساحت مؤثر بام این ساختمان‌ها محاسبه و بر اساس مدل‌سازی، مشخص شد امکان تولید ۷/۴ GW_p انرژی و سالیانه ۱۱ TWh برق از این پنل‌های خورشیدی وجود دارد [۶]. پژوهشی دیگر در کشور امارات متحدهٔ عربی، با اقلیمی گرم و خشک، بهره‌وری نصب پنل خورشیدی برای تولید برق پایدار، روی بام کارخانه‌ای بزرگ بررسی شد. در این پژوهش پنج روش متفاوت (پنل‌های ثابت، پنل متحرک، ذخیره‌سازی در باتری، فروش ۵۰ درصد انرژی تولیدی و فروش ۱۰۰ درصد انرژی تولیدی) مورد بررسی و پایش قرار گرفت. نتایج نشان داد روش پنل متحرک با فروش ۵۰ درصد به شبکه، حالت بهینهٔ فنی و اقتصادی برای این واحد تولیدی است [۷]. به‌کارگیری پنل‌های خورشیدی برای تأمین انرژی در معادن رو به فزونی است. در پژوهشی بزرگ و با دامنهٔ وسیع، استفاده از این فناوری برای تأمین انرژی معادن در هفت معدن در کشورهای مختلف بررسی شده است. نتیجهٔ تحقیق نشان داد استفاده از پنل‌های دارای سیستم لوله‌کشی خنک‌کننده موجب افزایش ۱۰ درصد بهره‌وری تولید، و تأمین انرژی پایدار در این معادن شده و با شرایط اقلیمی گرم انطباق مناسبی برقرار کرده است [۸]. در پژوهشی در کشور شیلی از انرژی تولیدی توسط نیروگاه خورشیدی برای راه‌اندازی معدن مس استفاده شد. در این طرح برای هر فرایند بهره‌برداری در این معدن، در شمال کشور شیلی نیروگاه‌هایی با توان ۱۹۶ MW، ۱۴۱ MW، ۱۰۴ MW، ۱۰۰٫۶ MW و ۱۶۰ MW طراحی و راه‌اندازی شد. به‌کارگیری این

1. www.investinhormozgan.ir/fa-ir/
2. Affordable and clean Energy, Ensure access, reliable, sustainable for all

نیروگاه‌ها علاوه بر تأمین انرژی پایدار برای تولید مس در معدن، موجب کاهش محسوس میزان گازهای گلخانه‌ای تولیدی بر اثر استفاده از مولدهای دیزلی برای تولید و افزایش خلوص محصول مس نهایی شدند [۹]. کشور عربستان سعودی، علی‌رغم داشتن منابع سرشار انرژی نفت و گاز، به دنبال توسعهٔ نیروگاه‌های خورشیدی به میزان GW ۴۰ تا سال ۲۰۳۰ است. بر اساس این طرح، با ساخت چندین نیروگاه‌ها MW ۱۰۰ در سرتاسر کشور عربستان به دنبال ایجاد این میزان از انرژی است، و با استفاده از سرمایه‌گذاری بخش خصوصی کشورهای پیشرفته، زنجیره‌ای برای تأمین کلیهٔ تجهیزات مورد نیاز و ایجاد دو مزرعه در نزدیکی شهرهای جده و ریاض جانمایی شده است [۱۰]. با نصب پنل‌های خورشیدی در واحدهای آب‌شیرین‌کن اسمز معکوس، علاوه بر شیرین کردن آب، با استفاده از انرژی تجدیدپذیر میزان آلایندگی در این واحدهای صنعتی به شکل محسوسی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، با استفاده از سیستم لوله‌کشی خنک‌کنندهٔ تجهیزات اسمز، حرارت ایجادشده روی پنل کاهش می‌یابد و موجب افزایش کارایی این تجهیزات می‌شود [۱۱]. برای تأمین انرژی کشتی‌های گردشی و تفریحی در کشور یونان با به‌کارگیری پنل خورشیدی به کار رفته است. نتایج این پژوهش نشان داده است که به‌کارگیری پنل‌های متناسب با شرایط رطوبت و دمای هوا منطقه، طرح قابل انجام در مناطق دریایی کشور یونان است و می‌تواند جایگزین موتورهای دیزلی شود [۱۲]. به‌کارگیری پنل خورشیدی به عنوان بام سازهٔ گلخانه از فناوری‌های نوینی است که در کشورهای توسعه‌یافته پیشرفت شگرفی داشته است و نتایج پژوهش‌ها نشان داده که بهره‌وری فرایند کشت در این فناوری بهبود یافته، و فرایندی اقتصادی است [۱۳]. به منظور پاسخ‌گویی به نیازهای جهانی انرژی با انرژی‌های تجدیدپذیر پاک مانند سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی (PV)، به دلیل ماهیت نسبتاً پراکندهٔ انرژی خورشیدی، به سطح مساحت وسیعی نیاز است. استفاده از زمین‌های بزرگ برای مزارع خورشیدی رقابت برای منابع زمین را افزایش می‌دهد، زیرا تقاضای تولید غذا و تقاضای انرژی هم در حال رشد است و هر دو برای منابع محدود زمین رقابت می‌کنند. این چالش‌های زمین همراه را می‌توان با استفاده از مفهوم agrivoltaics یا توسعهٔ مشترک یک منطقه از زمین برای انرژی PV خورشیدی و همچنین، برای کشاورزی معمولی بهبود بخشید. نتایج نشان داد ارزش برق تولیدشدهٔ خورشیدی همراه با تولید محصول مقاوم در برابر سایه، بیش از ۳۰ درصد افزایش در ارزش اقتصادی مزارع به‌کارگیری سیستم‌های agrivoltaic به جای کشاورزی معمولی ایجاد کرده است [۱۴].

شاید یکی از مشکلات موجود در این حوزه، به‌ویژه در جنوب کشور ایران، شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی آن است که سرمایه‌گذاران و سیاست‌مردان را برای سرمایه‌گذاری در این این مناطق دچار تردید کرده است. اما نتایج متفاوت در سایر کشورها با شرایط اقلیمی مشابه با مناطق جنوب ایران نظیر هند، مالزی، اندونزی، کلمبیا و عراق نشان داده که بهره‌وری این پنل‌ها در این مناطق در حد قابل قبولی بوده است. علاوه بر اینکه با استفاده از تکنیک‌های چرخه‌های آب و استفادهٔ دوگانه به عنوان مانع روی مخازن و سدها، می‌توان موجب افزایش توان خروجی پنل خورشیدی شد و بر افزایش بیش از اندازهٔ دمای محیط غالب شد [۱۵ـ ۲۱]. در این میان تحقیقاتی نیز در ایران صورت پذیرفته و نشان داده است در شرایط و اقلیم جنوب کشور، استان‌های هرمزگان و خوزستان، شرایط محیطی و اقلیم به شکلی است که امکان نصب و به‌کارگیری پنل‌های خورشیدی با بهرهٔ مناسب و ضریب عملکرد بالای ۰/۷۵ وجود دارد [۲۲ـ ۲۴]. در این بین مهم است که با استفاده از فناوری‌های نوین و بررسی موقعیت نصب تجهیزات، به بهترین بهره‌وری از توان خروجی دست یافت. عمده پژوهش‌های انجام‌شده در این بخش با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS اقدام به انتخاب موقعیت[1] کرده‌اند و نتایج حاصل نشان داده است که به‌کارگیری این روش به افزایش ضریب عملکرد و کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از دوباره‌کاری منجر می‌شود [۲۵ـ ۲۹] و در نهایت بر اساس نتایج کلیهٔ این پژوهش‌ها، علاوه بر اینکه به تولید انرژی پاک و پایدار منجر می‌شوند، موجب کاهش محسوس آلایندگی و جلوگیری از تولید گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، خواهند شد [۳۰].

در پژوهشی مشابه در ایران و در شهر سیرجان، محققان با بررسی زمین‌های موات در اطراف این شهر به این نتیجه رسیدند که با سرمایه‌گذاری حدود ۱۶ میلیون دلار، می‌توان نیروگاه با توان MW ۱۰ طراحی و راه‌اندازی کرد. این طرح از لحاظ اقتصادی نیز به‌صرفه بوده و بازگشت سرمایه‌گذاری در آن حدود ۴ سال برآورد شده است [۳۱]. برای تأمین انرژی شهرک‌های

1. Site-Selection

صنعتی استان هرمزگان در زمین‌های متروک این شهرک که قابلیت کاربری دیگر نداشتند، نیروگاه خورشیدی MW ۴ طراحی و مدل‌سازی شده است که نتایج نشان داده است ضریب عملکرد این نیروگاه در بیشتر فصل‌های سال بیش از ۸۴ درصد است [۲۲]. در دیگر پژوهش با استفاده از معیارهای اقتصادی و فنی با استفاده از نرم‌افزار GIS در منطقهٔ سیستان و بلوچستان مناطق این استان برای یافتن بهترین مناطق و زمین‌های مستعد نصب نیروگاه خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته که نتایج آن نشان داد مناطق شمالی، مرکزی و جنوب شرقی این استان برای نصب این نیروگاه‌ها بسیار مناسب بوده که حدود ۶۶ درصد این استان را شامل می‌شود [۳۲]. گروهی از پژوهشگران هندی امکان نصب نیروگاه خورشیدی را در منطقهٔ بنگال غربی این کشور بررسی و ارزیابی کرده‌اند. این محققان با استفاده از تکنیک‌های AHP و سنجش از دور و روش‌های چندمعیاری این مطالعه را انجام داده‌اند. بر اساس نتایج این تحقیق ۵/۶۲ درصد، حدود km^2 ۲۴۹/۵۴، زمین‌های این منطقه به هیچ عنوان امکان نصب نیروگاه خورشیدی را نداشتند. همچنین ۳۲/۴۳ درصد از این زمین‌ها به وسعت km^2 ۱۴۳۸/۱۵ پتانسیل بسیار مناسبی برای نصب پنل خورشیدی داشته‌اند [۳۳].

لذا با توجه به این پیشینه و کارهای مشابه، امکان‌سنجی مشابهی با استفاده از تکنیک‌های آماری و GIS برای یافتن موقعیت و زمین مناسب نصب در شهر بندرعباس انجام شد. در این پژوهش برای مدل‌سازی تابش مستقیم و تابش مایل روی پنل‌ها، روش‌های عددی متفاوتی نظیر Hoffmann، Reindl reduced، Orgill & Hollands، Perez & Ineichen، و... را انجام داده و با تغییر پارامترهای متفاوت و بررسی هر یک از این داده‌ها با داده‌های میدانی مناسب‌ترین روش که با توجه به اقلیم منطقه، موقعیت جغرافیایی و عرض جغرافیایی منطقه مورد بحث بوده است. در پژوهش انجام‌شده ضمن مقایسهٔ داده‌های اقلیمی از پایگاه‌های دادهٔ بین‌المللی، هم‌زمان داده‌های ۲۰ سالهٔ ایستگاه هواشناسی شهر بندرعباس اخذ شده، و برای یافتن بهترین نتیجهٔ خروجی مدل‌سازی، با الگوریتم‌های بیان‌شده مقایسه شده است. همچنین، تلفیق هم‌زمان چندین نرم‌افزار شامل PVSol، RETScreen و ArcGIS و به‌کارگیری داده‌های تلفیقی آن‌ها با یکدیگر از دیگر فرایندهایی است که در کمتر پژوهشی به کار رفته است.

۲. روش تحقیق

در این تحقیق پس از مطالعه و بررسی مقالات و پژوهش‌های مرتبط با موضوع، ابتدا شرایط اقلیمی شهر بندرعباس مورد مطالعه قرار گرفته است. مهم‌ترین موضوع در نصب پنل‌های خورشیدی میزان تابش خورشید در منطقه است. پس از آن، با توجه به الزامات فنی مورد نیاز برای نصب پنل‌های خورشیدی و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS مکان‌های مناسب برای نصب پنل‌های خورشیدی انتخاب شده‌اند. در نهایت، شبیه‌سازی میزان انرژی خروجی مطابق با شرایط انتخابی و موقعیت مد نظر توسط نرم‌افزار PVSol بررسی شده است و میزان بهرهٔ اقتصادی آن توسط نرم‌افزار RETScreen برآورد شده است (شکل ۱).

۲. ۱. بررسی شرایط اقلیمی منطقهٔ مطالعه‌شده

برای به دست آوردن داده‌های قابل اطمینان از میزان تابش و محدودهٔ دما، میزان ابرناکی منطقه و وجود غبار در منطقه است. این بخش مهم‌ترین فرایند موجود در پژوهش است، زیرا نبود تابش مناسب در منطقه موجب کاهش بهره‌وری توان خروجی پنل‌های خورشیدی، و در نتیجه غیر اقتصادی بودن طرح و در نهایت به توقف فرایند منجر خواهد شد. داده‌های اخذشده از اطلاعات۲۰ ساله میزان تابش و اقلیم منطقهٔ بندرعباس در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میزان تابش مستقیم و همچنین، میانگین دمای منطقه مقدار مناسبی برای نصب پنل‌های خورشیدی است. این دو عامل تأثیر بسیار زیادی روی توان خروجی نیروگاه خورشیدی دارند.

شکل ۱. روش انجام پژوهش و مطالعهٔ امکان‌سنجی نصب نیروگاه خورشیدی

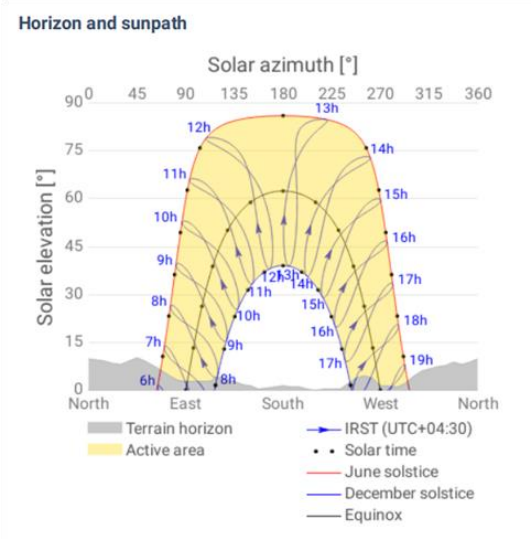
آگاهی کامل از مسیر خورشید برای شکل دادن و پیش‌بینی محاسباتی، کارایی سیستم سالانهٔ خورشیدی و تحلیل کمینه و بیشینهٔ زاویهٔ خورشید در موقعیت مورد مطالعه ضروری است [۳۴]. شکل ۲ نشان‌دهندهٔ مسیر خورشید[1] است که بر این اساس کمینهٔ زاویه در زمستان حدود ۳۵ درجه و بیشینهٔ آن در تابستان و حدود ۸۳ درجه است (شکل ۲). بررسی جهت باد و سرعت آن از دیگر عوامل تأثیرگذار در مکان نصب پنل‌های خورشیدی است. جهت نصب پنل‌ها علاوه بر جهت‌گیری آن‌ها نسبت به خورشید، از جهت و سرعت باد محلی در آن منطقه نیز متأثر است. وجود باد با سرعت زیاد در منطقه به تخریب پنل‌ها، و یا حتی جابه‌جایی و جدا کردن آن‌ها از زیرسازی نصب منجر می‌شود. بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، باد غالب در منطقهٔ جنوب‌ـ جنوب غربی، شمال، شمال‌ـ شمال شرقی دارای بیشترین فراوانی هستند [۳۷].

جدول ۱. میزان تابش انواع تابش و شرایط دمایی بندرعباس [۳۱]

	GolbHor KWh/m^2	DiffHor KWh/m^2	T_amb °C
ژانویه	۱۲۵٫۵	۳۵٫۹	۱۷٫۲۳
فوریه	۱۲۲٫۴	۵۶٫۵	۱۹٫۴۱
مارچ	۱۵۷٫۷	۸۰٫۱	۲۳٫۰۵
آوریل	۱۸۳٫۱	۸۵٫۰	۲۷٫۲۸
می	۲۱۵٫۵	۹۲٫۱	۳۱٫۹۷
ژوئن	۲۱۶٫۱	۹۷٫۵	۳۳٫۸۱
جولای	۲۰۷٫۷	۱۰۲٫۶	۳۴٫۹۲
اگوست	۱۹۱٫۸	۹۹٫۵	۳۴٫۳۶
سپتامر	۱۷۲٫۹	۷۴٫۴	۳۲٫۱۴
اکتبر	۱۶۰٫۳	۵۶٫۰	۲۹٫۷۳
نوامبر	۱۲۸٫۳	۳۷٫۹	۲۳٫۶۴
دسامبر	۱۱۵٫۴	۳۵٫۰	۱۹٫۰۰
سالیانه	۱۹۹۶٫۶	۸۲۵٫۳	۲۷٫۲۶

از جهت جنوب تا شمال غربی فراوانی باد روند کاهشی داشته، سپس تا شمال افزایش و پس از آن تا شرق روند کاهشی دارد. بر اساس شکل ۳ مشاهده می‌شود که جهت باد غالب در تمامی ماه‌ها به جز دسامبر و ژانویه، جنوبی است. در دو ماه یادشده جهت باد غالب شمالی است از اواسط زمستان سرعت‌های بیش از ۱۰ m/s از جهات جنوبی شروع شده و تا اوایل پاییز ادامه پیدا می‌کند [۳۷].

1. Sun Path



شکل ۲. مسیر تابش خورشید در موقعیت مورد مطالعه [۳۵]

شکل ۳. گلباد سالیانه در شهرستان بندرعباس [۳۷]

۲. ۲. بررسی وضعیت جانمایی برای نصب پنل‌های خورشیدی

انتخاب موقعیت مناسب برای نصب نیروگاه خورشیدی و پنل‌های آن از اهمیت حیاتی برخوردار است. قانون شفاف و دقیقی برای این شرایط وجود ندارد، و عمدتاً این جانمایی بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده توسط محققان و تحقیقات گروه‌های بین‌المللی صورت پذیرفته و متناسب با تجربیات و شرایط اقلیم منطقه است. مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در بازدهی توان خروجی نیروگاه خورشیدی عبارت‌اند از: میزان تابش، شرایط آب‌وهوایی، کاربری زمین و میزان زمین در دسترس، توپوگرافی و شیب منطقه، ژئوتکنیکال منطقه، دسترسی به خطوط انتقال برق و جاده، وجود آب و در نهایت، میزان گرد و غبار در منطقه است [۳۸]. با تعیین ضریب اهمیت هر یک از این عوامل و تلفیق آن‌ها با سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی ArcGIS، می‌توان زمین‌ها و موقعیت‌های مناسب‌تر را شناسایی کرد. به این‌منظور، برای هر یک از این عوامل ضریب اهمیت تعیین شده، که به روش دودویی است. در این روش معیارها مقایسه می‌شوند و درجهٔ اهمیت هر معیار نسبت به دیگری مشخص خواهد شد [۳۹]. با استفاده از روش AHP[1] در نرم‌افزار ArcGIS طی چهار مرحلهٔ زیر انجام شده است [۴۰ و ۴۱]:

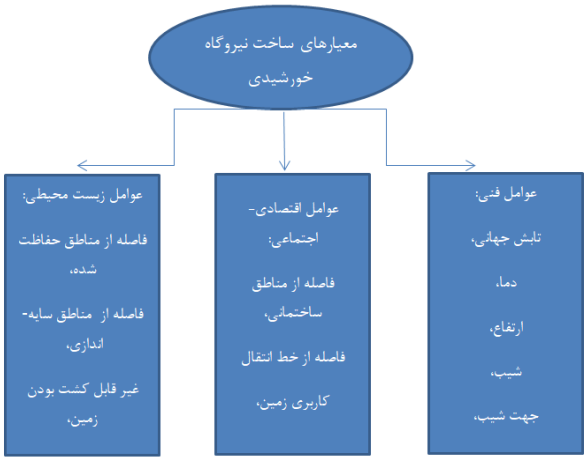
- تهیهٔ نقشه‌های زمین‌مرجع‌شده با در نظر گرفتن قیدها و وزن‌دهی پارامترهای مؤثر،

1. Analytic Hierarchy Process

- به‌کارگیری تکنیک‌های AHP برای تعیین اهمیت نسبی و اولویت وزن هر معیار،
- ارزیابی کلی مکان‌های انتخاب‌شده با به‌کارگیری حاصل‌جمع رویه پوششی به وسیلهٔ ابزارهای ArcGIS،
- در نهایت، سایت‌های غیرقابل اجرای تولیدشده در مرحلهٔ اول از مناطق بالقوه برای انتخاب سایت خورشیدی حذف می‌شوند.

بر این اساس عوامل مؤثر تعیین، و در جانمایی به سه دسته پارامتر شامل زیست‌محیطی، اقتصادی و فنی تقسیم شده است (شکل ۴). متناسب با این عوامل وزن‌دهی آماری آن‌ها، معیارهای فنی ضریب ۴، معیارهای زیست‌محیطی ضریب ۲ و معیارهای اقتصادی ضریب ۱ داده می‌شود و بر اساس آن، داده‌ها به نرم‌افزار ArcGIS وارد می‌شود.

تعداد ۸ قطعه زمین با متراژهای متفاوت انتخاب شده و با استفاده از معیارهای اشاره‌شده به سیستم تحلیل مکانی و انتخاب موقعیت ArcGIS وارد می‌شود. نتیجهٔ این تحلیل، سه منطقه با موقعیت‌های متفاوت در مکان‌های متفاوت شهر بندرعباس انتخاب شده است (شکل ۵). موقعیت جغرافیایی زمین‌های انتخاب‌شده در محدودهٔ شمال، جنوب شرق و شرق شهر بندرعباس است، که دارای توپولوژی مناسب و به دور از سازه و یا عارضهٔ بلند که منجر به سایه‌اندازی است (جدول ۲).



شکل ٤. معیارهای انتخاب مکان ساخت نیروگاه خورشیدی

جدول ۲. مشخصات جغرافیایی زمین‌های انتخاب‌شده در سیستم AHP

محل زمین انتخاب‌شده	موقعیت جغرافیایی مرکز موقعیت (درجه)	مساحت حدودی (متر مربع)
جنوب شرقی بندرعباس (الف)	طول جغرافیایی: ۵۶° ۲۱' ۵۲'' عرض جغرافیایی: ۲۷° ۱۱' ۳۸''	۲۱۰۰۰۰
شرق بندرعباس (ب)	طول جغرافیایی: ۵۶° ۲۶' ۵۵'' عرض جغرافیایی: ۲۷° ۱۵' ۳۱''	۵۰۰۰۰۰
شمال بندرعباس (ج)	طول جغرافیایی: ۵۶° ۲۰' ۰۷'' عرض جغرافیایی: ۲۷° ۱۴' ۲۱''	۳۲۰۰۰

با توجه به فاصلهٔ کم این موقعیت‌ها نسبت به یکدیگر، شرایط تابش و اقلیم مناطق با یکدیگر یکسان است و معیارهای فنی هر سه موقعیت تقریباً شرایط مشابهی دارند. مکان این زمین‌ها در نزدیکی مراکز پرمصرف انرژی همچون ساختمان‌های اداری، صنایع تکثیر و پرورش میگو، مراکز آموزشی و دانشگاهی است که این یک مزیت مناسب در انتخاب موقعیت‌ها است.

۲. ۳. شبیه‌سازی نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه

پس از انتخاب موقعیت مناسب برای نصب سیستم پنل‌های خورشیدی، نیاز است که بر اساس این معیارها شبیه‌سازی انجام شود. برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار PVSOL Premium نسخهٔ ۲۰۲۱ استفاده شده است. قابلیت سه‌بعدی، استفاده از الگوریتم‌های

مناسب برای تابش و همچنین، پایگاه داده تجهیزات خورشیدی متنوع این نرم‌افزار، موجب شده خروجی شبیه‌سازی، عدم قطعیت کوچکی داشته، و در صورت ورود داده‌های اولیه مناسب و دقیق، توان خروجی کمترین انحراف را با نتایج عملیاتی داشته باشد. به منظور جلوگیری از اثر سایه‌اندازی[1] پنل‌ها روی یکدیگر، و در نتیجه کاهش توان خروجی، فاصلهٔ بین پنل‌ها باید به گونه‌ای تعیین شود که کمترین میزان سایه‌اندازی روی دهد و هم‌زمان این فاصله نباید به اندازه‌ای باشد که موجب افزایش مساحت مورد نیاز و در نتیجه افزایش مقدار کابل، زیرساخت و هزینه‌های ساخت شود [۴۲]. برای تعیین فاصلهٔ بهینه بین پنل‌ها (D)، سه پارامتر دیگر مورد نیاز است، H عرض پنل است، برای آرایش عمودی H برابر با طول ضلع بزرگ‌تر پنل و در آرایش افقی برابر ضلع کوچک‌تر است. دو پارامتر دیگر عبارت است از: زاویهٔ نصب پنل نسبت به سطح افق (θ) و دیگری زاویهٔ تابش خورشید (α) است. تعیین α از طریق منحنی‌های مسیر خورشید انجام می‌شود. در نهایت، فاصلهٔ بین پنل‌ها از رابطهٔ ۱ تعیین می‌شود [۴۲].

$$D = \sin(\alpha+\theta)\times H \Big/ \sin(\alpha) \quad (۱)$$

زاویهٔ α در واقع زاویهٔ ارتفاع خورشید نسبت به زمین است. این زاویه در عرض‌های جغرافیایی مختلف و فصل‌های مختلف سال متفاوت است. برای محاسبهٔ آن مطابق شکل ۲ از منحنی‌های دوبعدی مسیر حرکت خورشید استفاده می‌شود. چنانچه مشخص است، کمترین زاویهٔ خورشید طی سال مربوط به اواخر آذر و اوایل دی‌ماه و بیشترین آن مربوط به خرداد است. با توجه به ابعاد و مشخصات جغرافیایی منطقه و همچنین، مسیر خورشید در موقعیت مورد مطالعه، فاصلهٔ مناسب بین پنل‌ها حدود ۵/۶۰ متر به دست آمد (جدول ۳). به منظور استفادهٔ بهینه از فضا و افزایش توان خروجی در فرایند شبیه‌سازی، در هر آرایه دو پنل به صورت افقی قرار داده شده است.

جدول ۳. مشخصات موقعیت محل نصب برای تعیین فاصله بهینهٔ بین پنل‌ها

مشخصه	مقدار
زاویهٔ α	۴۱ درجه
زاویهٔ θ	۲۶/۹ درجه
تعداد پنل در هر آرایه	۲
ارتفاع پنل H	۱۳۰۳ میلی‌متر

شکل ۵. موقعیت زمین در جنوب شرقی بندرعباس (الف)، شرق بندرعباس (ب)، در شمال بندرعباس (ج)

برای محاسبهٔ تابش پخش از الگوریتم هافمن[2] استفاده شده که رابطه آن به صورت رابطهٔ ۲ است [۴۳]:

$$E_{clear} = 0.78E_{ext}\sin(\gamma_s)^{1.15} \quad (۲)$$

که در آن γ_S ارتفاع خورشید، E_{ext} تابش فرازمینی است. با استفاده از الگوریتم هی و دیویس[3] برای معادلات تابش سطح به دست می‌آید [۴۴]:

$$A_i = \frac{DNI}{E_a} \quad (۳)$$

1. Shading
2. Hoffmann
3. Hey & Davies

که در آن DNI تابش مستقیم متعامد و E_a میزان تابش روی زمین است. متناسب با شرایط تابش پنل و مبدل‌های[1] با توان خروجی متناسب و بهینه در شبیه‌سازی انتخاب شده است. مشخصات این پنل و مبدل‌ها متناسب با شرایط مورد نیاز و همچنین، اقلیم منطقه و توان مورد نیاز است.

برای استفادهٔ بهینه در شبیه‌سازی و کاهش زمان اجرا، و کاهش عدم قطعیت نتایج، نیروگاه‌ها در هر موقعیت به چندین بخش مشابه تقسیم شده و برآورد نهایی بر اساس آن انجام شده است. موقعیت (الف) دارای ۲۴ بخش هر یک به مساحت ۸۱۰۰ متر مربع، موقعیت (ب) دارای ۲۷ بخش به مساحت ۱۸۵۰۰ مترمربع و موقعیت (ج) دارای ۴ بخش هر یک مساحت۷۵۰۰ متر مربع هستند. در نهایت، نتیجهٔ خروجی این شبیه‌سازی در جدول ۶ ارائه شده است که توان خروجی، تعداد پنل‌ها و مبدل‌های به‌کاررفته در هریک از موقعیت‌ها را نشان می‌دهد.

۲. ۴. برآورد زیست‌محیطی و اقتصادی نیروگاه‌ها

برای برآورد آثار زیست‌محیطی نیروگاه‌های خورشیدی شبیه‌سازی شده، از نرم‌افزار RETScreen استفاده شده است. خروجی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی این نرم‌افزار صحه‌گذاری شده و دارای قابلیت اطمینان بالایی است [۴۶ـ ۴۸]. داده‌های اولیهٔ موجود در شبیه‌سازی شامل شرایط اقلیمی، توان خروجی نیروگاه خورشیدی، نوع پنل و مبدل به نرم‌افزار وارد شده و بر اساس نوع خروجی و تولید و همچنین، هزینه‌های تولید و خرید برق، مدل زیست‌محیطی و اقتصادی نیروگاه به دست می‌آید. به منظور پایش مالی و مطابق با قیمت‌های سال ۱۴۰۲ و همچنین، هزینه‌های نصب و اجرا در استان هرمزگان، داده‌های اولیهٔ مالی برای نصب این نوع نیروگاه در جدول ۴ ارائه شده و مطابق با قیمت خرید تضمینی برق تجدیدپذیر خورشیدی در سال ۱۴۰۲ و همچنین، سایر ضرایب نظیر ضرایب تعدیلی، ضریب خرید، تعرفهٔ اتصال به شبکه، ضریب خرید جدید، این محاسبات صورت پذیرفته است.

بر اساس ریزبرآورد انجام‌شده در نرم‌افزار RETScreen، برای نصب این نیروگاه‌ها به حدود ۷۰۰ متر شبکهٔ انتقال قدرت نیاز است. به این روی بنا نهادن این نیروگاه‌های خورشیدی علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز شهر بندرعباس، می‌تواند از ایجاد سوخت‌های جایگزینی که همین میزان انرژی را تولید می‌کنند جلوگیری کند. محاسبات و تحلیل نرم‌افزار RETScreen نشان می‌دهد این میزان انرژی پاک و تجدیدپذیر از هدررفت مقادیر زیادی سوخت‌های فسیلی که در جدول ۵ به آن اشاره شده است.

جدول ٤. داده های مالی و فنی اولیهٔ برآورد اقتصادی طرح

مساحت مؤثر مورد نیاز m^2	هزینهٔ ثابت سرمایه‌گذاری (میلیون ریال)	تعرفهٔ اتصال به شبکه (ریال)	ضریب تعدیل اولیه	ضریب خرید جدید
۷۵۰۰۰۰	۲۵،۴۶۰،۰۰۰	۲۰۳	۱/۴	۱

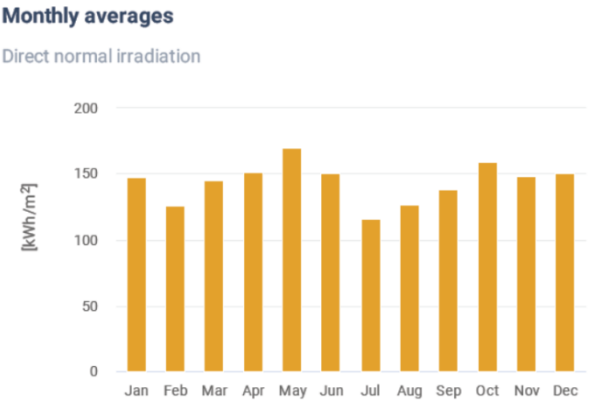
جدول ۵. معادل‌سازی انرژی تولیدی از نیروگاه‌های خورشیدی شبیه‌سازی‌شده با سوخت‌های جایگزین

انرژی خورشیدی تولیدی (MW)	گازوئیل معادل برای تولید انرژی معادل (لیتر)	نفت معادل برای تولید انرژی معادل (لیتر)	جلوگیری از ایجاد مواد زائد و زباله (تن)
۱۵۴	۵۹۴۸۳۸۳۱	۳۲۱۹۴۸	۴۷۷۳۷

۳. نتایج

داده‌های خروجی شبیه‌سازی نشان می‌دهد ساخت نیروگاه خورشیدی در زمین‌های غیر قابل کشت در اطراف بندرعباس می‌تواند تأمین‌کنندهٔ نیاز این شهر با انرژی پاک و تجدیدپذیر خورشیدی باشد. بر اساس خروجی نتایج شبیه‌سازی، میانگین تابش عمودی مستقیم در منطقهٔ مورد مطالعه در کل ماه‌های سال بیش از kWh/m^2 ۱۰۰ است و بیشینهٔ آن در خردادماه با میانگین مقدار kWh/m^2 ۱۷۰ است (شکل ۶). این میزان انرژی به افزایش کارایی پنل‌های خورشیدی منجر خواهد شد.

1. Inverter



شکل ٦. میانگین ماهیانهٔ تابش انرژی خورشیدی در واحد سطح

یکی از مزیت‌های دیگر شهر بندرعباس برای نصب پنل‌های خورشیدی، استفادهٔ مفید از وجود خورشید در منطقه است. بر اساس خروجی مدل نشان می‌دهد بیش از ۹ ماه از سال در شهر بندرعباس ۱۰ ساعت از روز می‌توان انرژی خورشیدی مناسب را تولید کرد و از ساعت ۷ تا ۱۸ امکان استفادهٔ بهینه پنل‌ها از انرژی خورشیدی وجود دارد. این موضوع یکی از مزیت‌های مناسب برای افزایش اثربخشی نصب نیروگاه‌های خورشیدی در موقعیت مورد مطالعه است. بر اساس نتایج خروجی شبیه‌سازی، از سه موقعیت تعیین‌شدهٔ برق تجدیدپذیری با توان حدودی ۱۵۴/۷ MW تولید شده است. نسبت عملکرد[1] در هر سه موقعیت انتخاب‌شده بیش از ۷۰ درصد است و بیشترین آن در موقعیت انتخابی جنوب شرق بندرعباس با مقدار ۷۷/۳ درصد و کمترین در موقعیت انتخابی شرق، و مقدار ۷۰/۷ درصد است. مقدار ضریب عملکرد در نیروگاه‌های خورشیدی به منظور انطباق کارایی و بهرهٔ توان خروجی این تجهیز با شرایط فنی، محیطی و اقلیمی طی یک دورهٔ زمانی است. در پژوهش انجام‌شده به علت نزدیکی موقعیت‌های نصب شرایط اقلیمی و محیطی تأثیر چندانی بر این عملکرد نداشتند، اما توپولوژی منطقه، نحوهٔ نصب به علت محدودیت در ابعاد زمین‌ها و همچنین، چیدمان پنل خورشیدی و مبدل‌ها و میزان کابل مورد نیاز روی این ضریب عملکرد تأثیرگذار است. یکی از عوامل مهم در این پارامتر اثر منفی سایه‌اندازی است که می‌تواند ناشی از عوامل و سازندهای بیرونی (مانند نزدیکی ساختمان، درخت، تپه و... به نیروگاه) و یا درونی (سایه‌اندازی پنل‌ها روی یکدیگر در ایام خاصی از سال به علت موقعیت تابش و یا شیب زمین) باشد.

جدول ٦. خروجی شبیه‌سازی در موقعیت‌های متفاوت

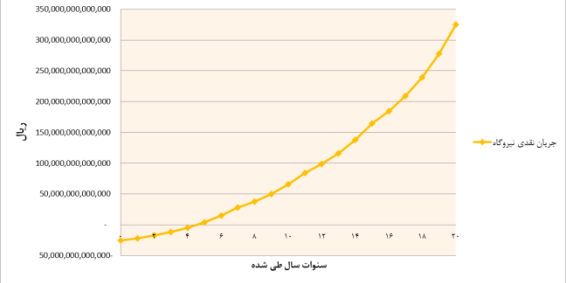
موقعیت مکان نصب نیروگاه خورشیدی	تعداد پنل نصب‌شده	تعداد مبدل مورد نیاز	توان خروجی (MW)	نسبت عملکرد (٪)
جنوب شرق (الف)	۶۲۹۷۶	۳۸۴	۴۱٫۸	۷۷٫۳
شرق (ب)	۱۶۰۰۵۶	۲۱۰۶	۱۰۶٫۵	۷۰٫۷
شمال (ج)	۹۶۵۶	۲۴۴	۶٫۴	۷۵٫۰

توپولوژی مناطق انتخاب‌شده با استفاده از قابلیت انتخاب مکانی ArcGIS به شکلی است که کمترین سایه‌اندازی روی پنل‌های نصب‌شده وجود داشته است و همین امر موجب شده کاهش راندمان توان خروجی برای این پنل‌ها کمتر از ۱ درصد در سال باشد، و در نتیجه ضریب عملکرد در منطقهٔ مورد مطالعه بیش از ۷۰ درصد برآورد شود. وجود زمین‌های وسیع و غیرقابل کشت در شهر بندرعباس و دیگر شهرهای استان هرمزگان یک مزیت مناسب برای توسعهٔ نصب نیروگاه خورشیدی است، و عمدهٔ این زمین‌ها در بخش‌های وسیع و مسطح و به دور از سازه‌های بلند و یا پستی و بلندی طبیعی قرار دارد، که از اثر سایه‌اندازی روی پنل‌های خورشیدی جلوگیری می‌کند.

1. Performance Ratio(PR)

براساس داده‌های جدول ۴ و ورود داده‌های این جدول و خرید تضمینی برق طی ۲۰ سال، نمودار حجم نقدینگی تجمیعی ترسیم می‌شود که با توجه به آن نشان داده است برگشت سرمایه در این طرح بین ۵ تا ۶ سال است. خروجی نرم‌افزار نشان داد بر اساس مدل اقتصادی ارائه‌شده و شرایط خرید تضمینی برق در ایران، برگشت سرمایه حاصل از این پروژه حدود ۵ سال است (شکل ۷). همچنین، از لحاظ زیست‌محیطی این پروژه به شکلی است که اگر برای تولید همین میزان انرژی نیروگاه‌های فسیلی یا گازی ساخته شود بیش از ۱۰۹۶۰۰ تن گاز دی‌اکسید کربن تولید خواهد شد. در نتیجه، این طرح موجب کاهش همین میزان گاز مخرب دی‌اکسید کربن خواهد شد.

مقایسهٔ نتایج شبیه‌سازی ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی صورت‌گرفته در شهر بندرعباس با دیگر پژوهش‌های صورت‌گرفته در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج و مقایسهٔ ضرایب عملکرد این پروژه با دیگر پژوهش‌ها نشان از انطباق مناسب شبیه‌سازی انجام‌شده می‌دهد. مزیت اقلیم ایران و استان هرمزگان نسبت به دیگر نقاط و کشورها، و قرار گرفتن در عرض جغرافیایی مناسب با روزهای دارای تابش حدود ۳۰۰ روز، مزیت اقتصادی و بهینه برای نصب پنل خورشیدی در این منطقه است.



شکل ۷. برآورد برگشت هزینه برای انجام پروژه

جدول ۷. مقایسهٔ بین داده‌های پروژه انجام‌شده با تحقیقات مشابه در دیگر نقاط [۳۱، ۵۰ و ۵۱]

ردیف	محل انجام پژوهش	توان تولیدی(kW)	ضریب عملکرد(٪)
۱	بندرعباس (ایران)	۱۵۸۰۰۰	۷۷
۲	زاپوریژیا (اکراین)	۱۵۰۰۰۰	۷۱
۳	کرواسی	۱۰۰۰۰۰	۷۳
۴	سیدنی (استرالیا)	۱۱۰۰۰۰	۷۸
۵	سیرجان (ایران)	۱۰۰۰۰	۷۶

۴. نتیجه‌گیری

نیاز استان هرمزگان و شهر بندرعباس به انرژی پایدار و غیرآلاینده ضرورتی است که در صورت عدم توجه به آن منجر به ادامهٔ روند مشکل تأمین انرژی پایدار خواهد شد. به‌کارگیری انرژی خورشیدی تجدیدپذیر در شهر بندرعباس، به میزان مؤثری می‌تواند کارایی مناسبی داشته باشد. هزینهٔ کم تعمیر و نگهداری این نیروگاه‌ها نسبت به دیگر روش‌های تولیدی انرژی مشوقی برای به‌کارگیری این روش برای تولید و ارائهٔ انرژی است. تأمین انرژی مشابه با این نیروگاه به اندازهٔ ۱۵۴ MW با استفاده از نیروگاه فسیلی، علاوه بر هزینهٔ پنج‌برابری نسبت به نیروگاه خورشیدی، حجم بسیار زیادی از گازهای آلاینده و مخرب را وارد محیط زیست می‌کند. ارائهٔ مشوق‌های هزینه‌ای و همچنین، وام‌های با سود کم موجب توسعهٔ این فناوری خواهد شد، زیرا بر اساس نتایج شبیه‌سازی فنی و همچنین زیست‌محیطی و اقتصادی این نیروگاه‌ها، ساخت آن‌ها به‌صرفه، و برگشت سرمایه در آن‌ها امکان‌پذیر است. استفاده از فناوری‌های جدید در تهیهٔ انرژی خورشیدی مانند برق خورشیدی متمرکز[1] و همچنین سیستم‌های لوله‌کشی تهویه، می‌تواند منجر به افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی توان خروجی و بهبود کارایی و اثربخشی این فرایند شود.

پژوهش انجام‌شده نشان می‌دهد می‌توان با استفاده از زمین‌های موات موجود در شهر بندرعباس، بدون ایجاد آلایندگی و آثار زیست‌محیطی، بخشی از انرژی مورد نیاز را تأمین کرد. ضریب عملکرد میانگین محاسبه‌شده در این شبیه‌سازی که حدود ۷۷

1. Concentrated Solar Power

درصد است، مقداری قابل توجه و مناسبی بوده و در مقایسه با پژوهش‌های مشابه در سایر مناطق نیز مقداری مناسب و قابل قبول است. برآوردهای مالی و اقتصادی این طرح نیز نشان از توجیه‌پذیر بودن این طرح دارد و بر اساس این تحلیل پس از ۵ تا ۶ سال سرمایه برگشت داده خواهد شد. لذا این طرح برای بخش خصوصی نیز به‌صرفه خواهد بود. یکی از علل به‌صرفه بودن و ضریب عملکرد مناسب این شبیه‌سازی، مدت زمان مناسب تابش خورشید در منطقهٔ مورد پژوهش است، به شکلی که در برخی ماه‌های سال امکان اخذ انرژی خورشیدی از ساعت ۸ تا ۱۸ وجود دارد. این نکته یک عامل مناسب و افزاینده بهره‌وری بکارگیری پنل‌های خورشیدی در بندرعباس خواهد بود.

۵. فهرست علائم

AC	جریان متناوب (A)
D	فاصلهٔ بین پنل‌های خورشیدی (m)
DC	جریان مستقیم (A)
DNI	تابش مستقیم نور خورشید (Whm^{-2})
DHI	تابش پخش نور خورشید (Whm^{-2})
E_a	تابش زمینی (Whm^{-2})
E_{ext}	تابش فرازمینی (wm^{-2})
GHI	تابش کل نور خورشید (Wm^{-2})
H	طول پنل خورشیدی (mm)
MPP	نقطه حداکثر توان (W)
PR	ضریب عملکرد ($\%$)
T	دما (K)

علائم یونانی

α	زاویهٔ خورشید
θ	زاویهٔ پنل نسبت به سطح افق
γ_s	ارتفاع خورشید

زیرنویس‌ها

amb	شرایط محیطی

منابع

[1] Zahedi R, Sadeghitabar E, Ahmadi A. Solar energy potential assessment for electricity generation on the south-eastern coast of Iran. Future Energy. 2023; 2(1): 15-22.

[2] Zarezadeh M. Modeling the Required Energy Supply in the Frozan Area of Bandar Abbas Using Solar Panels Installed On the Roofs of Buildings. Journal of Sustainable Energy systems. 2023; 2(3): 215-235.

[3] Zarezadeh M, Mansouri H. Estimation of Sustainable Energy Supply in Bandar Abbas Industrial Estate No. 2 Using Solar Panel Installed on the Roof of the Building. Journal of Sustainable Energy systems. 2023; 2(2):167-181.

[4] Zarezadeh, M. (2023). Feasibility Construction of a 4 MW PV Power Plant to Provide Sustainable Electricity to Bandar Abbas Industrial Estate. Journal of Solar Energy Research, 8(1), 1250-1263. doi: 10.22059/jser.2022.349199.1256

[5] Zahedi R, Zahedi A, Ahmadi A. Strategic Study for Renewable Energy Policy, Optimizations and Sustainability in Iran. Sustainability. 2022;14: 1-29.

[6] Talut M, Bahaj A S, James P. Solar Power Potential from Industrial Buildings and Impact on Electricity Supply in Bangladesh. Energies. 2022; 15(11):1-17.

[7] Hussain M N, Qamar S B, Janajreh I. Solar PV Implement in Industrial Building: Economic Study. International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), 2017.

[8] Farjana Sh H, Mahmud M A, Huda N. Solar process heat integration in lead mining process. Case Studies in Thermal Engineerin. 2020; Vol. 22.

[9] Behar O, Pena R, Kouro S, Kracht W, Fuentealba E, Moran L, Sbarbaro D. The use of solar energy in the copper mining processes: A comprehensive review. Cleaner Engineering and Technology. 2021; Vol. 4, 1-13.

[10] Alghamdi N, Bahaj A S, James P. Supply Chain Readiness for Solar PV Expansion in Saudi Arabia. Energies. 2022; 15(7479):1-16.

[11] Raval H D, Maiti S. A Novel Photovoltaic Powered Reverse Osmosis with Improved Productivity of Reverse Osmosis and Photovoltaic Panel. Journal of Membrane Science and Research. 2015; Vol. 1: 113-117.

[12] Kobougias I, Tatakis E, Prousalidis J. PV Systems Installed in Marine Vessels Technologies and Specifications. Advances in Power Electronics. 2013; 2013: 1-8.

[13] Amaducci S, Yin X, Colauzzi M. Agrivoltaic Systems to Optimize Land Use for Electric Energy Production. Applied Energy. 2018; Vol. 220: 545-561.

[14] Dinesh H, Pearce J M. The Potential of Agrivoltaic Systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016; Vol. 54: 299-308.

[15] Narvaez G, Giraldo L F, Bressan M, Pantoja A. The impact of climate change on photovoltaic power potential in Southwestern Colombia. Heliyon. 2022; Vol. 8, pp.1-8.

[16] Ibrahim N A, Alwi SH R W, Z. Manan Z A, Mustaffa A, Kidam K. Impact of Extreme Temperature on Solar Power Plant in Malaysia. CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS. 2020; Vol. 94:343-348.

[17] Panagea I S, Tsanis I K, Koutroulis A G, Grillakis M G. Climate Change Impact on Photovoltaic Energy Output: The Case of Greece. Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology. 2014; Vol. 2014: 1-11, 2014.

[18] Owusu P A, Sarkodie S A. A review of renewable energy sources sustainability issues and climate change mitigation. Cogent Engineering. 2016; Vol. 3:1-14.

[19] Crook J A, Jones L A, Forster P M, Crook R. Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output. Energy & Environmental Science. 2011: Vol. 4: 1-8.

[20] Hou X, Wild M, Folini D, Kazadzis S, Wohland J. Climate change impacts on solar power generation and its spatial variability in Europe based on CMIP6. Earth System Dynamics, 2021; Vol. 12: 1099-1113.

[21] Al-Baghdadi M A R S, Ridha A A, Al-Khayyat A S. THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON PHOTOVOLTAIC SOLAR PRODUCTION IN HOT REGIONS. DIAGNOSTYKA. 2022; 23(3):1-7.

[22] Zarezadeh M. Feasibility Construction of a 4 MW PV Power Plant to Provide Sustainable Electricity to Bandar Abbas Industrial Estate. Journal of Solar Energy Research. 2023; 8(1): 1250-1263.

[23] Taki M, Najafabadi M M. Technical and economic evaluation of solar power plant (photovoltaic) grid-connected (Case study: 1 MW power plant in Ahvaz city). Journal of Renewable and New Energy. 2021; 6(1): 91-102. (In Persian)

[24] Yousefi H, Hafeznia H. Measuring the potential of solar energy to produce electricity in the south-eastern ocean coast of Iran. National conference on processing the geopolitical potentials of development in the south-eastern coasts of Iran. Iran, Tehran, 2016. (In Persian)

[25] Sánchez-Lozano J M. GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. Renewable Energy. 2014; Vol. 66: 478-494.

[26] Aydin N Y, Kentel E, Duzgun H S. GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey. Energy conversion and management. 2013; Vol. 70: 90-106.
[27] Polo J. Solar resources and power potential mapping in Vietnam using satellite-derived and GIS-based information. Energy conversion and management. 2015; Vol. 98: 348-358.
[28] Tercan E. A sustainable framework for spatial planning of photovoltaic solar farms using GIS and multi-criteria assessment approach in Central Anatolia, Turkey. Land use policy. 2021; Vol. 102: 105272.
[29] Sun L. A GIS-based multi-criteria decision making method for the potential assessment and suitable sites selection of PV and CSP plants Resources. Conservation and Recycling. 2022;Vol. 168: 105306.
[30] Lew G, Sadowska B, Laskowska K Gh, Zimon G. Influence of Photovoltaic Development on Decarbonization of Power Generation—Example of Poland. Energies. 2021; Vol**.** 14: 7819.
[31] Makkiabadi M, Hoseinzadeh S, Taghavirashidizadeh A, Soleimaninezhad M, Kamyabi M, Majidi Nezhad M, Piras G. Performance Evaluation of Solar Power Plants: A Review and a Case Study, Processes. 2021; 9: 2253. https://doi.org/10.3390/pr9122253
[32] Khajavi Pour A, Shahraki M R, Hosseinzadeh Saljooghi F. Solar PV Power Plant Site Selection Using GIS-FFDEA Based Approach with Application in Iran. JREE. 2021; 8(1): 28-43.
[33] Halder B, Banik P, Almohamad H, Al Dughairi A A, Al Mutiry M, Al Shahrani H F, Abdo, H Sh. Land Suitability Investigation for Solar Power Plant Using GIS, AHP and Multi-Criteria Decision Approach: A Case of Megacity Kolkata, West Bengal, India. Sustainability. 2022; 14: 11276. https://doi.org/10.3390/su141811276
[34] https://globalsolaratlas.info,
[35] www.solmetric.com/annualinsolation-us,
[36] Mehrabi H, Rasoli S. Analysis of the sun path and its relationship with the Azimuth and tilt of the panel and shade in solar systems, forth national conference on applied of novel technologies in engineering science, Torbat Heydarie university, 2016.(in Persian)
[37] Komijani F, Nasolahi A, Nazari N, Nahid Sh. The Persian Gulf wind analysis using meteorological synoptic stations data. NIVAR. 2014; Vol. 84 : 27-44. (In Persian)
[38] George A M. Utility Scale Solar Power Plants (a guide for developers and investors), First Edition., pp.55-56, International Finance Corporation, World Bank Group, 2012.
[39] Sadegi Z, Esfahani Z D, Hiri H. Prioritizing factors affecting the location of renewable energy power plants in Kerman province using GIS geographic information systems and multi-criteria decision making techniques. Journal of Energy Planning And Policy Research. 2011; 1(2):93-110. (in Persian)
[40] Al Garni H Z, Awasthi A. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. Applied Energy. 2017; Vol. 206: 1225-1240.
[41] Taoufik M, Laghlimi M, Fekri A. Land suitability analysis for solar farms exploitation using the GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) – a case study of Morocco. Energy Policy Journal. 2021; 24(2):79-96.
[42] George A M. Utility Scale Solar Power Plants (a guide for developers and investors), First Edition., pp.180-185, International Finance Corporation, World Bank Group, 2012.
[43] Hofmann M, Seckmeyer G. A New Model for Estimating the Diffuse Fraction of Solar Irradiance for Photovoltaic System Simulations. Energies. 2017; 10(2): 248.
[44] Hofmann M, Seckmeyer G. Influence of Various Irradiance Models and Their Combination on Simulation Results of Photovoltaic Systems. Energies. 2017; 10(10): 1495.
[45] http://www.aees-solar.de/.
[46] Sanni Sh, Mohammed K. Residential solar Photovoltaic system vs grid supply: An economic analysis using RETScreen. Jornal of Solar Energy Reasearch(JSER). 2018; 3(2): 107-114.
[47] Ashofteh H, Forough A B. Renewable Energy's Potential Scrutiny by PVSYST and RETScreen soft wares Case Study:Khoy City Iran. Renewable Energy Research and Applications(RERA). 2022; 3(2): 207-216.
[48] Owolabi A B, Nsafon B E K, Roh J W, Suh D, Huh J S. Measurement and verification analysis on the energy performance of a retrofit residential building after energy efficiency measures using RETScreen Expert. Alexandria Engineering Journal. 2020; 59(6): 4643-4657.
[49] https://www.irena.org/
[50] Yankiv-Vitkovska L, Peresunko B, Wyczalek I, Papis J. Site selection for solar power plant in Zaporizhia city (Ukraine). GEODESY AND CARTOGRAPHY. 2020; 69(1): 97–116.
[51] Gasparovic I, Gasparovic M. Determining Optimal Solar Power Plant Locations Based on Remote Sensing and GIS Methods: A Case Study from Croatia. Remote Sens. 2019; 11: 1481; doi:10.3390/rs11121481.