Journal of Sustainable Energy Systems

Online ISSN: 2980-8693

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

The University of Tehran Press

Estimation of Sustainable Energy Supply in Bandar Abbas Industrial Estate No. 2 Using Solar Panel Installed on the Roof of the Building

Majid Zarezadeh[1*] | Hoda Mansouri[2]

1. Corresponding Author, Ph.D. in Ocean Physics Department of Energy and Environment, Iranian National Standard Organization, Bandar Abbas, Iran. Email: majid_zarezadeh_nu@yahoo.com
2. MSc in Metallurgy Technical director of inspection, Nik Azmai Hormozgan Co, Bandar Abbas, Iran. Email: h.mansouri1010@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 21 October 2022
Revised 20 November 2022
Accepted 15 Decemberb 2023
Published Online 27 December 2023

Keywords:
Building roof,
Solar Panel,
Industrial estate,
PVSol,
Sustainable renewable energy.

ABSTRACT

Providing sustainable energy for production units and workshops in Hormozgan province is one of the main challenges in this province. This problem has doubled as the hot seasons of the year approach. The use of solar panels on the roofs of buildings and sheds in industrial cities is a good potential to use these roofs to produce energy. After the field investigation of the existing space in Bandar Abbas Industrial Estate No. 2, the dimensions and height of the buildings have been calculated. By using the descriptive tables and querying capabilities of ArcGIS software, these data have been analyzed, and the effective area for using solar panels has been estimated. Then, using the PVSol software version 2021, the installation of solar panels on the roofs of the buildings that could be installed was simulated. The results have shown that about 30 % of the roof area of existing buildings in Bandar Abbas Industrial Estate No. 2 has the possibility of installing solar panels. Installing a solar panel in this effective area makes it possible to build a renewable solar power plant with a power of 8.06 kWp, to produce 3.1 TWh of electricity per year. The efficiency of this power plant in this area is around 82 %. Due to the proper efficiency of this power plant in the region, the production of 6800 tons of CO_2 gas with similar fossil power plants will be prevented.

Cite this article: Zarezadeh, M. & Mansouri, H. (2023). 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*, 2 (2), 167-181. DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.369849.1047

© Majid Zarezadeh, Hoda Mansouri. **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.369849.1047

Introduction

With the imbalance in the production of electricity, June which is halfway through, both the people and the factory owners are waiting for the power outage to align their lives and work with it so that the imbalance of 10,000 megawatts of electricity will hurt them less. Although the government and the Ministry of Energy are trying not to be hard on households and encourage them to save with incentives, many industries need electricity to stay afloat and have experienced power outages every year. One of the solutions to solve this problem is to use a part of the roof of buildings located in industrial Estate to install solar panels.

Materials and methods

To find the appropriate results from the simulation and reduce the uncertainty of the modeling output results with real data, the first step is to obtain appropriate and correct primary data. While visiting Bandar Abbas Industrial Estate No. 2, the DEM of the area, the type of existing structures, the orientation of the buildings, and their height have been investigated. The data has been entered into

ArcGIS software for proper monitoring and using designated reference points. After determining the effective areas and structures capable of installing solar panels, the relevant modeling has been done using PVSol software version 2021.

Result

Investigation and analysis of field data of digital elevation model, height, and use of existing buildings in Bandar Abbas Industrial Estate No. 2 shows that the total roof area of existing structures in this town is 125433 square meters. The results of the simulation of installing solar panels on the roof of these buildings have been examined. The amount of energy production, production power, and number of required panels and converters, are obtained. The results show that two main factors are the performance ratio and the annual profit yield of the solar panels installed in this industrial estate, which are suitable and indicate the appropriate use of the output power and the cost-effectiveness of the process.

Discussion and Conclusion

According to the monitoring and analysis, about 30% of the roofs of the buildings located in Bandar Abbas Industrial Estate No. 2 can be installed with solar panels, and this amount of effective area produces significant electrical energy. The results of simulating the average consumption in the production units in this town and comparing it with the energy produced from the panels installed on their roofs show that in different months of the year, between 30 and 50% of their electricity consumption can be reduced by these panels.

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار
سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir
شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰
انتشارات دانشگاه تهران

برآورد تأمین انرژی پایدار در شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس با استفاده از پانل خورشیدی نصب‌شده بر بام ساختمان

مجید زارع‌زاده[۱*] | هدا منصوری[۲]

۱. نویسندهٔ مسئول، دکتری هیدرولوژی دریا، کارشناس انرژی و محیط زیست ادارهٔ کل استاندارد هرمزگان. رایانامه: majid_zarezadeh_nu@yahoo.com
۲. کارشناس ارشد متالورژی، مدیر ارشد بازرسی شرکت نیک آزمای هرمزگان. رایانامه: h.mansouri1010@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶

کلیدواژه:
انرژی پایدار تجدیدپذیر،
بام ساختمان،
پانل خورشیدی،
شهرک صنعتی،
PVSol.

چکیده

تأمین انرژی پایدار برای واحدهای تولیدی و کارگاه‌ها در استان هرمزگان یکی از چالش‌های عمده در این استان است. این مشکل با نزدیک شدن به فصل‌های گرم سال دوچندان شده است. استفاده از پانل‌های خورشیدی روی بام ساختمان و سوله‌های موجود در شهرک‌های صنعتی، پتانسیل مناسبی است که با استفاده از این بام‌ها و بدون افزودن زمین، استفادهٔ بهینه و مناسبی برای تولید انرژی انجام شود. پس از بررسی میدانی فضای موجود، ابعاد و ارتفاع ساختمان‌ها و اخذ ارتفاع رقومی منطقه در شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس، با استفاده از قابلیت جدول‌های توصیفی و پرسشگری نرم‌افزار ArcGIS، این داده‌ها تحلیل شده و مساحت مؤثر برای به‌کارگیری پانل خورشیدی روی آن برآورد شده است. پس از آن، با استفاده از نرم‌افزار PVSol نسخهٔ ۲۰۲۱، نصب پانل خورشیدی روی بام ساختمان‌هایی که قابلیت نصب را داشته‌اند، شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان داده است حدود ۳۰ درصد از مساحت بام ساختمان‌های موجود در شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس امکان نصب پانل خورشیدی را دارند، و نصب پانل خورشیدی روی این مساحت مؤثر، امکان ساخت نیروگاه تجدیدپذیر خورشیدی با توان ۸/۰۶ kWp برای تولید ۳/۱ TWh برق در سال را داشته، و ضریب عملکرد این نیروگاه در این منطقه حدود ۸۲ درصد است. با توجه به راندمان مناسب این نیروگاه در منطقه از تولید ۶۸۰۰ تن گاز CO_2 با نیروگاه‌های فسیلی مشابه جلوگیری خواهد شد.

استناد: زارع‌زاده، مجید و منصوری، هدا (۱۴۰۲). برآورد تأمین انرژی پایدار در شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس با استفاده از پانل خورشیدی نصب‌شده بر بام ساختمان. *فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار*، ۲ (۲) ۱۶۷-۱۸۱ . DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.369849.1047

© مجید زارع‌زاده، هدا منصوری. **ناشر:** مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.369849.1047

مقدمه

با ناترازی موجود در برق تولیدی، خرداد که به نیمه می‌رسد، مردم و کارخانه‌داران و صاحبان صنایع منتظر قطعی برق هستند تا روند زندگی و کار خود را با آن تراز کنند و ناترازی ۱۰ هزار مگاواتی برق کمتر به آنان صدمه بزند. هرچند دولت و وزارت نیرو تلاش دارند به خانوارها سخت نگیرند و با مشوق‌هایی آن‌ها را به صرفه‌جویی ترغیب کنند، اما بسیاری از صنایع برای سرپا ماندن نیاز به برق دارند و هرساله بی‌برقی را تجربه کرده‌اند. شرایط دشواری که در تأمین مالی، توسعهٔ زیرساختی و مدیریت بحران‌هایی نظیر ناترازی‌های کنونی ایجاد شده است، نشان می‌دهد ساختارهای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری این صنعت بیش از هر چیز به یک بازنگری جدی و دقیق نیاز دارد. در واقع به نظر می‌رسد که صنعت زیرساختی و استراتژیک برق ناگزیر است مسیری را که تا امروز پیموده، تغییر دهد و برای بازگشت به ریل رونق و توسعه راه دیگری را در پیش بگیرد. همیشه در آستانهٔ روزهای پرمصرف سال تأکید می‌شود که مسئلهٔ صنعت برق عمیق‌تر از آن است که با مدیریت مصرف قابل حل باشد. التیام‌های مقطعی مانند خاموشی‌های برنامه‌ریزی‌شده در صنایع که از سوی مدیران ارشد وزارت نیرو با اصطلاح مدیریت مصرف تعبیر شده، نمی‌تواند چارهٔ شرایط بحرانی صنعت برق باشد. بی‌شک زمینه‌سازی برای کاهش شدت انرژی و بهینه‌سازی مصرف برق به عنوان یک کالای استراتژیک بسیار ارزشمند و قابل تقدیر است، اما نباید فراموش کرد که پاسخ‌گویی به رشد پرشتاب مصرف، نیازمند اقدامات هم‌زمان و موازی در حوزه‌های جذب سرمایه، توسعهٔ زیرساخت‌های تولید، انتقال و توزیع و در نهایت بهینه‌سازی مصرف است. اگر پیشبرد هریک از این امور دچار وقفه شود، بی‌شک نتیجهٔ کار در کوتاه‌مدت، بروز دوبارهٔ ناپایداری در شبکه خواهد بود [۱]. مطابق مادهٔ ۱۶ قانون جهش تولید دانش‌بنیان، صنایعی که دیماند آن‌ها بیشتر از یک مگاوات است، موظف هستند که در سال نخست معادل ۱ درصد و تا سال پنجم معادل ۵ درصد از مصرف برق خود را از طریق ساخت نیروگاه تجدیدپذیر تأمین کنند، در غیر این صورت ۱ تا ۵ درصد از برق مصرفی این صنایع با نرخ تجدیدپذیر محاسبه و در قبض آن‌ها اعمال می‌شود. تعداد ۵۰ هزار واحد صنعتی در شهرک‌ها و نواحی صنعتی ایران وجود دارد، که استفاده از پتانسیل به‌کارگیری بام آن‌ها برای نصب پانل خورشیدی با توان حدود ۲۰۰ کیلووات، منجر به ایجاد ۱۰ هزار مگاوات ظرفیت جدید نیروگاه خورشیدی خواهد شد، که در ظهر تابستان کمک شایانی به صنایع و وزارت نیرو خواهد بود [۲]. استفاده و به‌کارگیری از بام سازه‌ها نظیر ساختمان‌های اداری، کارگاه‌ها و کارخانه‌ها، پارکینگ خودرو، بام گلخانه، پوشش مخازن آب و... امروزه به شکل چشمگیری افزایش یافته است. یکی از چالش‌های موجود در نصب پانل‌های خورشیدی، استفادهٔ زیاد و پوشش گستردهٔ زمین است، که امروزه با استفاده از این روش‌ها، علاوه بر رفع این چالش، موجب استفادهٔ بهینه از فضا، تجهیزات و ارتقای بهره‌وری فرایند تولید انرژی همراه با کاربری‌های دیگر خواهد شد [۳]. اقلیم و شرایط آب‌وهوایی استان هرمزگان به شکلی است که پتانسیل بسیار مناسبی برای نصب پانل‌های خورشیدی است [۲، ۴ و ۵]. وجود صنایع مختلف و ۵ شهرک صنعتی در استان هرمزگان و همچنین صنایع فلزی، نفتی و پتروشیمی در شهر بندرعباس، نیاز این استان و شهر بندرعباس را به انرژی دوچندان کرده است. مصرف زیاد این صنایع و تأمین انرژی مورد نیاز آن‌ها، به‌ویژه در فصل‌های گرم سال، چالشی مهم است که عبور از آن همواره با مشکلات عدیده‌ای همراه بوده است. یکی از راهکارهای رفع این مشکل، به‌کارگیری بخشی از بام ساختمان‌های مستقر در شهرک‌های صنعتی برای نصب پانل‌های خورشیدی است. موضوعی که نه تنها در شهرک‌های صنعتی استان هرمزگان مورد توجه قرار نگرفته، بلکه در سایر نقاط کشور نیز این پتانسیل مد نظر نبوده و مطالعات فنی، اقتصادی و امکان‌سنجی در این بخش انجام نشده است. در سایر نقاط و دیگر کشورها، محققان، پژوهشگران و مدیران این کشورها، تحقیقات متنوعی روی آثار به‌کارگیری بام ساختمان کارخانه‌ها و کارگاه‌ها انجام داده‌اند. پژوهشگران در کشور هلند نشان دادند برای تشویق صنایع به به‌کارگیری پانل خورشیدی به عنوان بام ساختمان، نیاز به مشوق‌های اقتصادی و خرید تضمینی برق تولیدی از این پانل‌ها است [۶]. رشد روزافزون جمعیت کشور بنگلادش و توسعهٔ اقتصادی این کشور، محققان را بر آن داشته تا روش‌های نوین تولید انرژی را بررسی کنند. ارزیابی فنی و اقتصادی پژوهش آن‌ها نشان داده است به‌کارگیری بام ساختمان واحدهای تولیدی این کشور، بیش از ۶ درصد از برق مورد نیاز کشور بنگلادش را تأمین کرده و علاوه بر اینکه ۷/۴ GWp انرژی تجدیدپذیر تولید می‌شود، سالیانه ۱۱ TWh برق به شبکه تزریق خواهد شد [۷]. کشور امارات متحدهٔ عربی دارای شرایط اقلیمی مشابه با جنوب ایران، سرمایه‌گذاری گسترده‌ای در حوزهٔ

انرژی‌های تجدیدپذیر انجام داده است. در مطالعهٔ موردی در این کشور، نصب پانل‌های خورشیدی روی بام کارخانه و کارگاه‌های کوچک و متوسط مقیاس در این کشور، با پنج سناریوی متفاوت بررسی شده است. سه سناریو تنها جنبهٔ فنی، شامل نحوهٔ نصب پانل دارای ردیاب، بدون ردیاب و دارای مخزن ذخیرهٔ انرژی تمرکز داشته است. دو سناریو روی جنبه‌های مالی با فروش ۱۰۰ درصد برق و فروش ۵۰ درصد برق تولیدی به شبکهٔ سراسری است. بر اساس این پژوهش، بهترین سناریو حالت نصب دارای ردیاب خورشیدی و ۵۰ درصد فروش برق به شبکه تعیین شده است [۸]. محققان کشور ویتنام، امکان‌سنجی نصب پانل خورشیدی روی ساختمان پارک علم و فناوری را در این کشور بررسی کرده‌اند. مقایسهٔ انرژی الکتریکی تولیدی پانل‌های خورشیدی نصب‌شده روی دو ساختمان در شهر هانوی مقدار ۰/۰۵ kwh/kWp/day را نشان داده و نتیجهٔ آن، تأمین انرژی مورد نیاز این شرکت‌های پژوهشی و جلوگیری از تولید ۵۹/۳ تن دی‌اکسید کربن در سال است [۹].

از آنجا که امکان‌سنجی ساخت نیروگاه خورشیدی با توان ۴Mw در زمین‌های اطراف شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس انجام شده است [۲]، همچنین شرایط اقلیمی در شهر بندرعباس و در اطراف این شهرک صنعتی پتانسیل مناسب برای نصب پانل خورشیدی روی بام ساختمان‌های این منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. این شهرک در فصل‌های گرم سال دچار چالش کمبود برق بوده و دچار خاموشی‌های برنامه‌ریزی‌شده و غیر قابل پیش‌بینی است.

روش کار

به منظور یافتن نتایج مناسب از شبیه‌سازی و کاهش عدم قطعیت نتایج خروجی مدل‌سازی با داده‌های واقعی، پس از مطالعهٔ مراجع مربوطه و طرح‌های پژوهشی، اولین اقدام دست یافتن به داده‌های ابتدایی مناسب و صحیح است. به این‌منظور ابتدا ضمن بازدید از شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس، داده‌های مرتبط با ارتفاع رقومی منطقه[1]، بررسی نوع سازه‌های موجود، جهت‌گیری ساختمان‌ها و ارتفاع آن‌ها اخذ شده است. ساختمان‌ها و سازه‌های موجود در این شهرک صنعتی بررسی و برای پایش مناسب، با استفاده از نقاط مرجع تعیین‌شده، داده‌ها وارد نرم‌افزار ArcGIS شده است. پس از تعیین مساحت‌های مؤثر و سازه‌های دارای قابلیت نصب پانل خورشیدی، مدل‌سازی مربوطه با استفاده از نرم‌افزار PVSol نسخهٔ ۲۰۲۱ انجام پذیرفته است (شکل ۱).

شرایط اقلیمی و نوع آب‌وهوا و همچنین میزان تابش مؤثر خورشید در شهر بندرعباس و در نزدیکی شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس در پژوهش‌های دیگر بررسی و نشان داده شده این منطقه پتانسیل بسیار مناسبی برای نصب پانل‌های خورشیدی دارد [۲ـ ۵].

شکل ۱. مراحل انجام پژوهش در منطقهٔ مطالعه‌شده

1. Digital Elevation Model (DEM)

بررسی میدانی موقعیت

شهرک صنعتی بندرعباس ۲، واقع در استان هرمزگان و شهرستان بندرعباس است. مساحت کلی شهرک ۱۰۰ هکتار و مساحت مناطق صنعتی ۷۹ هکتار است. این شهرک در کیلومتر ۳۰ جادهٔ بندرعباس به سمت سیرجان و در مسیر ترانزیتی قرار گرفته است (شکل ۲). صنایع و کارگاه‌های متفاوتی در این شهرک جانمایی شده و در حال کار هستند و سازه‌های متفاوت و با کاربری صنعتی- کارگاهی، اداری و بخش بسیار کوچکی فضای سبز نیز در این شهرک وجود دارد. به منظور داشتن اطلاعات مناسب از شیب منطقه، ارتفاع سازه‌های موجود و...، دادهٔ مربوط به ارتفاع رقومی بیش از ۲۱ هزار نقطه در این شهرک به دست آمده و همچنین، ارتفاع کلیهٔ سازه‌های موجود نیز برآورد و تحلیل شده است. داشتن اطلاعات مناسب از شیب منطقه و همچنین ارتفاع سازه‌ها در عملکرد تولید انرژی خورشیدی با استفاده از نصب پانل روی بام، تأثیر محسوسی در بهرهٔ خروجی آن‌ها خواهد داشت [۱۰].

شکل ۲. نمای شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس

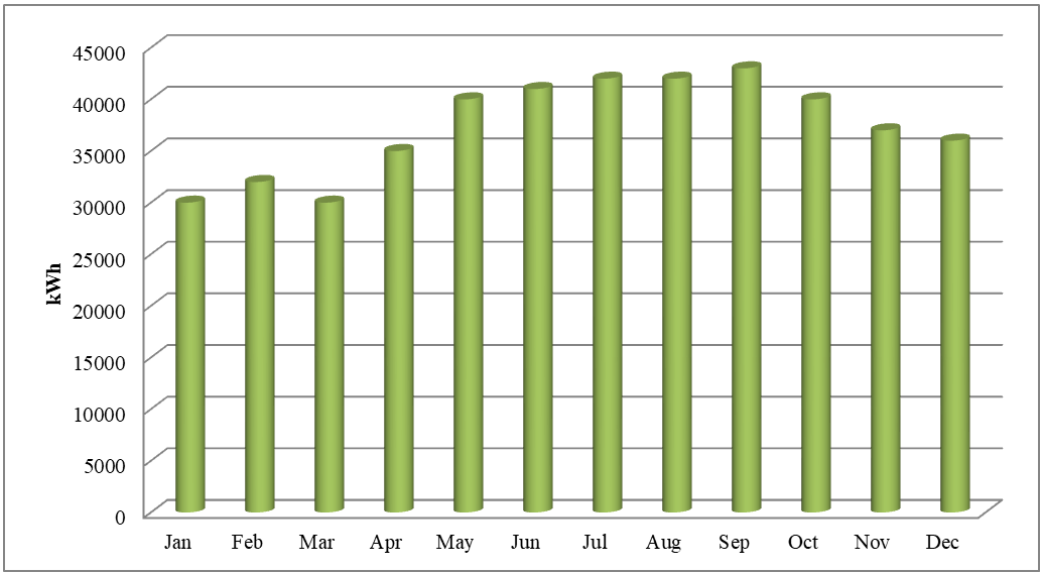
برای بررسی اثربخشی فرایند ارزیابی و امکان‌سنجی، ضروری است که میزان برق مصرفی کارگاه‌ها و کارخانه‌های مستقر در این شهرک پایش شود. بر اساس تحقیق صورت‌گرفته و اطلاعات اخذشده از شرکت شهرک‌های صنعتی استان هرمزگان، میانگین برق مصرفی ماهیانهٔ این کارگاه‌ها حدود ۳۰ kWh هزار در ماه است، که بر اساس نوع تولید، فصل‌های سال، به‌کارگیری سیستم‌های به‌روز و هوشمند و... برای برخی واحدها کمتر و برای برخی بیشتر از این مقدار است. نمودار مصرف میانگین ماهیانهٔ واحدهای تولیدی این شهرک در شکل ۳ ارائه شده است. لذا مقایسهٔ بین برق تولیدی از پانل‌های نصب‌شده و میزان برق دریافتی از شبکه را می‌توان بر این اساس بررسی و تحلیل کرد.

تحلیل جغرافیایی با استفاده از ArcGIS

نرم‌افزار ArcGIS از مجموعه ابزارهایی است که در مباحث داده‌های جغرافیایی و جانمایی، کمک مؤثری است. به منظور شبیه‌سازی شیب منطقه و همچنین انطباق موقعیت مورد مطالعه با داده‌های اقلیمی و تابش، پس از تعیین موقعیت محل نصب، نیاز است که این موقعیت زمین‌مرجع[1] شود [۱۱]. این قابلیت در نرم‌افزار ArcGIS وجود دارد. پس از زمین‌مرجع کردن و داشتن ارتفاع سازه‌های موجود در این شهرک، با استفاده از ماژول کاربردی ArcScene نمای سه‌بعدی شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس برآورد و شبیه‌سازی می‌شود. تحلیل و طراحی سه‌بعدی سازه‌ها، برای بررسی اثر سایه‌اندازی و تعیین فضای نصب

1. Geo Reference

بهینه در این ساختمان‌ها ضروری است و از هزینه‌های گزاف خواهد کاست. نقاط کنترلی برای تعیین زمین‌مرجع در نرم‌افزار ArcGIS، نقاط چهار طرف زمین شهرک صنعتی انتخاب شده‌اند (جدول ۱).



شکل ۳. میانگین برق مصرفی هر یک از واحدهای تولیدی مستقر در منطقهٔ مطالعه‌شده

جدول ۱. محدودهٔ شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس و نقاط کنترلی زمین‌مرجع

نقطهٔ کنترلی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
نقطهٔ ۱	۵۶° ۲۰' ۱۸٫۸۳" E	۲۷° ۲۰' ۳۹٫۶۳" N
نقطهٔ ۲	۵۶° ۲۰' ۴۸٫۹۱" E	۲۷° ۲۰' ۳۱٫۷۲" N
نقطهٔ ۳	۵۶° ۲۰' ۳۲٫۹۶" E	۲۷° ۱۹' ۴۲٫۱۸" N
نقطهٔ ۴	۵۶° ۲۰' ۰۲٫۴۹" E	۲۷° ۱۹' ۵۴٫۲۲" N

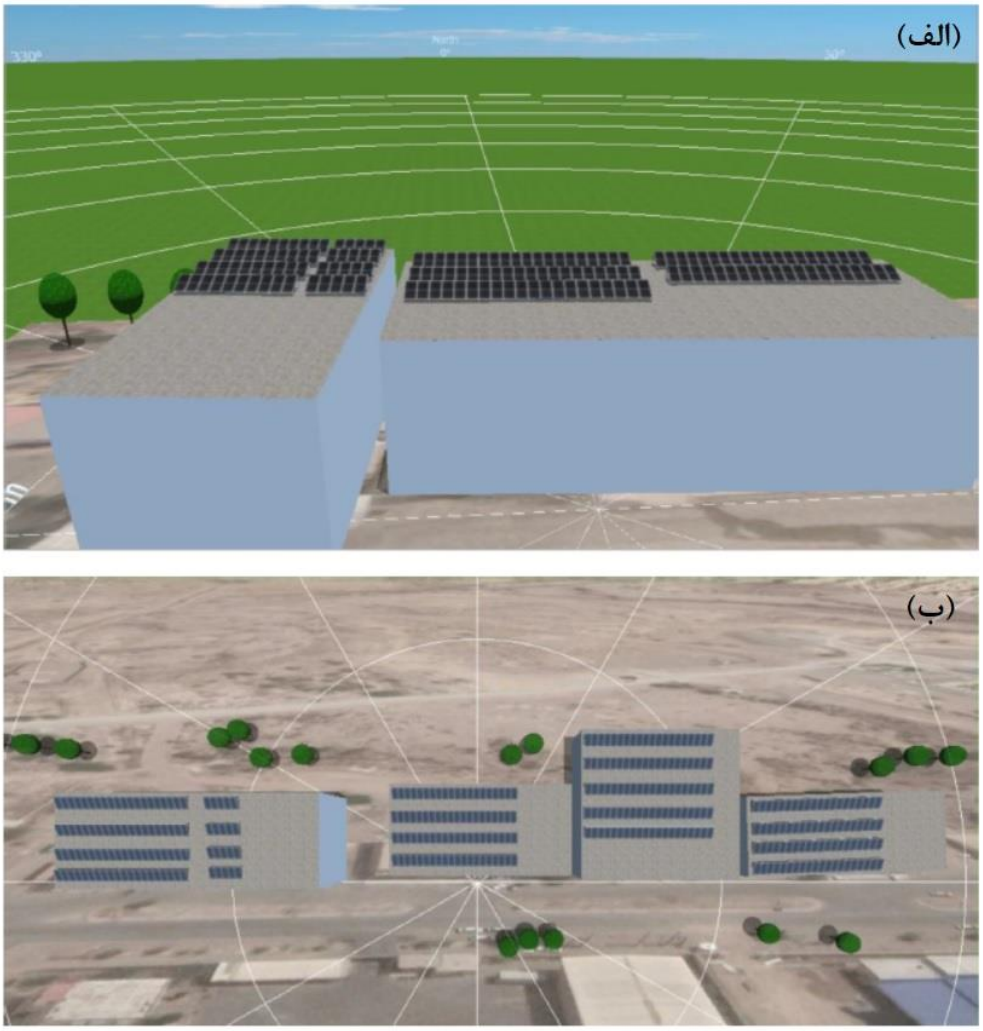
بررسی میدانی و تحلیل نتایج پایشی از نرم‌افزار ArcGIS نشان داده است برخی سازه‌ها دارای بام مسطح و برخی نیز که بیشتر سوله‌های صنعتی بوده، دارای شیب هستند. جهت‌گیری بام ساختمان‌ها در چیدمان و نحوهٔ نصب پانل‌های خورشیدی تأثیر دارد. به واسطهٔ این نوع بام، در برخی سازه‌ها تنها امکان نصب جنوب سو، و در برخی چیدمان شرق- غرب (دلتا وینگ) امکان‌پذیر است. برای محاسبهٔ مساحت مؤثر بام ساختمان‌های موجود در شهرک صنعتی، با کاربری نصب پانل خورشیدی، از قابلیت جدول‌های توصیفی[1] و همچنین پرسشگری[2] نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. بر اساس نوع و جهت‌گیری بام ساختمان‌ها، امکان پوشش ۲۰ درصد تا ۷۰ درصد بام این سازه‌ها با پانل خورشیدی وجود داشته است.

مدل‌سازی نصب پانل خورشیدی

شبیه‌سازی و انتخاب مدل و نرم‌افزار مناسب، کمک شایانی به نزدیک بودن داده‌های خروجی مدل با داده‌های واقعی خواهد کرد. برای بررسی امکان‌سنجی نصب پانل روی بام سازه‌های واحدهای تولیدی مستقر در شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس از نرم‌افزار PVSol نسخهٔ ۲۰۲۱ استفاده شده است. در صورت وجود داده‌های ورودی مناسب و دارای صحت خوب، خروجی این نرم‌افزار عدم قطعیت کمی داشته و با داده‌های میدانی تفاوت معناداری نخواهد داشت [۱۲]. از آنجا که نوع، شیب و جهت‌گیری و ابعاد بام سازه‌های موجود در این شهرک صنعتی متفاوت است، برای شبیه‌سازی نصب پانل‌خورشیدی، انواع متفاوتی از چیدمان نصب به کار گرفته شد. با توجه به وجود سازه‌های بسیار زیاد در این منطقه و همچنین وجود درخت در اطراف سازه‌ها که منجر به ایجاد اثر

1. Attribute Table
2. Query

سایه‌اندازی خواهد شد، کل منطقه به ۱۷ بخش تقسیم شده و شبیه‌سازی سازه‌ها، فضای سبز اطراف ساختمان‌ها و پانل‌های خورشیدی برای هر از این بخش‌ها به شکل جداگانه بررسی شده است (شکل ۴). یکی دیگر از علل جداسازی بخش‌ها، جلوگیری از ایجاد محاسبات سنگین و زمان‌بر در فرایند اجرای شبیه‌سازی است که در برخی مواقع به توقف نرم‌افزار منجر خواهد شد.



شکل ٤. نمایی از خروجی تصویری نرم‌افزار PVSol از نصب پانل از نمای (الف) آزیموس و (ب) نمای بالا

از آنجا که نوع پانل خورشیدی و مبدل‌های به‌کاررفته در نصب، روی ضریب عملکرد توان خروجی این نیروگاه‌های کوچک‌مقیاس تأثیر مهمی دارد، از یک نوع پانل خورشیدی با مشخصات فنی مشابه برای مدل‌سازی در کلیهٔ ۱۷ بخش استفاده شده است (جدول ۲). قابلیت سه‌بعدی این نرم‌افزار، استفاده از الگوریتم‌های مناسب برای تابش و همچنین پایگاه دادهٔ تجهیزات خورشیدی متنوع این نرم‌افزار، موجب شده خروجی شبیه‌سازی عدم قطعیت کمی داشته باشد و در صورت ورود داده‌های اولیهٔ مناسب و دقیق، توان خروجی شبیه‌سازی کمترین انحراف را با نتایج عملیاتی داشته باشد. به منظور جلوگیری از اثر سایه‌اندازی[1] پانل‌ها روی یکدیگر و در نتیجه، کاهش توان خروجی، فاصلهٔ بین پانل‌ها 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 دیگر شود [۲ و ۱۱]. برای تعیین فاصلهٔ بهینه بین پانل‌ها (D)، سه پارامتر مورد نیاز است، H عرض پانل است، برای آرایش عمودی H برابر با طول ضلع بزرگ‌تر پانل و در آرایش افقی برابر ضلع کوچک‌تر است. دو پارامتر دیگر

1. Shading

یکی عبارت است از: زاویهٔ نصب پانل 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 پانل‌ها از رابطهٔ ۱ تعیین می‌شود [۱۳]:

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

جدول ۲. مشخصات فنی پانل‌های خورشیدی به‌کاررفته در شبیه‌سازی

ردیف	مشخصهٔ نوعی	مقدار کمیت
۱	ولتاژ نقطهٔ بیشینهٔ توان	۴۵/۷۷ ولت
۲	شدت جریان نقطهٔ بیشینهٔ توان	۱۳/۳۳ آمپر
۳	توان اسمی	۶۱۰ وات
۴	بهرهٔ اسمی	۲۱/۸۳ درصد
۵	ابعاد	۲۴۶۵mm ×۱۱۳۴mm
۶	بیشینهٔ ولتاژ	۱۵۰۰ ولت
۷	ضریب افت ولتاژ به دما	درصد ۰/۲۴۶/k-

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 از منحنی‌های دوبعدی مسیر حرکت خورشید استفاده می‌شود. چنانچه مشخص است کمترین زاویهٔ خورشید طی سال مربوط به اواخر ماه 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 پانل‌ها حدود ۵/۶۰ متر به دست آمده است (جدول ۳). به منظور استفادهٔ بهینه از فضا و افزایش توان خروجی در فرایند شبیه‌سازی، در هر آرایه دو پانل به صورت افقی قرار داده شده است. برای محاسبهٔ تابش پخش از الگوریتم هافمن[1] استفاده شده است که رابطهٔ آن به شکل معادلهٔ ۲ است [۱۴]:

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

که در آن γ_S ارتفاع خورشید، E_{ext} تابش فرازمینی است. با استفاده از الگوریتم هی و دیویس[2] معادلات تابش سطح به دست می‌آید [۱۳ و ۱۴].

$$A_i = \frac{DNI}{E_a} \quad (۳)$$

که در آن DNI تابش مستقیم متعامد و E_a میزان تابش روی زمین است. متناسب با شرایط تابش پانل‌ها و مبدل‌ها[3] با توان خروجی متناسب و بهینه در شبیه‌سازی انتخاب شده است.

جدول ۳. مشخصات موقعیت محل نصب برای تعیین فاصلهٔ بهینهٔ بین پانل‌ها

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

تحلیل آنالیز حساسیت در شبیه‌سازی

تجزیه‌وتحلیل حساسیت روشی برای مطالعه و تجزیه‌وتحلیل حساسیت وضعیت یا تغییرات خروجی یک سیستم (یا مدل) به تغییرات در پارامترهای سیستم یا شرایط محیطی است [۱۵]. در عمل کیفیت نهایی پانل خورشیدی و بهرهٔ خروجی آن وابسته به توان بیشینه است که با رابطهٔ ۴ بیان می‌شود [۱۵]:

1. Hoffmann
2. Hey & Davies
3. Inverter

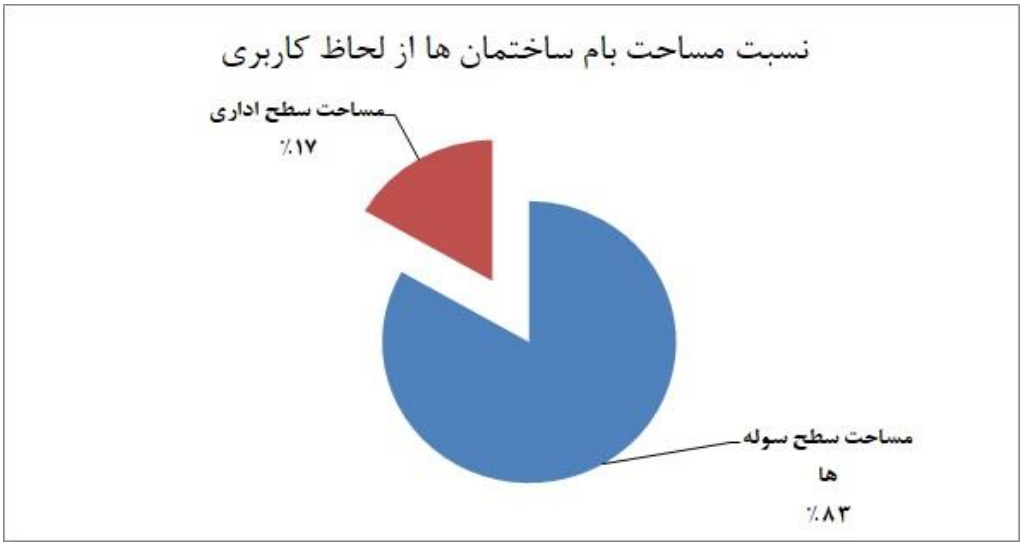
$$E_{mod} = \frac{P_{max,STC}}{G_{STC}} H_p.MPR \quad (۴)$$

که در آن E_{mod} بهرهٔ توان خروجی، MPR ضریب عملکرد ماژول، $G_{STC}=1000\ Wm^{-2}$ تابش در شرایط STC و H_p مجموع تابش درون صفحات پانل خورشیدی طی دوره استفاده است. البته در نهایت عملکرد پانل وابسته به دمای ماژول، تابش و طیف خورشید است [۱۶]. در مناطق آفتابی بیشترین تأثیر در عملکرد توان خروجی پانل خورشیدی مربوط به تغییرات دما است و در مناطق با اقلیم ابری بیشترین تأثیر مربوط به میزان نور دریافتی در پانل است.

از میان داده‌های زیادی که امکان پردازش آنالیز حساسیت در آن‌ها وجود دارد، تغییرات دمایی و میزان تابش در منطقه محسوس‌تر است، و اطلاعات مرتبط با این کمیت‌ها در مشخصات فنی پانل‌های خورشیدی مورد استفاده در شبیه‌سازی موجود است. به این‌منظور با استفاده از قابلیت جست‌وجوی هدف[1] در نرم‌افزار اکسل و ورود داده‌های مرتبط با رابطهٔ ۴، ضرایب حساسیت تحلیل شده است.

یافته‌ها

بررسی و تحلیل داده‌های میدانی ارتفاع رقومی، ارتفاع و کاربری ساختمان‌های موجود در شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس نشان می‌دهد مجموع مساحت بام سازه‌های موجود در این شهرک ۱۲۵۴۳۳ متر مربع است. همان‌گونه که انتظار می‌رود، بیش از ۸۳ درصد این مساحت مربوط به سوله‌های صنعتی و کارگاه‌های موجود در این شهرک صنعتی است (شکل ۵).



شکل ۵. نسبت نوع کاربری ساختمان‌های مستقر در منطقهٔ مطالعه‌شده

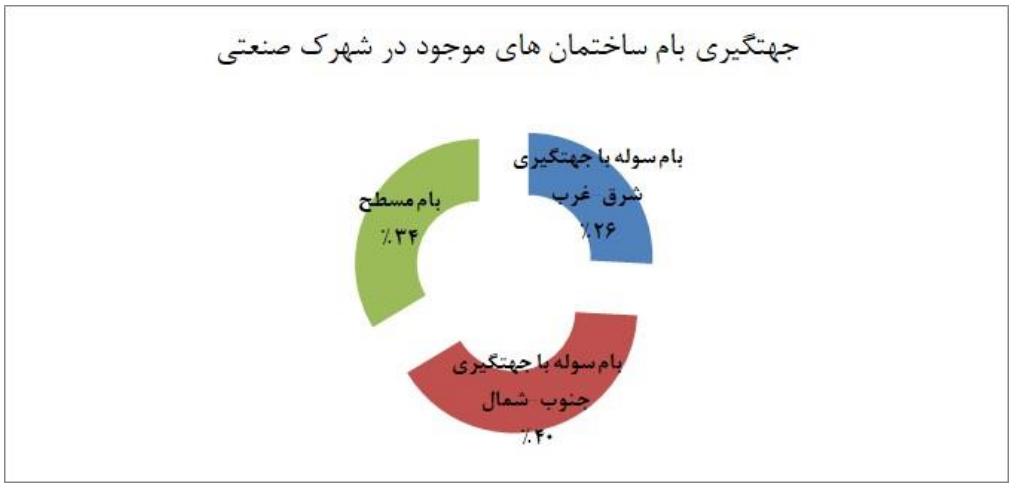
آنچه در نحوهٔ نصب پانل خورشیدی و امکان‌سنجی آن دارای اهمیت است، جهت‌گیری بام این سازه‌ها است. در شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس سه نوع بام ساختمانی وجود داشت که عبارت‌اند از: سوله با جهت‌گیری شرق- غرب، سوله با جهت‌گیری جنوب- شمال و بام‌های مسطح، که عمدتاً مربوط به ساختمان‌های اداری هستند. بر اساس پایش انجام‌شده و تحلیل جدول‌های توصیفی نرم‌افزار ArcGIS، بیشترین نوع سازهٔ جنوب- شمال است و کمترین نوع آن مسطح است (شکل ۶).

بررسی نقاط رقومی پایش‌شده در موقعیت مورد مطالعه و درون‌یابی این داده‌ها برای تخمین توپولوژی آن نشان داده که محدودهٔ مورد مطالعه در شهرک صنعتی دارای شیب مناسب و کم بوده و اثر سوئی روی سایه‌اندازی ساختمان‌ها نخواهد داشت. با توجه به دور بودن این منطقه از شهر بندرعباس، و نبود تپه در اطراف این شهرک صنعتی، کمک شایانی به نصب پانل‌های خورشیدی روی بام آن‌ها محسوب می‌شود. تعداد ۱۱۶ ساختمان و سازه در شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس قابلیت نصب پانل

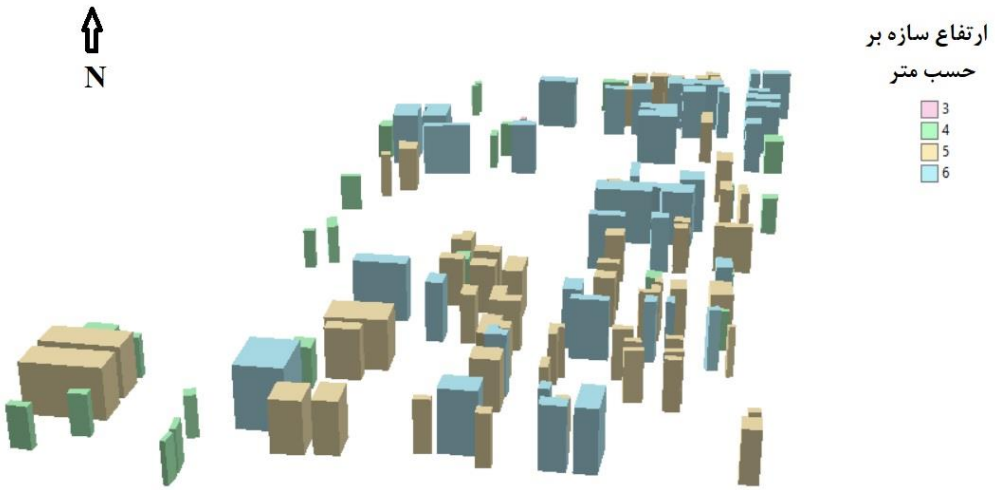
1. Goal seek

خورشیدی بر بام را داشتند که ارتفاع این ساختمان‌ها از ۳ تا ۶ متر است. با استفاده از ماژول ArcScene تصاویر سه‌بعدی این شهرک ارائه شده است (شکل ۷). بررسی این نوع تصاویر بر اثر سایه‌اندازی و همچنین، بررسی بادشکن برای پانل‌های خورشیدی ضروری است.

پس از بررسی نتایج مکانی و ساختمانی شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس، نتایج خروجی شبیه‌سازی نصب پانل‌های خورشیدی بر بام این ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. میزان انرژی تولیدی، توان تولیدی، تعداد پانل و مبدل‌های مورد نیاز و سایر مشخصه‌های فنی اخذ و در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد از لحاظ فنی و اقتصادی دو عامل مهم ضریب عملکرد و نسبت بهرهٔ سالیانهٔ پانل‌های خورشیدی نصب‌شده در این شهرک صنعتی، ارقام مناسبی بوده و نشان‌دهندهٔ بهرهٔ مناسب توان خروجی و به‌صرفه بودن فرایند است.



شکل ٦. نوع بام و جهت‌گیری بام سازه‌ها در منطقهٔ مطالعه‌شده



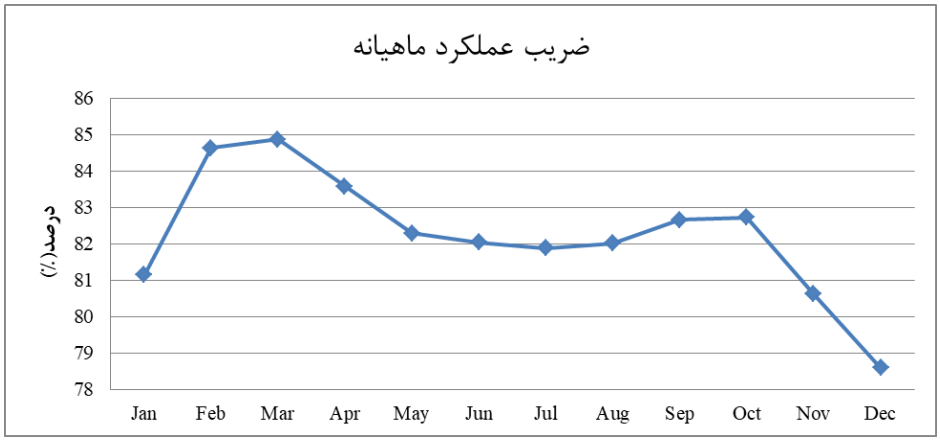
شکل ۷. تصویر سه‌بعدی ساختمان و سازه‌های مورد بررسی در شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس

جدول ٤. مشخصات فنی خروجی شبیه‌سازی پانل‌های خورشیدی نصب‌شده بر بام ساختمان‌های شهرک صنعتی

تعداد پانل	تعداد مبدل	میانگین ضریب عملکرد (درصد)	انرژی الکتریکی تولیدی (kWh/year)	توان تولیدی (kWp)	بهرهٔ مشخصهٔ سالیانه (kWh/kWp)
۱۳۶۳۴	۳۰۰	۸۲/۰۱	۳۱۱۷۴۰۵	۶۵۸۰/۹۴	۱۷۹۰/۳۱

بررسی نتایج شبیه‌سازی ضریب عملکرد پانل‌های نصب‌شده بر بام ساختمان‌ها، در شکل ۸، در منطقهٔ مورد مطالعه در ماه‌های متفاوت سال، نشان می‌دهد مقدار ضریب همراه بین ۷۸ تا ۸۵ درصد بوده که برای این نوع نیروگاه‌های کوچک‌مقیاس مقدار مناسبی محسوب می‌شود و نشان از بهرهٔ خروجی مناسب و عملکرد مؤثر این پانل‌ها است.

از آنجا که عمدهٔ مساحت مفید برای نصب پانل خورشیدی روی بام ساختمان‌های موجود در شهرک صنعتی حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر مربع بوده است، لذا از لحاظ فنی مجموع توان تولیدی بر این نوع بام سازه‌ها حدود ۲۲kw_p است، لذا برای بررسی اقتصادی این طرح این نوع نیروگاه کوچک‌مقیاس صورت گرفته است. به منظور پایش مالی و مطابق با قیمت‌های سال جاری و همچنین هزینه‌های نصب و اجرا در استان هرمزگان، داده‌های اولیه مالی برای نصب این نوع نیروگاه در جدول ۵ ارائه شده است 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.

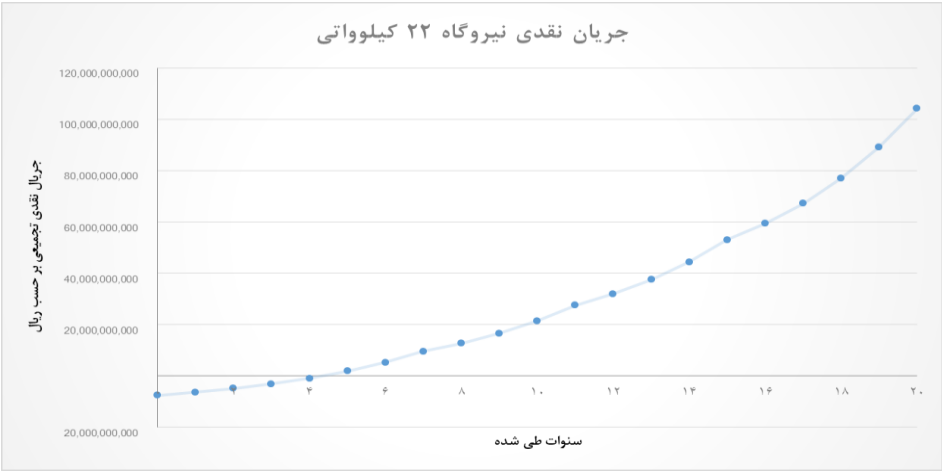


شکل ۸. ضریب عملکرد ماهیانهٔ پانل‌های خورشیدی نصب‌شده بر بام ساختمان‌ها در منطقهٔ مطالعه‌شده

جدول ۵. داده‌های مالی و فنی اولیه برآورد اقتصادی طرح

توان تولیدی kw	مساحت مؤثر مورد نیاز m^2	هزینهٔ ثابت سرمایه گذاری(ریال)	تعرفهٔ اتصال به شبکه (ریال)	ضریب تعدیل اولیه	ضریب خرید جدید
۲۲	۲۵۰	۷،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۲۰۳	۱٫۴	۱

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 ۴ تا ۵ سال است.



شکل ۹. جریان نقدینگی تجمیعی برای نیروگاه کوچک‌مقیاس ۲۲ کیلوواتی نصب‌شده بر بام ساختمان در موقعیت مورد بررسی

نتایج تحلیل آنالیز حساسیت توان خروجی نسبت به تغییرات دمایی نیز نشان داد در محدودهٔ دمایی ۲۰ تا ۲۷ درجهٔ سلسیوس تغییرات توان محسوس نیست، اما با افزایش دما به بیش از ۲۷ درجه، روند کاهش توان تولیدی محسوس است که این امر به‌ویژه در ماه‌های گرم سال در استان هرمزگان چالش جدی در روند انجام پروژه است (شکل ۱۰).

شکل ۱۰. تحلیل حساسیت توان خروجی پانل‌های نصب‌شده نسبت به تغییرات دمایی

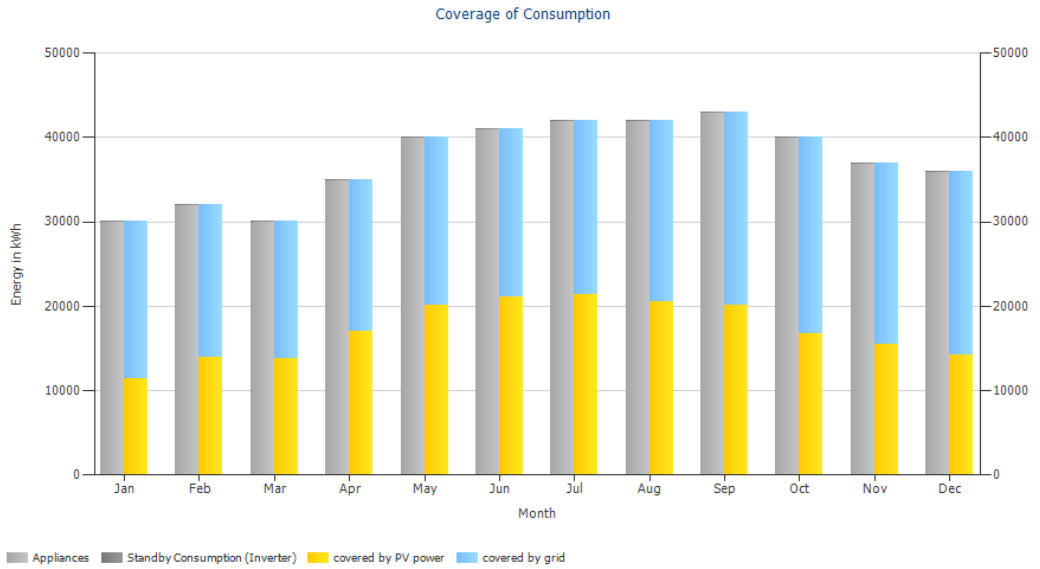
بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس پایش و تحلیل انجام‌شده حدود ۳۰ درصد از بام ساختمان‌های مستقر در شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس امکان نصب پانل خورشیدی را داشته و این میزان مساحت مؤثر، انرژی الکتریکی قابل توجهی را تولید می‌کند. نتایج شبیه‌سازی میزان مصرف میانگین در واحدهای تولیدی در این شهرک و مقایسهٔ آن با انرژی تولیدی از پانل‌های نصب‌شده روی بام آن‌ها نشان می‌دهد می‌توان در ماه‌های متفاوت سال بین ۳۰ تا ۵۰ درصد میزان برق مصرفی آن‌ها از این پانل‌ها تأمین کرد (شکل ۱۱).

به منظور تخمین میزان گاز دی‌اکسید کربن ایجادشده از نیروگاه مشابه با توان و راندمان خروجی نیروگاه‌های خورشیدی طراحی و شبیه‌سازی‌شده در این پژوهش، خروجی نرم‌افزار PVSol به نرم‌افزار RETScreen وارد و تحلیل زیست‌محیطی توسط این نرم‌افزار انجام شده است. بر اساس برآورد انجام‌شده در نرم‌افزار RETScreen در صورتی که قصد تولید ۸Mw توان تولیدی از نیروگاه‌های فسیلی و یا سیکل ترکیبی ایجاد کنید که مشابه با توان تولیدی نیروگاه خورشیدی نصب‌شده بر بام ساختمان‌های شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ به میزان ۳/۱ GWh/year، منجر به تولید بیش از ۶۸۰۰ تن گاز CO_2 خواهد شد، و تحقق این طرح کمک شایانی به محیط زیست خواهد بود. از لحاظ بعد اقتصادی و مالی نیز برگشت هزینهٔ انجام‌شده در این طرح برای هریک از واحدهای تولیدی بین ۴ تا ۵ سال خواهد شد که با توجه به نوع اقلیم منطقه و تابش مؤثر در آن، این فرایند را به‌صرفه خواهد کرد. تنوع نوع بام سازه‌ها و همچنین، آثار سایه‌اندازی ساختمان‌های همجوار روی یکدیگر منجر به کم شدن اثر این خروجی شده است که در صورت تهیهٔ الزاماتی در این مورد در شهرک‌های صنعتی می‌توان چالش عمدهٔ آن‌ها، به‌ویژه در فصل‌های گرم سال را کاهش داد و انرژی مورد نیاز آن‌ها را تأمین کرد. البته یادآوری این نکته مهم است که میزان مصرف و تولید انرژی را نمی‌توان به شکل نامحدود افزایش داد و با نوسازی، روزآمد کردن تجهیزات و خطوط تولید و همچنین استقرار سیستم‌های مدیریت انرژی و همچنین توجه به استانداردها و الزامات معیار مصرف انرژی کمک شایانی به روند صعودی مصرف خواهد کرد.

مقایسهٔ نتایج خروجی مدل‌سازی انجام‌شده با پژوهش‌های مشابه نشان از بهرهٔ مناسب این طرح نسبت به فرایند و پژوهش‌های مشابه دارد (جدول ۶). نتایج این مقایسه نشان می‌دهد اقلیم مناسب بندرعباس و تابش متوالی آفتاب در این منطقه منجر به افزایش راندمان و بهرهٔ پانل‌های خورشیدی نصب شده است و نسبت به پانل‌های نصب‌شده در کشورهای اروپایی ضریب عملکرد مناسب‌تری دارد. شایان یادآوری است نوع پانل خورشیدی و مبدل‌ها نیز تأثیر فراوانی روی این امر خواهند

داشت. در مبحث تولیدی انرژی نیز پانل‌های نصب‌شده روی بام ساختمان‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه در بندرعباس، توانی همانند پانل‌های نصب‌شده در کشورهای امارات متحدهٔ عربی و مالزی را داشته و نسبت به پانل‌های نصب‌شده در کشورهای اروپایی ۱۰ تا ۲۰ درصد بیشتر خواهد بود.



شکل ۱۱. مقایسهٔ بین برق مصرفی، برق تولیدی از پانل خورشیدی نصب‌شده بر بام و برق اخذشده از شبکهٔ سراسری

جدول ٦. مقایسهٔ داده‌های مدل‌سازی در منطقهٔ مطالعه‌شده با پژوهش‌های مشابه [۱۷ـ۱۹]

ردیف	محل انجام پروژه	ضریب عملکرد پانل خورشیدی نصب‌شده بر بام ساختمان	مقدار انرژی تولیدی از پانل نصب‌شده به ازای هر ۱۰۰ متر مربع بام kWp
۱	امارات متحدهٔ عربی	۸۴ درصد	۲۲/۵
۲	مالزی	۸۲ درصد	۲۱/۱
۳	نروژ	۷۹ درصد	۱۸/۶
۴	انگلیس	۶۹ درصد	۱۷/۹
۵	بنگلادش	۷۷ درصد	۲۰/۵
۶	شهرک صنعتی شمارهٔ ۲ بندرعباس	۸۲/۲ درصد	۲۲/۱

این نتایج و بهرهٔ خروجی مناسب پانل‌های نصب‌شده بر بام ساختمان و سوله‌های واحدهای مستقر در شهرک‌های صنعتی کمک بسزایی به رفع چالش کمبود انرژی و خاموشی‌های ناخواسته خواهد بود. از آنجا که برگشت هزینهٔ صورت‌پذیرفته در این فرایند طی ۴ تا ۵ سال بوده، این فرایند از لحاظ اقتصادی نیز به‌صرفه است و یکی دیگر از مزایای آن برای واحدهایی است که کار آن‌ها فصلی است و تنها در بخشی از سال فعال بوده‌اند. این واحدها در سایر فصل‌های سال می‌توانند با فروش برق تولیدی از پانل‌های نصب‌شده بر بام ساختمان خود، هزینه‌های جاری و نگهداری را در ایام تعطیلی خود تأمین کنند. الزام واحدهای تولیدی به این موضوع و ایجاد مشوق‌های فنی و اقتصادی برای آن‌ها، انگیزهٔ این امر را چند برابر خواهد کرد و در مسیر توسعهٔ قابلیت رقابت با سایر کشورها، به‌ویژه کشورهای همسایه را افزایش خواهد داد.

منابع

[1] Barimani M, Kaabi A. Renewable energy and sustainable development in Iran. Journal of Renewable and New Energy. 2014; 1(1):21-26. *[Persian]*

[2] 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.

[3] Kumar N M, Gupta R P, Mathew M, Jayakumar A, Singh N K. Performance, energy loss, and degradation prediction of roof integrated crystalline solar PV system installed in Northern India. Case Studies in Thermal Engineering. 2019; 13: 100409.

[4] Akbari H, Kalvir H R. Optimization of form, aspect ratio and orientation of building based on solar radiation and wind direction (Case studies: Tabriz, Yazd and Bandar Abbas cities). Arid Regions Geographic Studies. 2018; 9(1):1-13. *[Persian]*

[5] Gherdini M S, Delbari M, Amiri M, Piri J. Calibration of TRMM 3B43 precipitation data in Hormozgan province. Journal Irrigation and Water Engineering. 2018; 9(1): 99-112. *[Persian]*

[6] Lee B, Trcka M, Hensen J L. Rooftop photovoltaic (PV) systems: A cost-benefit analysis study of industrial halls. International Journal of Low-Carbon Technologies. 2013; 9(4):319-326.

[7] Talut M, Bahaj A S, James P. Solar Power Potential from Industrial Buildings and Impact on Electricity Supply in Bangladesh. Energies. 2022; 15. 4037.

[8] Hussain M N, Qamar B, Janajreh I, Zamzam S. Solar PV Implementation in Industrial Buildings: Economic Study. International Renewable and Sustainable Energy Conference 4-7 December 2017, Tangier, Morocco. 2017.

[9] Phap V M, Nga N T. Feasibility Study Of Rooftop Photovoltaic Power System For A Research Institute Towards Green Building In Vietnam. EAI Endorsed Transactions on Energy Web. 2020; 162825:1-9. DOI: 10.4108/eai.7-1-2020.162825.

[10] George A M. Utility Scale Solar Power Plants A Guide For Developers and Investors. 1st, India New Delhi, International Finance Corporation A Member Of World Bank Group; 2012.

[11] Li D. Using GIS and Remote Sensing Techniques for Solar Panel Installation Site Selection. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Science in Geography. 2013.

[12] Syal S M, Macdonald E F. Quantifying The Uncertainty of Solar Photovoltaic Soft Costs In The "Cost of Renewable Energy Spreadsheet Tool" (Crest) Model. Socio-Technical Issues in Design 2157 International Design Conference – 26-29 October 2020 **Croatia,** Design 2020.

[13] Hofmann M, Seckmeyer G. A New Model for Estimating the Diffuse Fraction of Solar Irradiance for Photovoltaic System Simulations. Energies. 2017; Vol. 10:248-260.

[14] Hofmann M, Seckmeyer G. Influence of Various Irradiance Models and Their Combination on Simulation Results of Photovoltaic Systems. Energies. 2017; Vol. 10, pp. 1495-1510, 2017.

[15] Blakesley J G, Huld T, Mullejans H, Garcia-Amillo A, Friesen G, Betts T R, Hermann W. Accuracy, cost and sensitivity analysis of PV energy rating, Solar Energy. 2020; Vol 203,pp91-100.

[16] Zhang F, Han Ch, Wu M, Hou X, Wang X, Li B. Global sensitivity analysis of photovoltaic cell parameters based on credibility variance. Energy Reports. 2022; Vol 8, pp7582-7588.

[17] Md Khairi N H, Akimoto Y, Okajima K. Suitability of rooftop solar photovoltaic at educational building towards energy sustainability in Malaysia. Sustainable Horizons. 2022; 4:100032.

[18] Zublie M F M, Hasanuzzaman M, Abd Rahim N. Feasibility Analysis of Solar Power Generation System for Office Building in Academic Institution. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2021: (ICMEAM 2021) 12th-14th November 2021, Sanya, Hainan Province, China.

[19] Smiles M J, Law A m, Urwick A N, Thomas L, Irvine L A D, Pilot M T, and et al. Next steps in the footprint project: A feasibility study of installing solar panels on Bath Abbey. Energy Science & Engineering, 2021; 10 (3). pp. 892-902.