The University of Tehran Press

Journal of Sustainable Energy Systems

Online ISSN: 2980-8693

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

Modeling of 1 MW Solar Power Plant in Chabahar Using RETScreen Software

Armin Ghodrati[1] | Saman Bahmanyar[2] | Siyavash Orouji[3] | Rahim Zahedi[4] | Abolfazl Ahmadi[5*]

1. MSc in energy systems engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, Email: armin.ghodrati76@gmail.com
2. MSc student of energy systems engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, Email: samanbahmanyar@nt.iust.ac.ir
3. MSc student of energy systems engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran, Email: siyavashorouji@nt.iust.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Energy Governance, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: rahimzahedi@ut.ac.ir
5. Coresponding Author, Associate Professor, Department of Energy Systems, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, Email: a_ahmadi@iust.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 05 January 2024
Revised 04 February 2024
Accepted 05 March 2024
Published Online 26 August 2024

Keywords:
Chabahar,
Economic survey,
RETScreen,
Solar power plant.

ABSTRACT

Among the types of renewable energy, solar energy has received more attention due to its ability to be directly converted into electricity and heat, ease of use, possibility of storage, and its endless nature. Therefore, in recent decades, a lot of research has been done on solar energy systems in Iran and the world. Makran region, located in the southeast of Iran, has one of the greatest potentials of using solar energy among other regions of Iran. In this research, a one-megawatt power plant in Chabahar city, located in Sistan and Baluchistan province, on the southeast coast of Iran, has been modeled using RETScreen software and issues such as return on investment, internal rate of return (IRR), net present value (NPV) and carbon dioxide emissions. levels have been investigated. Finally, according to the considered conditions of the investment return period, according to the guaranteed purchase contract with a tender price of 73 dollars, the amount of carbon dioxide production in the region will be reduced for about 3 years and about 1009 tons per year.

Cite this article: Ghodrati, A.; Bahmanyar, S.; Orouji, S.; Zahedi, R. & Ahmadi, A. (2024). Modeling of 1 MW Solar Power Plant in Chabahar Using RETScreen Software. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 3 (2), 139-150. DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024. 376593.1068

© Armin Ghodrati, Saman Bahmanyar, Siyavas Orouji, Rahim Zahedi, Abolfazl Ahmadi
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024.376593.1068

1. Introduction

Today, due to the limitation of fossil resources and the increase in energy demand and finally environmental considerations, the use of renewable energy sources has become inevitable. The solar power plant is one of the new technologies in the field of electricity production or minimizing environmental pollution, and considering that Iran has a good potential in the field of solar energy, it seems necessary to use this clean and unlimited source of energy. A solar site selection problem motivated by a real-world case study was investigated to determine sustainable locations for establishing solar sites in eastern Iran. The current research, including the collection of primary data such as geographic location and climate data, inputting project information, system type, and technical specifications, energy analysis to calculate energy production and losses, economic analysis for incomes and revenues and evaluation of financial indicators, environmental analysis to calculate

reduction release greenhouse gases and finally preparing the final report including technical, economic and environmental details.

2. Methodology

In this section, the feasibility of the desired area has been fully investigated along with the parameters and the method of investigation. In addition, economic considerations such as local land and labor costs and social benefits such as employment generation and local development must also be taken into account. For all days of the year by month, the average air temperature, humidity percentage, total solar radiation, atmospheric pressure, wind speed, temperature below 18 degrees and temperature on days colder than 10 degrees are provided. The descriptions of the panels used are also mentioned.

3. Results and Discussion

The analysis of pollution emissions by the power plant is shown in RETScreen software. The obtained results have been made in two parts of economic analysis and environmental analysis. The investment return of this project occurs almost from the third year. In the first year, the amount spent is equivalent to 420,000 to 430,000 dollars, which will return at the end of the third year. Also, the non-linear and upward growth of the rate of return on investment makes the justification of the project very high. It can be seen that the interest rate will reach approximately $650,000 in the year 20. In this study, it is assumed that the amount of electricity produced by this power plant is sold at a tender price of 0.073 dollars per kilowatt hour. The tender price of electricity refers to the price that is determined in a bidding process for buying or selling electricity. The purpose of this process is to determine the fairest and most optimal price possible for electricity. The amount of the tender price of the produced electricity is based on the price of electricity export sales in 1402. The NPV value of the project is greater than zero and the IRR value of the project is 37.4% greater than the discount rate of 17%, so it can be concluded that the project is economically viable.

4. Conclusion

The results show that the return on investment of this project starts practically immediately in the third year. The first year costs between $420,000 and $430,000, which is returned at the end of the third year. This project is well justified due to the non-linear and increasing rate of return on investment. Obviously, after 20 years, the interest rate will be approximately $650,000. The interest rate that an investor can earn in a safe market without risking or using his capital is called the discount rate, which is another term from the field of economics. It is obvious that this project has an NPV value greater than zero and its IRR value is 37.4% higher than the discount rate of 17%, which indicates that the project is affordable.

انتشارات دانشگاه تهران

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار

سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰

مدل‌سازی نیروگاه خورشیدی ۱ مگاواتی در شهرستان چابهار با استفاده از نرم‌افزار RetScreen

آرمین قدرتی[۱] | سامان بهمنیار[۲] | سیاوش عروجی[۳] | رحیم زاهدی[۴] | ابوالفضل احمدی[۵*]

۱. کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه:armin.ghodrati76@gmail.com

۲. دانشجو کارشناسی مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: samanbahmanyar@nt.iust.ac.ir

۳. دانشجو کارشناسی مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: siyavashorouji@nt.iust.ac.ir

۴. استادیار، گروه حکمرانی انرژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: rahimzahedi@ut.ac.ir

۵. نویسندهٔ مسئول، دانشیار، گروه سیستم‌های انرژی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: a_ahmadi@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

کلیدواژه:
بررسی اقتصادی،
چابهار،
نیروگاه خورشیدی،
RETScreen.

چکیده

در بین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی به دلیل قابلیت تبدیل مستقیم به الکتریسیته و گرما، سهولت استفاده، امکان ذخیره‌سازی و بی‌پایان بودن آن بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، بنابراین در دهه‌های اخیر تحقیقات زیادی روی سیستم‌های انرژی خورشیدی در ایران و جهان صورت گرفته است. منطقهٔ مکران واقع در جنوب شرقی ایران از بیشترین پتانسیل‌های استفاده از انرژی خورشیدی در بین دیگر مناطق ایران را دارد. در این تحقیق یک نیروگاه ۱ مگاواتی در شهر چابهار واقع در استان سیستان و بلوچستان در سواحل جنوب شرقی ایران با استفاده نرم‌افزار RETScreen مدل‌سازی شده و موضوعاتی همچون دورهٔ بازگشت سرمایه، نرخ بازده داخلی (IRR)[۱]، ارزش خالص فعلی (NPV)[۲] و میزان عدم انتشار کربن‌دی‌اکسید بررسی شده است. در نهایت با توجه به شرایط درنظرگرفته‌شده دورهٔ بازگشت سرمایه طبق قرارداد خرید تضمینی با قیمت مناقصه ۰/۰۷۳ دلار به ازای هر کیلووات ساعت به مدت حدود ۳ سال و سالانه حدود ۱۰۰۹ تن به صورت ناخالص از میزان تولید کربن‌دی‌اکسید در منطقه کاسته می‌شود.

استناد: قدرتی، آرمین؛ بهمنیار، سامان؛ عروجی، سیاوش؛ زاهدی، رحیم و احمدی، ابوالفضل. (۱۴۰۳). مدل‌سازی نیروگاه خورشیدی ۱ مگاواتی در شهرستان چابهار با استفاده از نرم‌افزار RetScreen. *فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار*، ۳ (۲) ۱۳۹-۱۵۰ . DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024. 376593.1068

© آرمین قدرتی، سامان بهمنیار، سیاوش عروجی، رحیم زاهدی، ابوالفضل احمدی
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2024. 376593.1068

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

1. internal rate of return
2. net present value

۱. مقدمه

افزایش جمعیت کرهٔ زمین و روند صنعتی شدن کشورهای جهان منجر به استفادهٔ روزافزون از منابع مختلف انرژی شده است. توسعهٔ جوامع بشری ارتباط مستقیمی با افزایش مصرف انرژی داشته است. از یک سو، نیاز کشورهای جهان به منابع انرژی پایدار، در دسترس و ارزان و از سوی دیگر، تعهد آن‌ها به تعهدات بین‌المللی و محدودیت‌های زیست‌محیطی باعث شده است که توجه این کشورها به انرژی‌های تجدیدپذیر معطوف شود. افزایش مصرف برق در قرن بیستم دولت‌ها را بر آن داشته تا با ساخت نیروگاه‌های مختلف به تقاضای کشور خود برای این نوع انرژی ثانویه پاسخ دهند [۱]. اما ساخت این نیروگاه‌ها اغلب بدون برنامه‌ریزی و مطالعات مکان‌یابی، جوامع انسانی این کشورها را با مشکلات جدی مواجه کرد.

امروزه، به دلیل محدودیت منابع فسیلی و افزایش تقاضای انرژی و در نهایت ملاحظات زیست‌محیطی، بهره‌برداری از منابع انرژی تجدیدپذیر اجتناب‌ناپذیر شده است. نیروگاه خورشیدی یکی از فناوری‌های نوین در زمینهٔ تولید برق یا به حداقل رساندن آلودگی‌های زیست‌محیطی است و با توجه به اینکه ایران پتانسیل خوبی در زمینهٔ انرژی خورشیدی دارد، استفاده از این منبع انرژی پاک و نامحدود ضروری به نظر می‌رسد. یک مشکل انتخاب سایت خورشیدی با انگیزه یک مطالعهٔ موردی در دنیای واقعی برای تعیین مکان‌های پایدار برای ایجاد سایت‌های خورشیدی در شرق ایران مورد بررسی قرار گرفت [۲].

بررسی ادبیات جامع وضعیت فتوولتائیک در ایران با توجه به شرایط آب‌وهوایی، پتانسیل‌های توسعهٔ فتوولتائیک، سیاست‌های انرژی در داخل کشور و تجربیات فتوولتائیک ارائه شده است [۳]. یک راه حل قابل اعتماد برای جایگزینی گاز طبیعی با انرژی خورشیدی یا بادی در مقیاس ملی با استفاده از یک رویکرد شبیه‌سازی هدف قرار گرفت. نتیجه‌گیری شد که استفاده از کلکتورهای حرارتی خورشیدی باعث کاهش میانگین هزینهٔ کل حدود ۱۳ درصد شد [۴]. به منظور حل مشکل تجمع گرد و غبار روی سطوح شفاف، نانوپوشش‌ها روی نمونه‌های شیشه‌ای قرار گرفتند تا خاصیت خود تمیزشوندگی ایجاد شود [۵].

زاهدی و همکاران پتانسیل تولید برق فتوولتائیک در سواحل اقیانوسی جنوب شرق ایران را مورد بررسی قرار دادند [۲]. مجموع توان برق قابل استحصال از نقاط مناسب منطقه محاسبه شد که نشان‌دهندهٔ پتانسیل بالای سواحل جنوب شرقی ایران در بهره‌مندی از انرژی‌های تجدیدپذیر است که می‌تواند موتور محرکی برای صنعت، اقتصادی و توسعهٔ اجتماعی منطقهٔ مکران باشد. محاسبات نشان می‌دهد فقط با احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک با ظرفیت کل ۳ هزار مگاوات در منطقهٔ مورد مطالعه که حدود ۰/۵ درصد از زمین‌های بسیار خوب را پوشش می‌دهد، می‌توان کل نیروگاه‌های فعلی سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۵ را با نیروگاه‌های فتوولتائیک جایگزین کرد.

محمود و همکاران به مدل‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی برای برآوردن نیاز انرژی بخش داخلی پاکستان با استفاده از نرم‌افزار RETScreen پرداخته‌اند [۶]. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد نصب سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی تا حد زیادی به اشتراک بار برق کمک می‌کند که به بهبود وضعیت انرژی و کاهش نگرانی‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور منجر می‌شود.

عمر و همکاران به مقایسهٔ نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی برق PV روی تحلیل عملکرد نیروگاه خورشیدی PV متصل به شبکهٔ ۱ مگاواتی پرداخته‌اند [۷]. پژوهش یادشده برای مطالعهٔ بیشتر در مورد تجزیه‌وتحلیل عملکرد نیروگاه‌های PV و مقایسهٔ ابزارهای مختلف شبیه‌سازی PV به منظور شناسایی مناسب‌ترین نرم‌افزار مفید است.

رملی و همکاران با استفاده از دو نرم‌افزار شبیه‌سازی هومر و RETScreen فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر را مقایسه کرده‌اند [۸]. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد سیستم استاندارد فتوولتائیک کمترین هزینهٔ انرژی را در مقایسه با دو فناوری سیستم بادی و سیستم ترکیبی بادی- خورشیدی شبیه‌سازی‌شده با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ارائه شده است دارد.

زاهدی همکاران امکان‌سنجی فنی- اقتصادی طراحی نیروگاه خورشیدی ۱۰ مگاواتی شرکت کویر تایر در شهرستان بیرجند استان خراسان جنوبی با استفاده از نرم‌افزار RETScreen را مورد بررسی قرار داده‌اند [۹]. در انتها به این نتیجه رسیده‌اند که ریسک بازگشت سرمایه معادل ۷/۳ سال و زمان بازگشت سرمایه سرمایه‌گذار ۸/۴ سال و ریسک پروژه ۱۰ درصد است.

پارادونگان و همکاران به مطالعهٔ امکان‌سنجی فنی- اقتصادی نیروگاه فتوولتائیک خورشیدی با استفاده از RETScreen برای

دستیابی به انتقال انرژی اندونزی پرداخته‌اند [۱۰]. نتایج پژوهش یادشده نشان داد به دلیل صرفه‌جویی در هزینه‌های قابل توجه ناشی از دیزل‌زدایی، که به کاهش متوسط هزینه تولید برای نیسا منجر می‌شود این پروژه برای شرکت برق دولتی اندونزی بسیار سودآور است.

اسلام و همکاران به تحلیل امکان‌سنجی یک نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک ۱۰۰ مگاواتی در راجشاهی، بنگلادش با استفاده از نرم‌افزار RETScreen پرداخته‌اند [۱۱]. نتیجه این است که پروژهٔ پیشنهادی هم از نظر مالی و فنی امکان‌پذیر است و هم از نظر زیست‌محیطی مفید است و به دولت در تحقق هدف توسعهٔ انرژی پاک و پایدار کمک خواهد کرد.

یاهو و همکاران مدل‌سازی نیروگاه خورشیدی متمرکز برای مطالعات سیستم قدرت را انجام داده‌اند [۱۲]. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد مدل پیشنهادی می‌تواند به طور مؤثر رفتار دینامیکی نیروگاه خورشیدی متمرکز را با هزینهٔ محاسباتی کم شبیه‌سازی کند. عملکرد مدل پیشنهادی و طرح محاسبهٔ پارامتر به طور کامل با داده‌های میدانی و اطلاعات ساختاری از یک نیروگاه خطی انرژی خورشیدی متمرکز فرنل ۵۰ مگاواتی واقع در شمال غربی چین ارزیابی می‌شود. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد مدل پیشنهادی می‌تواند به طور مؤثر رفتار دینامیکی یک نیروگاه خورشیدی متمرکز با هزینهٔ محاسباتی کم را شبیه‌سازی کند.

در تحقیق حاضر، شامل جمع‌آوری داده‌های اولیه مانند موقعیت جغرافیایی و داده‌های اقلیمی، وارد کردن اطلاعات پروژه‌های نوع سیستم و مشخصات فنی، تحلیل انرژی برای محاسبهٔ تولید و تلفات انرژی، تحلیل اقتصادی برای درآمدها و درآمدها و ارزیابی شاخص‌های مالی، تحلیل زیست‌محیطی برای محاسبه کاهش انتشار. گازهای گلخانه‌ای و در نهایت تهیهٔ گزارش نهایی شامل جزئیات فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی است.

۲. روش‌شناسی

در این تحقیق ابتدا مکان‌یابی دقیق محل مورد مطالعه در نرم‌افزار RETScreen انتخاب می‌شود. سپس با توجه به تجهیزات انتخابی و ظرفیت، نیروگاه مورد نظر از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی مدل‌سازی می‌شود.

۲. ۱. مطالعهٔ موردی

منطقهٔ مورد مطالعهٔ شهرستان چابهار واقع در جنوب استان سیستان و بلوچستان ایران با مساحتی حدود ۹۷۳۹ کیلومتر مربع است که در شکل ۱ نشان داده شده است. این شهرستان از جنوب به دریای عمان، از شمال به شهرستان قصرقند، از غرب به شهرستان کنارک و از شرق به شهرستان دشتیاری محدود می‌شود.

شکل ۱. مطالعهٔ موردی

شکل ۲. موقعیت مکانی پروژه در نرم‌افزار RETScreen

شهرستان چابهار با توپولوژی مسطح و شیب کم، مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی است. دسترسی آسان به خطوط انتقال برق و شبکهٔ جاده‌ای مناسب، اتصال به شبکه را تسهیل می‌کند و هزینه‌های اتصال را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، ارتفاع کم از سطح دریا و تابش خورشیدی بالا، بهره‌وری خوبی را تضمین می‌کنند. مزایای اقتصادی مانند هزینه‌های زمین و نیروی کار محلی و همچنین، مزایای اجتماعی از جمله ایجاد اشتغال و توسعهٔ محلی نیز باید در نظر گرفته شوند. زمینی با موقعیت جغرافیایی مناسب (طول جغرافیایی ۶۰/۶۳ و عرض جغرافیایی ۲۵/۳۰) و ارتفاع کم از سطح دریا (بین ۰ تا ۵۰ متر) نکات کلیدی در احداث نیروگاه‌های خورشیدی در چابهار است. چابهار با تابش خورشیدی بیش از ۵/۵ کیلووات‌ساعت بر متر مربع در روز و دمای متوسط سالانه بین ۲۰ تا ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد شرایط اقلیمی ایده‌آلی دارد. زمین انتخابی باید دارای حداقل شیب و بدون سایه‌اندازی باشد و نزدیک به خطوط انتقال برق برای تسهیل در اتصال به شبکه و کاهش هزینه‌های انتقال باشد. همچنین دسترسی به جاده‌ها و امکانات ضروری برای حمل و نصب تجهیزات اهمیت دارد. دریافت مجوزهای لازم از سازمان‌های مربوطه مانند سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی ایران (ساتبا) و انجام ارزیابی‌های زیست‌محیطی برای کاهش اثرات منفی پروژه الزامی است. علاوه بر این، ملاحظات اقتصادی مانند هزینه‌های زمین و نیروی کار محلی و مزایای اجتماعی از جمله ایجاد اشتغال و توسعهٔ محلی نیز باید در نظر گرفته شوند.

Month	Air temperature	Relative humidity	Precipitation	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days 18 °C	Cooling degree-days 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	19.7	61.0%	21.39	3.72	101.6	2.6	21.4	0	301
February	20.5	66.0%	14.28	4.61	101.5	2.9	22.3	0	294
March	23.5	69.0%	9.30	5.50	101.2	3.1	24.9	0	419
April	26.7	70.0%	2.70	6.47	100.8	3.0	28.6	0	501
May	29.6	72.0%	0.62	7.28	100.4	2.7	32.4	0	608
June	31.5	75.0%	8.10	6.83	99.9	3.3	34.0	0	645
July	30.9	77.0%	2.48	6.47	99.7	3.8	33.4	0	648
August	29.7	77.0%	2.17	6.08	100.0	3.5	32.1	0	611
September	28.8	76.0%	0.60	5.86	100.5	2.8	31.0	0	564
October	27.5	73.0%	4.03	5.42	101.0	2.1	29.4	0	543
November	24.2	67.0%	7.20	4.31	101.5	2.1	26.3	0	426
December	21.2	61.0%	15.81	3.67	101.7	2.3	23.0	0	347
Annual	**26.2**	**70.4%**	**88.68**	**5.52**	**100.8**	**2.9**	**28.3**	**0**	**5,905**
Source	Ground	Ground	NASA	Ground	Ground	Ground	NASA	Ground	Ground
Measured at					m	10	0		

شکل ۳. مشخصات کلی موقعیت مکانی پروژه داخل نرم‌افزار RETScreen

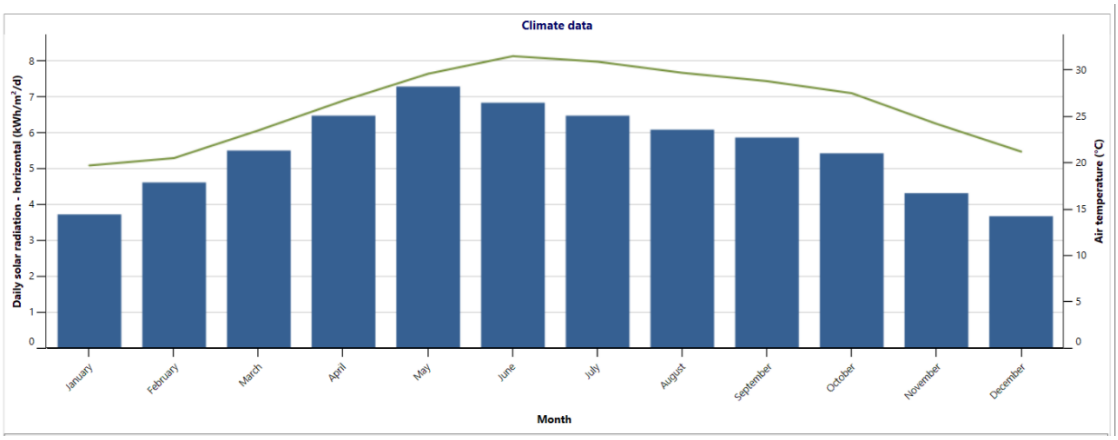
برای تمامی ایام سال به تفکیک ماه به طور میانگین میزان دمای هوا، درصد رطوبت، تابش عموری خورشید، فشار اتمسفر، سرعت باد، دمای زیر ۱۸ درجه و دمای روزهای سردتر از ۱۰ درجه در شکل ۳ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که میزان میانگین دما در تمامی ایام سال تفاوت ۱۱/۲ درجهٔ سانتی‌گراد دارد که بیانگر ثبات دمایی در ایام مختلف سال است.

	Unit	Climate data location	Facility location	Source
Latitude		25.3	25.3	
Longitude		60.6	60.6	
Climate zone		1B - Very hot - Dry		Ground+NASA
Elevation	m	6	33	Ground – Map
Heating design temperature	°C	15.3		NASA
Cooling design temperature	°C	35.8		NASA
Earth temperature amplitude	°C	13.9		NASA

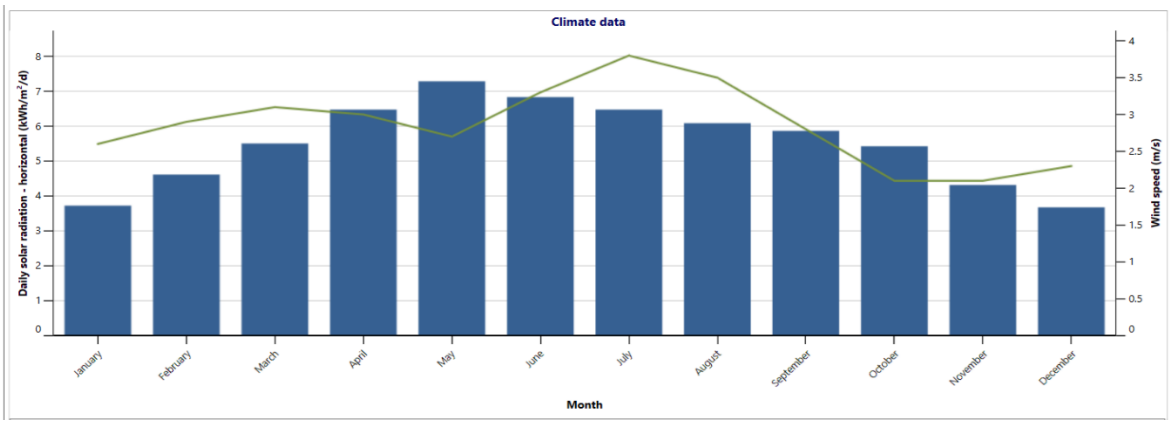
شکل ٤. اطلاعات آب‌وهوایی موقعیت پروژه بر اساس پایگاه داده‌های RETScreen

بیشترین دمای طراحی دمایی است که یک سیستم یا تجهیز برای عملکرد ایمن و مؤثر تحت شرایط مشخص‌شده طراحی شده است. این دما با توجه به ویژگی‌های مواد، فشار عملیاتی، شرایط محیطی، استانداردهای ایمنی و عمر مفید تجهیزات تعیین می‌شود. همچنین گرم‌ترین دمای طراحی، بیشینهٔ دمایی است که یک سیستم یا دستگاه می‌تواند به‌طور ایمن و مؤثر در آن کار کند. این دما برای اطمینان از عملکرد پایدار و جلوگیری از خرابی و خطرات احتمالی تجهیزات در شرایط دمایی بالا تعیین می‌شود و بستگی به ویژگی‌های مواد، شرایط عملیاتی، استانداردها و نوع تجهیزات دارد. موقعیت مکانی نیروگاه احداثی نیز در شکل ۴ توضیح داده شده است. مشاهده می‌شود میزان گرم‌ترین دمای طراحی ۱۵/۳ و بیشترین دما طراحی ۳۵/۸ است. این موضوع نمایانگر مرز طراحی و محدودیت‌های ارائه‌شده در احداث نیروگاه است.

شکل ۵ نمایانگر تابش خورشید و دمای هوا در ایام سال است. مشاهده می‌شود که بیشترین میزان تابش خورشید در سال نسبت مستقیم با دمای هوا در ایام سال را دارد. باید در نظر داشت که این میزان در ماه‌های می و جون بیشترین حد خود است، به طوری که در ماه می بیشترین دما ۲۸/۵ درجهٔ سانتی‌گراد و تابش خورشید معادل $^{kWh}/_{m^2d}$ ۸/۱ است.



شکل ۵. نمودار مربوط به دمای هوا و میزان شدت تابش در موقعیت پروژه



شکل ٦. نمودار سرعت باد و میزان شدت تابش در موقعیت پروژه

همچنین، در شکل ۶ مشاهده می‌شود که بیشترین میزان تابش خورشید در سال دارای تغییرات متفاوتی با سرعت باد دارد. باید در نظر داشت که میزان سرعت باد در ماه جولای بیشترین حد خود یعنی ۳/۸۵ متر بر ثانیه است. به طور کلی، میزان سرعت باد دارای تغییرات متفاوتی است، به طوری که در برخی ماه‌ها افزایش و در برخی ماه‌ها کاهش می‌یابد.

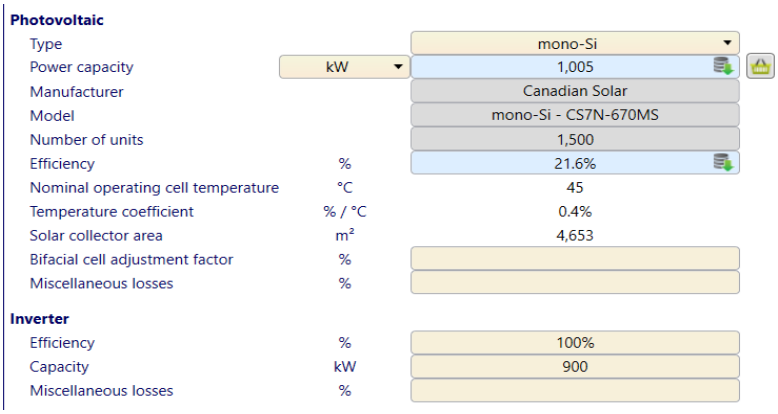
۲. ۱. ۱. تجهیزات مورد استفاده

در خصوص تجهیزات استفاده‌شده در مدل رت اسکرین، مدل پنل مورد استفاده از شرکت کانادین سولار بوده و ویژگی‌های آن در جدول ۱ آمده است.

یکی از تجهیزات مهم مورد استفاده در نیروگاه خورشیدی پنل‌های خورشیدی است که در این پروژه از پنل موجود در شکل ۷ استفاده شده است. قابلیت تولید توان تا حداکثر ۶۷۰ وات را دارد. در ادامه در شکل ۸ داده‌های ورودی به نرم‌افزار RETScreen مانند تعداد پنل‌های مورد نظر و مساحت مورد نظر برای نصب پنل‌ها به منظور مدل‌سازی یک نیروگاه ۱ مگاواتی نشان داده شده است.

جدول ۱. پنل مورد استفاده در پروژهٔ ساخت شرکت Canadian Solar مدل mono si cs7n-670ms

قدرت اسمی	W٦٧٠
نوع سلول	مونو کریستال
تعداد سلول‌ها	۱۳۲
کارایی ماژول	٪۲۱٫۵۷
تحمل قدرت	ارزش تحمل قدرت
دما Coef از P (حداکثر)	-0.34 %/°C
ولتاژ سیستم	1500 V



شکل ۷. داده‌های مربوط به تجهیزات مورد استفاده در نرم‌افزار RETScreen

۳. نتایج و تحلیل‌ها

به منظور بررسی دقیق و بخش‌بندی‌شده در سیستم ارائه‌شده تحلیل محیط زیستی و اقتصادی به طور مجزا مطرح شده است.

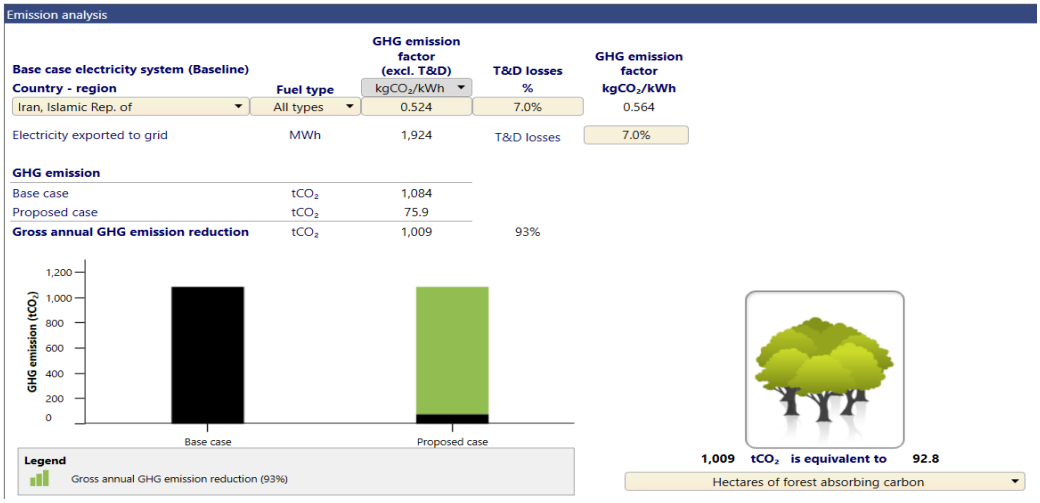
۳. ۱. تحلیل زیست‌محیطی

مطابق آمارهای آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۱۱، کشور ایران معادل با ۵۲۰ میلیون تن کربن دی‌اکسید تولید کرده که در این عملکرد جزء ۱۰ کشور اول دنیا قرار دارد. سرانهٔ تولید کربن دی‌اکسید به ازای هر نفر ۳ تن بوده و شدت انتشار کربن نیز معادل با کیلوگرم به ازای هر دلار تولید (به قیمت سال ۲۰۰۵) بوده که رقم بسیار قابل توجهی است [۷].

مطابق تحقیقات انجام‌شده، انتشار مستقیم و غیرمستقیم دی‌اکسید کربن ناشی از مصارف سوخت در نیروگاه‌های حرارتی به ازای هر کیلووات‌ساعت برق تولیدی حدود ۳۵۰ گرم است، یعنی ما به ازای هر کیلووات‌ساعت مصرف برق در منازل یا محل کار

خود باعث انتشار حداقل ۳۵۰ گرم گاز آلاینده دی‌اکسید کربن شده‌ایم. این در حالی است که پنل‌های فتوولتائیک به ازای هر کیلووات‌ساعت برق تولیدی انتشار گاز دی‌اکسید کربن نداشته و فقط صرف انتشار گاز CO به شکل غیرمستقیم (شامل مراحل تولید پنل‌های فتوولتائیک) به میزان حدود ۵۰ گرم به‌ازای هر کیلووات‌ساعت است. لذا ابتدا می‌توان چنین نتیجه گرفت که به‌ازای هر کیلووات بهره‌گیری از پنل‌های خورشیدی در منازل یا محیط کار خود، می‌توانیم حداقل حدود ۳۰۰ گرم در کاهش گازهای گلخانه‌ای نقش داشته باشیم. البته یادآوری می‌شود، در نیروگاه‌های حرارتی سایر گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق نیز تولید می‌شود که در این مقاله از ذکر آن‌ها صرف‌نظر کرده‌ایم [۸].

در شکل ۸ آنالیز میزان انتشار آلودگی توسط نیروگاه مورد نظر در نرم‌افزار RETScreen نشان داده شده است. طبق نتیجهٔ به‌دست‌آمده از این آنالیز، با استفاده از نیروگاه ۱ مگاواتی می‌توان سالانه به میزان ۱۰۰۹ تن از انتشار کربن‌دی‌اکسید کاسته شود.



شکل ۸. آنالیز مقدار دی‌اکسیدکربن تولیدشده توسط نیروگاه مورد مطالعه در نرم‌افزار RETScreen

۳. ۲. تحلیل اقتصادی

در این مطالعه فرض بر آن است که میزان برق تولیدی توسط این نیروگاه به مبلغ مناقصه‌ای ۰/۰۷۳ دلار بر حسب کیلووات ساعت فروخته می‌شود. قیمت مناقصه‌ای برق به قیمتی اطلاق می‌شود که در یک فرایند مناقصه برای خرید یا فروش برق تعیین می‌شود. هدف از این فرایند، تعیین عادلانه‌ترین و بهینه‌ترین قیمت ممکن برای برق است. میزان قیمت مناقصه‌ای برق تولیدی بر مبنای قیمت‌گذاری فروش صادرات برق در سال ۱۴۰۲ است. همچنین هزینهٔ برق تولیدی به ازای هر کیلووات معادل ۵۰۰ دلار در نظر گرفته شده است. در نتیجه احداث نیروگاه ۱ مگاواتی مورد نظر مبلغی حدود ۵۰۰ هزار دلار تخمین زده شده که در شکل ۹ قابل مشاهده است. البته باید توجه داشت به منظور محاسبهٔ NPV و تحلیل ریسک پروژه و همچنین، بازگشت سرمایه بدترین شرایط از نظر هزینه‌ای در نظر گرفته شده است. همچنین، باید در نظر داشت که نرخ خرید تضمینی برق تجدیدپذیر در ایران برای نیروگاه‌های با ظرفیت کمتر از ۱۰ مگاوات حدود ۴۹۰۰ تا ۸ هزار ریال به ازای هر کیلووات ساعت است. این قیمت توسط ساتبا تعیین شده و متناسب با موقعیت اقلیمی و مکانی متفاوت است. پارامتر نرخ تضمینی نیز با توجه به شرایط نیروگاه احداثی در سیستم لحاظ شده است.

یکی از پارامترهای اقتصادی بررسی‌شده در نرم‌افزار RETScreen جریان نقدینگی (Cash Flow) است که به معنای برآیند خروجی‌ها (هزینه‌ها و سرمایه‌گذاری) و ورودی‌ها (درآمدها) در زمان t (که در این مطالعه مربوط به هر سال است) است.

نرخ تنزیل یکی دیگر از اصطلاحات اقتصادی است که عبارت است از: نرخ سودی که یک سرمایه‌گذار می‌تواند در یک بازار مطمئن و بدون متحمل شدن هیچ‌گونه ریسکی و با استفاده از سرمایه خود کسب کند. سپرده‌گذاری در بانک یا خرید اوراق قرضه که سود ثابت سالانه و تضمین‌شده دارند، از جمله چنین بازارهایی هستند.

Summary		
Capacity factor	%	21.9%
Initial costs	$/kW	500
	$	502,500
O&M costs (savings)	$/kW-year	10
	$	10,050
Electricity export rate		Electricity export rate - annual
	$/kWh	0.073
Electricity exported to grid	MWh	1,924
Electricity export revenue	$	140,479

شکل ۹. داده‌های اولیه مربوط به هزینه‌های احداث نیروگاه مورد مطالعه

در محاسبات اقتصادی، نرخ تنزیل را معمولاً برابر با حداکثر نرخ سود بانکی موجود به علاوهٔ چند درصد (برای پوشش ریسک) در نظر می‌گیرند. در نقدی طی سال‌ها، اگر خالص جریان‌های مختلف عمر پروژه با نرخ تنزیل خاصی به ابتدای سال ساخت منتقل شود، عددی به دست می‌آید که به آن خالص ارزش فعلی پروژه (NPV) گفته می‌شود. این شاخص در نرم‌افزار RETScreen به دست می‌آید و رابطهٔ آن به صورت زیر است:

$$NPV = \sum_{t=0}^{T} \frac{Rt}{(1+i)^{t+1}} \qquad (۱)$$

اگر NPV بزرگ‌تر از ۰ باشد، به آن معناست که پروژه از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است و اگر کوچک‌تر از ۰ باشد، به معنای عدم توجیه اقتصادی پروژه است.

یکی دیگر از شاخص‌های مورد بررسی در نرم‌افزار RETScreen نرخ بازده داخلی (IRR) است که معادل سودی است که سرمایه‌گذار می‌تواند با سرمایه‌گذاری در یک طرح به دست آورد. این شاخص، نرخ تنزیلی است که به‌ازای آن، شاخص NPV طرح معادل صفر می‌گردد. اگر نرخ تنزیل ≥IRR باشد، به معنای توجیه‌پذیری اقتصادی پروژه است.

از دیگر پارامترهای مورد بررسی در نرم‌افزار RETScreen که بر تحلیل اقتصادی تأثیر می‌گذارد، ضریب تعدیل است. این پارامتر مربوط به میزان رشد قیمت خرید برق است که با تورم افزایش می‌یابد. این عدد به‌صورت میانگین و تجربی از ۲۰ سال گذشته برای ۲۰ سال آینده ۱۰ درصد در نظر گرفته شده، که در برخی موارد بسته به پایدار یا ناپایدار بودن اقتصاد ممکن است بین ۵ تا ۱۴ درصد باشد. در شکل ۱۰، تمامی شاخص‌های گفته‌شده در نرم‌افزار RETScreen قابل مشاهده است.

Financial parameters

General		
Fuel cost escalation rate		2%
Inflation rate	%	17%
Discount rate	%	17%
Reinvestment rate	%	0%
Project life	yr	20
Finance		
Incentives and grants	$	0
Debt ratio	%	0%
Income tax analysis		☐

Annual revenue

Electricity export revenue		
Electricity exported to grid	kWh	1,924,368
Electricity export rate	$/kWh	0.07
Electricity export revenue	$	140,479
Electricity export escalation rate	%	10%
GHG reduction revenue		
Gross GHG reduction	tCO_2/yr	1,009
Gross GHG reduction - 20 yrs	tCO_2	20,171
GHG reduction revenue	$	0
Other revenue (cost)		☐
Clean Energy (CE) production revenue		☐

Costs | Savings | Revenue

Initial costs			
Initial cost	100%	$	502,500
Total initial costs	**100%**	$	**502,500**
Yearly cash flows - Year 1			
Annual costs and debt payments			
O&M costs (savings)		$	10,050
Debt payments		$	0
Total annual costs		**$**	**10,050**
Annual savings and revenue			
Electricity export revenue		$	140,479
GHG reduction revenue		$	0
Other revenue (cost)		$	0
CE production revenue		$	0
Total annual savings and revenue		**$**	**140,479**
Net yearly cash flow - Year 1		**$**	**130,429**

Financial viability

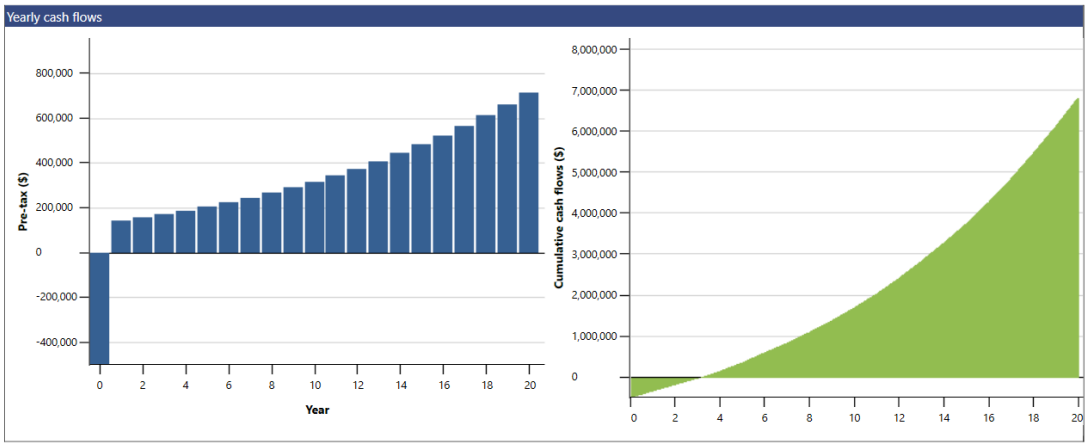
Pre-tax IRR - equity	%	37.4%
Pre-tax MIRR - equity	%	14.3%
Pre-tax IRR - assets	%	37.4%
Pre-tax MIRR - assets	%	14.3%
Simple payback	yr	3.9
Equity payback	yr	3.2
Net Present Value (NPV)	$	861,275
Annual life cycle savings	$/yr	153,040
Benefit-Cost (B-C) ratio		2.7

Yearly cash flows

Year	Pre-tax	Cumulative
#	$	$
0	-502,500	-502,500
1	142,768	-359,732
2	156,222	-203,510
3	170,881	-32,629
4	186,843	154,214
5	204,208	358,422
6	223,087	581,509
7	243,591	825,100
8	265,839	1,090,939
9	289,952	1,380,891
10	316,057	1,696,949
11	344,281	2,041,230
12	374,753	2,415,983
13	407,599	2,823,583
14	442,943	3,266,526
15	480,901	3,747,427
16	521,577	4,269,004
17	565,060	4,834,064
18	611,417	5,445,482
19	660,685	6,106,166
20	712,860	6,819,026

شکل ۱۰. آنالیز مالی میزان درآمد سالیانه طی مدت ۲۰ سال –زمان بازگشت سرمایه و محاسبات مرتبط با اقتصاد مهندسی

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشخص است، مقدار NPV پروژه بزرگ‌تر از صفر است و مقدار IRR پروژه ۳۷/۴ درصد بیشتر از نرخ تنزیل ۱۷ درصد است، لذا می‌توان نتیجه گرفت که این پروژه از نظر اقتصادی به‌صرفه است.



شکل ۱۱. نمودار بازگشت سرمایه و درآمد پروژه و مشخص شدن نقطهٔ سربه‌سر

همان‌طور که از شکل ۱۱ مشخص است، بازگشت سرمایه این پروژه تقریباً از سال سوم رخ می‌دهد. سال اول میزان هزینهٔ انجام‌شده معادل ۴۲۰ـ ۴۳۰ هزار دلار است که این میزان در انتهای سال سوم بازگشت خواهد داشت. همچنین، رشد غیر خطی و صعودی نرخ افزایش بازگشت سرمایه سبب می‌شود توجیه اجرای پروژه بسیار بالا باشد. مشاهده می‌شود که نرخ سود در سال بیست به میزان تقریبی ۶۵۰ هزار دلار خواهد رسید.

۴. نتیجه‌گیری

با توسعهٔ اقتصادی و رشد جمعیت کشور، تقاضا برای استفادهٔ گسترده از سوخت‌های فسیلی به‌شدت در حال افزایش است. توجه به استفاده از انرژی‌های نو از جمله انرژی خورشیدی برای تأمین بخشی از برق و حرارت مورد نیاز شهرها و روستاها برای دستیابی به اهداف توسعهٔ پایدار و تنوع‌بخشی به سبد انرژی ایران و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به پتانسیل بالای ایران در زمینهٔ انرژی خورشیدی و نیاز آیندهٔ کشور به انرژی‌های تجدیدپذیر، مکان‌یابی و شناسایی مکان‌های مناسب برای استفاده از انرژی خورشیدی ضروری است. با توجه به مطالعات گذشته و اطلاعات موجود منطقهٔ مکران ایران و به‌خصوص شهر چابهار از پتانسیل بسیار بالایی در این زمینه بهره می‌برد، لذا تحلیل زیست‌محیطی و اقتصادی یک نیروگاه ۱ مگاواتی در این منطقه با استفاده از نرم‌افزار RETScreen صورت پذیرفت. نتایج نشان داد ساخت این پروژه علاوه بر کمک به محیط زیست در صورت خرید برق تضمینی با قیمت ۰/۰۷۳ دلار از صرفهٔ اقتصادی مناسب و توجیه‌پذیری برخوردار است. امید است در آینده با بهره‌گیری از نیروهای متخصص و همت مسئولان در این زمینه شاهد احداث نیروگاه‌های خورشیدی بیشتر جهت کمک به بخش انرژی و چرخهٔ اقتصاد کشور باشیم.

نتایج نشان می‌دهد بازده سرمایه‌گذاری این پروژه بلافاصله در سال سوم شروع می‌شود. مخارج سال اول بین ۴۲۰ـ ۴۳۰ هزار دلار است که این پول در پایان سال سوم باز می‌گردد. این پروژه با توجه به رشد غیرخطی و فزاینده نرخ بازگشت سرمایه به‌خوبی توجیه می‌شود. بدیهی است که پس از ۲۰ سال، نرخ بهره تقریباً به ۶۵۰ هزار دلار خواهد رسید. نرخ بهره‌ای که سرمایه‌گذار می‌تواند در یک بازار امن بدون ریسک کردن یا استفاده از سرمایه خود به دست آورد، نرخ تنزیل نامیده می‌شود که اصطلاح دیگری از حوزه اقتصاد است. بدیهی است که این پروژه ارزش NPV بیشتر از صفر دارد و ارزش IRR آن ۴/۳۷ درصد بیشتر از نرخ تنزیل ۱۷ درصد است که به‌صرفه بودن پروژه را نشان می‌دهد.

منابع

[1].M. Khazaee, R. Zahedi, R. Faryadras, and A. Ahmadi, "Assessment of renewable energy production capacity of Asian countries: a review," *New Energy Exploitation and Application*, vol. 1, no. 2, pp. 25–41, 2022.

[2].R. Zahedi, E. Sadeghitabar, and A. Ahmadi, "Solar energy potential assessment for electricity generation in the southeastern coast of Iran," *Future Energy*, vol. 2, no. 1, pp. 15–22, 2023.

[3].R. Zahedi, M. hasan Ghodusinejad, A. Aslani, and C. Hachem-Vermette, "Modelling community-scale renewable energy and electric vehicle management for cold-climate regions using machine learning," *Energy Strategy Reviews*, vol. 43, p. 100930, 2022.

[4].Y. Noorollahi, A. Khatibi, and S. Eslami, "Replacing natural gas with solar and wind energy to supply the thermal demand of buildings in Iran: A simulation approach," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 44, p. 101047, 2021.

[5].A. Gholami, A. A. Alemrajabi, and A. Saboonchi, "Experimental study of self-cleaning property of titanium dioxide and nanospray coatings in solar applications," *Solar Energy*, vol. 157, pp. 559–565, 2017.

[6].A. Mehmood, F. A. Shaikh, and A. Waqas, "Modeling of the solar photovoltaic systems to fulfill the energy demand of the domestic sector of Pakistan using RETSCREEN software," in *2014 international conference and utility exhibition on green energy for sustainable development (ICUE)*, IEEE, 2014, pp. 1–7.

[7].N. Umar, B. Bora, C. Banerjee, and B. S. Panwar, "Comparison of different PV power simulation softwares: case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant," *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, vol. 7, no. 7, pp. 11–24, 2018.

[8].M. S. Ramli, S. S. A. Wahid, and K. K. Hassan, "A comparison of renewable energy technologies using two simulation softwares: HOMER and RETScreen," in *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing, 2017.

[9].R. Zahedi, S. Gitifar, and A. Ahmadi, "Technical-economic feasibility of designing a 10 MW solar power plant of KavirTire Company in Birjand city of South Khorasan province using RET Screen software," *Journal of Renewable and New Energy*, vol. 10, no. 2, pp. 134–148, 2023.

[10]. H. T. Paradongan *et al.*, "Techno-economic feasibility study of solar photovoltaic power plant using RETScreen to achieve Indonesia energy transition," *Heliyon*, vol. 10, no. 7, 2024.

[11]. F. Islam, N. Moni, and S. Akhter, "Feasibility Analysis of a 100MW Photovoltaic Solar Power Plant at Rajshahi, Bangladesh Using RETScreen Software," *Int. J. Eng. Manuf*, vol. 13, pp. 1–10, 2023.

[12]. L. Yao, Y. Wang, and X. Xiao, "Concentrated solar power plant modeling for power system studies," *IEEE Transactions on Power Systems*, 2023.