Journal of Geography and Planning
Online ISSN: 2717-3534 Print ISSN: 2008-8078
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

Conducted with the Aim of Technical, Economic and Environmental Feasibility of a Small-Scale Solar Power Plant in the Northwestern Region of Iran.

Ali Mahmoudzadeh [1], Leily Hojaghani [2]✉, Alireza Rostamzadeh Khosroshahi [3]

1. Msc student, Department of Mechanical Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran n. E-mail: alimahmoodzade335@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor Assistan, Department of Industrial Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. E-mail: lhojagani@iaut.ac.ir
3. Professor Assistan, Department of Mechanical Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. E-mail: arostamzadeh@iaut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 11 August 2023
Revised: 30 June 2024
Accepted: 15 July 2024
Published: 22 August 2025

Keywords:
solar power plant,
solar electricity,
feasibility study,
northwestern Iran,
Tabriz.

ABSTRACT

Solar power plant is one of the developing technologies in the field of electric energy production with reduction of environmental pollution. Considering that Iran has a good potential in the field of solar energy, it seems necessary to use this God-given and unlimited resource. The current research was carried out with the aim of technical, economic and environmental feasibility of a large-scale solar power plant in the northwestern region of Iran. The area studied in the current research is East Azarbaijan province and the surrounding cities of this province in neighboring provinces. The research is applied in terms of purpose and descriptive, non-experimental, and quantitative in terms of data type. In this research, the study area was first studied using the library method, and then the amount of energy production and the energy conversion factor of the power plant were calculated using the analytical method, and then the economic and environmental aspects of the project were investigated. In this research, using the RETScreen software, the amount of solar energy received, the capacity factor of the power plant, the estimation of the initial and periodic costs, the calculation of the amount of greenhouse gas reduction and the financial evaluation have been done, which shows that the city of Tabriz compared to 9 other cities have a higher energy conversion factor and this city is chosen to build a photovoltaic power plant. The noteworthy point is that, in a 2 MW power plant, the income from the first 3 years alone can return the initial investment cost of the power plant, and this return on investment for a 100 MW power plant is 3.7 years. The firstyear income for 2 and 100 MW power plants is calculated as 275625 dollars and 12330576 dollars, respectively, which shows that this plan has an economic justification and in addition to this, the construction of a solar power plant as a source of clean energy can lead to no CO2 emissions and reduce water consumption for to produce energy and it is optimal and justifiable from the environmental point of view.

Cite this article: Mahmoudzadeh, A., Hojaghani, L., & Rostamzadeh Khosroshahi , A. (2025). conducted with the aim of technical, economic and environmental feasibility of a small-scale solar power plant in the northwestern region of Iran.. *Journal of Geography and Planning*, 30 (92), 315-333. https://doi.org/ 10.22034/gp.2024.57687.3178

© The Author(s).
Publisher: University of Tabriz.
DOI: https://doi.org/10.22034/gp.2024.57687.3178

Introduction

Today, the generation of electricity using solar energy is one of the hottest topics studied by countries and several studies have been conducted at the global level in the field of the feasibility of installing solar power plants, but the important point is that, mainly, the possibility of generalizing the obtained results It is not available in one region for other regions due to different radiation angle, weather conditions, facilities and equipment of electricity distribution network in different regions of the country, population and many other things. Our country, Iran, is one of the strategic regions for the production of electric energy using solar farms and power plants due to its favorable geographical location and effective environmental parameters. Many photovoltaic power plants have been put into operation in Iran, including in the cities of Mashhad, Taibai Khorasan Razavi, Kermanshah, Kashan, Yazd, Zanjan, Ardabil, Abhru... Unfortunately, only 2 photovoltaic power plants have been put into operation in the northwest region, in Zanjan and Ardabil provinces. Due to the fact that East Azarbaijan province is the industrial and mining hub of the country, and despite the presence of numerous factories and a relatively large population, the amount of electricity consumption in this province is significant, and in recent years, power cuts and voltage drops in the electricity supply network , has created many problems for industry and people.

Data and methods

In this research, in order to choose the optimal location for the implementation of the project, 10 regions were selected in the north-west of Iran, and using RETSCreen software (2016), detailed information on air temperature, relative humidity, rainfall, solar radiation, and wind speed was obtained. and the temperature of the earth from January 1, 2018 to August 4, 2022 on a daily basis and then the average of these values as well as the energy conversion factor (CF) of each region in these regions has been calculated and according to the analysis steps in the RETScreen software (Hakmat and Kalanter, 2013), In the beginning, the location is defined for the software and the weather characteristics of Tabriz city and 9 other cities (Maragheh, Mianeh, Khoi, Urmia, Mahabad, Ahar, Ardabil and Pars-abad) as the output of the software. received The results show that Tabriz city has a higher energy conversion coefficient than other 9 cities and also according to the analysis done in RETScreen software, Tabriz city is chosen to build a photovoltaic power plant. According to the daily information related to relative humidity and daily solar radiation of 2021 related to the city of Tabriz, the relative humidity changes slightly between 0.1419 and 0.9188, but the changes in solar radiation are between 0.64 and 88.88, and the highest amount of solar radiation is related to the months It is June and July and it is expected that we will have the highest amount of electricity production in these months.

Economic and environmental analysis of the construction of a 2 megawatt solar power plant in Tabriz city

In most of the conducted studies, the life cycle cost analysis method has been used to calculate the cost of electric energy production with various available methods, especially the photovoltaic system, and this research is also analyzed with this method. According to the results, the current value of the investment is 5418560 dollars and the return period is 3 years. According to these results, it can be said that this project is economically justifiable and can be implemented, and the advantage of the project is that the investment return period will take place in the first 3 years of operation, and during the guaranteed purchase of electricity, the cost covers the project and this issue makes the project more attractive and attracts investors towards the construction of a solar power plant in Tabriz city. In the continuation of the research, in order to investigate the construction of a large-scale power plant, calculations have been made for a 100 MW power plant and the economic feasibility of this plan has been confirmed.

In terms of environmental and social issues; The amount of employment, saving water and not releasing carbon dioxide have been investigated and the results indicate that the more we move towards renewable power plants in addition to reducing environmental issues and problems, per megawatt An installation can create employment for 11 people, and in this plan, according to the power plant capacity considered, for 2 megawatts of installed capacity, 22 people can be employed in Tabriz city.

Discussion and conclusion

In this research, the technical, economic and environmental feasibility of a small-scale solar power plant in the northwest region of Iran was discussed. Using the Rat Screen software, detailed information on air temperature,

relative humidity, rainfall, solar radiation, wind speed and ground temperature from January 1, 2018 to August 4, 2022 on a daily basis for the cities of Mianeh, Maragheh, Khoi, Marand, Tabriz, Urmia, Mahabad, Ahar, Ardabil and Parsabad were obtained and after calculating the average of these values as well as the energy conversion coefficient (CF) of each region, it was determined that Tabriz city has a higher energy conversion coefficient than other 9 cities and Tabriz city is suitable for building Photovoltaic power plant is selected. In the following, the economic feasibility of the project was discussed, for this purpose, the construction of 2 MW and 100 MW solar power plants was simulated in the weather conditions of Tabriz city in RETScreen software, and the first year income of the 2 MW power plant was 275,625 dollars and the income of the power plant 100 megawatts in the first year is calculated at 12,330,576 dollars and the results indicate that the more we move toward renewable power plants in addition to reducing environmental issues and problems, the more we can employ 11 people for each installed megawatt. . In the calculations, the investment return period of 2 MW power plant is 3 years and 3.7 years for 100 MW power plant. According to these results, it can be said that this project is economically justifiable and it is possible to implement it.

جغرافیا و برنامه ریزی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۸۰۷۸ شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۳۵۳۴
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه خورشیدی مقیاس بزرگ در استان آذربایجان‌شرقی

علی محمودزاده [۱] ، لیلی هوجقانی [۲]✉، علیرضا رستمزاده خسروشاهی [۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی گرایش انرژی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. رایانامه: alimahmoodzade335@gmail.com

۲. نویسنده مسئول،استادیار ، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: lhojagani@iaut.ac.ir

۳. استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد تبریز، تبریز ، ایران. رایانامه: arostamzadeh@iaut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۳۱

کلیدواژه‌ها:
نیروگاه خورشیدی،
برق خورشیدی، امکان سنجی،
شمالغرب ایران،
تحلیل اقتصادی.

چکیده

نیروگاه خورشیدی یکی از فناوری‌های در حال توسعه در زمینه تولید انرژی الکتریکی با کاهش آلودگی زیست محیطی است. باتوجه به اینکه ایران از پتانسیل خوبی در زمینه انرژی خورشیدی برخوردار است، استفاده از این منبع خدادادی و نامحدود ضروری بنظر می‌رسد. پژوهش حاضر با هدف امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه خورشیدی مقیاس بزرگ در منطقه شمالغرب ایران انجام شده است. منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر استان آذربایجان‌شرقی و شهرهای اطراف این استان در استانهای همجوار می‌باشد. تحقیق از نظر هدف کاربردی و از نوع توصیفی، غیرآزمایشی می‌باشد و از منظر نوع داده، کمی می‌باشد. در این پژوهش ابتدا به روش کتابخانه‌ای به مطالعه منطقه مورد مطالعه پرداخته است و سپس به روش تحلیلی به محاسبه میزان تولید انرژی و ضریب تبدیل انرژی نیروگاه پرداخته شده و در ادامه، جنبه اقتصادی و زیست محیطی طرح مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار RETScreen به محاسبه میزان انرژی خورشیدی دریافتی، ضریب ظرفیت نیروگاه، برآورد هزینه های اولیه و دوره‌ای، محاسبه میزان کاهش گازهای گلخانه ای و ارزیابی مالی پرداخته شده است که نشان می‌دهد شهر تبریز نسبت به ۹ شهر دیگر ضریب تبدیل انرژی بالاتری دارد واین شهر برای احداث نیروگاه فتوولتائیک انتخاب می‌گردد. نکته قابل توجه اینست که، در نیروگاه ۲ مگاواتی، درآمد حاصل از۳ سال اول، به تنهایی می‌تواند هزینه سرمایه گذاری اولیه نیروگاه رابازگرداند و این بازگشت سرمایه برای نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی ۳/۷ سال می‌باشد. درآمد سال اول برای نیروگاههای ۲ و ۱۰۰ مگاواتی بترتیب ۲۷۵۶۲۵دلارو ۱۲۳۳۰۵۷۶دلار محاسبه شده است که نشان میدهد این طرح توجیه اقتصادی دارد و علاوه بر این موضوع، احداث نیروگاه خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی پاک می‌تواند منجر به عدم انتشار CO_2 و کاهش مصرف آب جهت تولید انرژی شود و از نظر زیست محیطی بهینه و توجیه پذیر است.

استناد: محمودزاده ،علی ؛ هوجقانی ، لیلی ؛ و رستمزاده خسروشاهی ، علیرضا (۱۴۰۴). امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه خورشیدی مقیاس بزرگ در استان آذربایجان‌شرقی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۳۰ (۹۲)، ۳۳-۳۱۵.

http//doi.org/10.22034/gp.2024.57687.3178

ناشر: دانشگاه تبریز.

© نویسندگان.

مقدمه

انرژی خورشیدی عظیم ترین منبع انرژی در جهان است. این انرژی پاک، ارزان و بی پایان بوده و در بیشتر مناطق کره زمین قابل استحصال می‌باشد. محدودیت منابع فسیلی و پیامدهای حاصل از تغییرات زیست محیطی و آب و هوای جهانی، فرصت‌های مناسبی را برای رقابت انرژی خورشیدی با انرژی‌های فسیلی خصوصا در کشورهایی با پتانسیل بالای تابش ایجاد نموده است. سیستم‌های انرژی خورشیدی، فن‌آوری‌های جدیدی هستند که برای تامین گرما، آب گرم، الکتریسیته و حتی سرمایش منازل مسکونی، مراکز تجاری و صنعتی بکار می‌روند. از مناطق مستعد ساخت نیروگاه خورشیدی می‌توان به جنوب غربی ایالات متحده آمریکا، کشورهای مدیترانه‌ای اروپا، خاورمیانه و خاور نزدیک، ایران و صحراهای هند، پاکستان، چین و استرالیا اشاره نمود(وانگ، ۲۰۲۳).اساس کار نیروگاه‌های خورشیدی به این صورت است که نور به پانل‌های خورشیدی می‌تابد و در اثر آن انرژی فوتون به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. جریان برق تولید شده توسط پانل‌های خورشیدی، مستقیم (DC) است که برای استفاده وسائل برقی معمول در منازل و نیاز روزمره بایستی مشابه برق شهر به جریان متناوب (AC) تبدیل شود. این کار توسط دستگاهی بنام اینورتر انجام می‌گیرد. نیروگاه‌های خورشیدی نیزمانند سایر نیروگاه‌های دیگر امکان اتصال به شبکه (On-Grid) و یا منفصل از شبکه (Off-Grid) را دارند(زیس‌بوراکز[1]، ۲۰۲۳).

بزرگترین نیروگاه فتوولتائیک فعلی، در جهان پارک خورشیدی پاواگادا، در کارناتاکای هند با ظرفیت تولید ۲۰۵۰ مگاوات است. آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۱۴ پیش‌بینی کرد که تحت سناریوی «تجدیدپذیر زیاد»، تا سال ۲۰۵۰، فتوولتائیک خورشیدی و انرژی خورشیدی متمرکز به ترتیب حدود ۱۶ و ۱۱ درصد از مصرف برق در سراسر جهان را تأمین کنند و خورشید بزرگترین منبع برق جهان باشد و همچنین، نصب بیشتر تأسیسات خورشیدی در چین و هند انجام خواهد گرفت. در سال ۲۰۱۹، انرژی خورشیدی ۲.۷٪ از برق جهان را تولید کرده است که بیش از ۲۴٪ نسبت به سال۲۰۱۸ رشد داشته‌است (هو، ۲۰۲۳).

طبق مطالعات جینگ هو(۲۰۲۳)، دوره بازگشت سرمایه نصب سیستم خورشیدی را، با توجه به هزینه بالای اولیه، می‌توان یکی از پارامترهای کلیدی در به کارگیری سیستم های فتوولتائیک در کشور دانست که با انتخاب نوع پنل، باتری مناسب و سیاستهای حمایتی دولتی و جهانی می توان آن را کاهش داد. لازم به ذکر است که از معیارهای مهم توسعه و ساخت پنل‌های خورشیدی، به حداکثر رساندن راندمان تبدیل نورخورشید به الکتریسیته می‌باشد. در سلولهای خورشیدی سازوکارهای مختلف افت انرژی وجود دارد که بعضی از آنها اجتناب ناپذیر بوده ولی برخی دیگر را می‌توان کنترل کرد و به حداقل رسانید یا به کلی حذف کرد. با توجه به این نکته، راندمان ایده آل یک سلول در حدود ۳۰ درصد است که راندمان سلول‌های خورشیدی تجاری تحت تابش مستقیم خورشید، در حدود ۱۲ الی ۲۲ درصد می‌باشد، ولی در سطح آزمایشگاهی، محققان به راندمان‌های بالاتری نیز دست یافته اند، برای نمونه راندمان آزمایشگاهی سلول‌های خورشیدی تک بلوری تا ۴۰ درصد نیز گزارش شده است.

امروزه به کارگیری سیستم های فتوولتائیک در کشورهای پیشرفته بسیار متداول است. برای نمونه یک سیستم فتوولتائیک خانگی در شهر لس آنجلس با ظرفیت توان ۲ کیلووات، ۳۶۰۰ کیلووات ساعت انرژی در سال تولید می‌کند. این میزان تولید انرژی باعث ۳/۴ تن صرفه‌جویی در مصرف سوخت زغال سنگ (مصرف شده برای تولید برق) و مانع ورود ۵۰۰۰ پوند کربن‌منوکسید به جو می‌گردد. شرکتهای متعددی در کشورهای مختلف نسبت به نصب این سیستم ها اقدام کرده‌اند و کار بهینه سازی این سیستم‌ها، همچنان ادامه دارد. برای مثال، تحقیق در زمینه کاربرد عملی سیستم برق با استفاده از پنل‌های فتوولتائیک به صورت متصل به شبکه برق اکیناوای ژاپن، همچنان ادامه دارد. این تحقیقات شامل بررسی ویژگی‌های عملکرد سیستم وتأثیر باتری‌ها برشبکه و همین‌طور افزایش راندمان و تداوم برق رسانی شبکه می‌شود. شرکت آب و برق لس آنجلس۲ برنامه‌ای را برای نصب سیستم‌های برق خورشیدی روی سقف ساختمان‌های این شهر اجراکرد که به موجب این طرح، تا سال ۲۰۱۰ صدهزار سیستم فتوولتائیک روی سقف ساختمان‌های مسکونی و تجاری نصب شده است. این سیستم‌ها به صورت تزریق برق

[1] Zsiborács
[2] LADWP

تولیدی به شبکه برق سراسری کار می کنند. طبق این برنامه، هر ساختمانی برق خود را تأمین کرده و در صورتی که میزان تولید برق ساختمانی کمتر از نیاز مصرف آن باشد، در ساعات شب، کمبود برق از شبکه سراسری جبران می‌شود و بر عکس اگر ساختمانی بیش از مصرف خود برق تولید کند، این انرژی اضافی به شبکه برق تزریق خواهد شد. قابل توجه است که شرکت TVAدر ایالت تنسی آمریکا نیز، اقدام به استفاده از انرژی خورشیدی با عنوان انرژی سبز کرده است. این شرکت برای نمایش تولید برق خورشیدی و به منظور تشویق مشترکین خود به استفاده از آن، دو سایت انرژی خورشیدی، یکی در موزه علوم کامبرلند و دیگری در گردشگاهی توریستی در دالیورد، دایر کرده است. همچنین در سال ۲۰۰۹ دانشگاه ایالتی آریزونای آمریکا در محوطه غربی دانشگاه یک نیروگاه خورشیدی ۳/۳ مگاواتی احداث کرد (هو، ۲۰۲۳).

سیستم‌های خورشیدی تا پنج سال قبل به دلیل هزینه‌های نصب و راه اندازی بالا، و ناکارآمدی در زمینه تبدیل انرژی خورشیدی به برق، واقعاً از نظر تجاری مقرون به صرفه نبودند. اما در حال حاضر همه چیز با کاهش قیمت این سیستم‌ها و افزایش کارآمدی آنها در زمینه تولید برق تغییر کرده است. این پیشرفت‌ها همچنان ادامه پیدا می کند؛ زیرا فناوری های نویدبخش و جدید به دست آمده از طریق آزمایشگاه‌ها، راه خانه شما را پیدا خواهند کرد. از این رو سیستم‌های خورشیدی خانگی روز به روز مقرون به صرفه‌تر و مناسب‌تر خواهند شد. از مزایای انرژی خورشیدی می‌توان به کاهش هزینه قبوض برق، مصون ماندن از افزایش هزینه برق در آینده، کاهش فشار بر روی شبکه برق، تجدید پذیر بودن، طول عمر بالا، توانایی تولید برق در هر شرایط آب وهوایی، سازگاری با محیطزیست، دوره بازگشت سرمایه، هزینه پایین نگهداری، فروش مجدد برق و افزایش درآمد با فروش انرژی مازاد خورشیدی به شبکه برق اشاره کرد(جینگ هو، ۲۰۲۳).

با وجود اینکه معتقدیم انرژی خورشیدی می تواند جهان را متحول کند؛ اما باید توجه داشته باشید که انرژی خورشیدی کامل و بی نقص نیست. وانگ (۲۰۲۳) در تحقیق خود، معایب انرژی خورشیدی را در دسترس نبودن برای همگان، محدودیت‌های آب وهوایی و مکانی و زمانی، هزینه اولیه بالا و هزینه بربودن نصب و راه اندازی پنل‌های خورشیدی، هزینه باتری و گران تمام شدن ذخیره انرژی خورشیدی، قابل حمل نبودن و دشوار بودن نقل و انتقال پنل‌های خورشیدی پس از نصب، انتشار گاز دی اکسید کربن ناشی از تولید و حمل و نقل و دفع مواد سمی و ساخت برخی از پنل‌های خورشیدی با فلزات کمیاب زمین بیان کرده است.

امروزه تأمین انرژی از اساسی‌ترین پیش نیازهای توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها به شمار می‌رود. از طرفی تغییرات جمعیت و نرخ رشد شهرنشینی، علاوه برضعف در کارآیی جریان تولید، انتقال، توزیع و مصرف، موجب افزایش تقاضای انرژی و مصرف سریع منابع انرژی شده است (لی وهمکاران،۲۰۰۶). طبق تحقیق هیرمات و همکارانش(۲۰۰۷)، کمبود منابع انرژی تجدیدناپذیر و افزایش آلودگی‌های حاصل از مصرف این منابع، یکی از بحران‌های انرژی و محیطزیست در هزاره سوم رقم خورده است و همچنین، افزایش قابل توجه قیمت فرآورده‌های نفتی بعد از شوک نفتی سال۱۹۵۳، توجه صاحب نظران وکارشناسان اقتصاد انرژی را به سمت یکی از مهمترین و گسترده‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر، یعنی انرژی خورشیدی جلب نموده است. شایان ذکراست یکی ازجذاب‌ترین ویژگیهای‌انرژی خورشید ازنقطه نظر اقتصادی، توانایی آن در کاهش هزینه‌های کلی تولید انرژی می‌باشد(مهدوی‌و همکاران،۱۳۹۳).

بنابراین می‌توان گفت، شتاب تغییرات فناوری در دهه اخیر، سرمایه‌گذاری بر روی فناوری‌های دارای مزیت رقابتی را امری ضروری و حیاتی نموده است. سازمان‌ها و دولت‌ها بایستی با هوشمندی نسبت به تغییرات و تحولات محیطی پاسخ دهند و مزیت‌های رقابتی مبتنی بر فناوری روز را برای خود ایجاد نمایند. راهبردهای انتخاب، جذب، به کارگیری، نگهداری و رهاسازی فناوری، در دستیابی به این هدف نقش مهمی دارد. گزینش مناسب با شرایط و توجه به عوامل متعدد تهدیدکننده محیطی و ضرورت سازگاری با نظام توسعه یافته جهانی، سبب گردیده است تا لزوم بررسی و مکانیابی درست در استفاده از فناوری‌ها مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد.

امروزه تولید جریان الکتریسیته با استفاده از انرژی خورشیدی یکی از داغترین موضوعات مورد مطالعه کشورهاست و مطالعات متعددی در سطح جهانی در زمینه امکان‌سنجی نصب نیروگاه‌های خورشیدی انجام شده است ولی، نکته حائز اهمیت این است

که عمدتا، امکان تعمیم نتایج بدست آمده در یک منطقه برای مناطق دیگر به دلیل متفاوت بودن زاویه تابش، شرایط آب و هوایی، امکانات و تجهیزات شبکه توزیع برق در مناطق مختلف کشور، جمعیت و بسیاری موارد دیگر وجود ندارد . کشور ما ایران نیز به سبب موقعیت جغرافیایی مطلوب و پارامترهای محیطی موثر یکی از مناطق استراتژیک جهت تولید انرژی الکتریکی با استفاده از مزارع و نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد. نیروگاههای فتوولتاییک زیادی در ایران از جمله در شهرهای مشهد، تایبای خراسان رضوی، کرمانشاه، کاشان، یزد، زنجان، اردبیل، ابهرو... به بهره‌برداری رسیده است . متاسفانه در منطقه شمال غرب فقط ۲ مورد، در استانهای زنجان و اردبیل نیروگاههای فتوولتائیک به بهره‌برداری رسیده است. باتوجه به این‌که استان آذربایجان‌شرقی قطب صنعتی و معدنی کشورمی‌باشد و با وجود کارخانه‌های متعدد و جمعیت نسبتا زیاد، میزان مصرف برق در این استان قابل توجه می‌باشد و در سالهای اخیرقطع برق و افت ولتاژدر شبکه برق رسانی، مشکلات بسیاری برای صنعت و مردم ایجادکرده است . لذا در این تحقیق با بررسی سه جنبه مهم؛ فنی، اقتصادی و زیست محیطی، با استفاده از نرم‌افزارهای موجود و داده‌های واقعی، به مسئله امکان‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس بزرگ، در این استان پرداخته خواهد شد.

پیشینه تحقیق

جهانبخش و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به پتانسیل سنجی نیروگاه بادی در شمال غرب ایران و معرفی مکان‌هایی مناسب جهت احداث نیروگاه بادی بر اساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی به لایه‌های انتخاب پرداخته‌اند و همچنین به‌کمک نرم‌افزار Expert choice به تحلیل اطلاعات و انتخاب ۵ موقعیت مکانی برتر پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که در آینده با احداث نیروگاه بادی در این مکان‌ها از انرژی تجدیدپذیر باد که عاری از هرگونه آلودگی می‌باشد، نهایت استفاده را برد. هوشنگی و آل‌شیخ (۱۳۹۶)، در مقاله ای تحت عنوان((پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در ایران با روش‌های تاپسیس، فازی تاپسیس و فازی سوگنو))، در ایران با استفاده از سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، مبانی فازی‌سازی و بهره‌گیری از ابزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی کشورمان (GIS) به تلفیق عوامل مؤثر در احداث نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک پرداخته‌اند تا پتانسیل مناطق مختلف کشور در ایجاد این نیروگاه‌ها تعیین شود. در پایان اولویت‌های اصلی کشور برای نیروگاه‌های خورشیدی با اختلافی ناچیز بخش‌های نرمانشیر، نوبندگان، فرجهی، بمپور، شیب‌کوه و گاوبندی معرفی شده‌اند. محمد حسینی و همکاران(۱۳۹۸) در پژوهشی تحت عنوان " ارزیابی اثرهای محیط زیستی احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر خورشیدی بادی مطالعه موردی: منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان" به بررسی این موضوع پرداخته اند. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی اثرهای محیطزیستی بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر شامل بادی و خورشیدی در منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان-زواریان می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از دو روش کاربردی ارزیابی اثرهای محیط زیستی (ماتریس ایرانی و روش ماتریس ارزیابی اثرات سریعRIAM) انجام گرفته است. همچنین در این تحقیق در ابتدا به معرفی گزینه‌ها، جمع‌آوری اطلاعات پایه منطقه، بررسی عامل‌های مؤثر بر توسعه نیروگاه‌های انرژی خورشیدی و بادی از طریق جستجوی اینترنتی و بازدید میدانی پرداخته شده است. بر اساس مطالعات انجام شده در بخش‌های شناخت پروژه و ویژگی‌های محیطزیست منطقه مورد مطالعه، پتانسیل انواع اثرهای محیطزیستی ناشی از اجرای پروژه نیروگاه تجدیدپذیر به تفکیک فاز ساخت و ساز و بهره برداری بر محیط‌های فیزیکی ، بیولوژیکی و اجتماعی ، اقتصادی و فرهنگی با استفاده از روش ماتریس ایرانی و روش RIAM مورد ارزیابی قرار گرفته است. براساس نتایج هر دو ماتریس، احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر خورشیدی – بادی با توجه به بروز کمترین پیامدهای منفی بر اجزای گوناگون محیط زیست، بعنوان مطلوب ترین گزینه مدیریتی انتخاب شد و بدون بیان راهکار، عملکرد پروژه مورد تایید است.

گنجوی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در پژوهشی تحت عنوان " ارزیابی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تولید برق از تکنولوژی‌های تجدیدپذیر و گازی" به بررسی این موضوع پرداخته‌اند. آنها در این مقاله با محاسبه هزینه انرژی خروجی و هزینه واحد انرژی تولیدی، به مقایسه قیمت‌های تمام شده برق تولیدی توسط نیروگاه‌های مختلف سیکل ترکیبی، بادی و فتوولتاییک پرداخته‌اند. همچنین در این تحقیق از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی و مقایسه فناوری‌های تولید برق استفاده شده

است. نتایج نشان داده است که هزینه تمام شده تولید برق از سوخت‌های فسیلی، از هزینه تمام شده تولید برق از نیروگاه های تجدیدپذیر بیشتر است و تکنولوژی‌های تجدیدپذیر بیشترین انطباق را با معیارهای پایداری دارند. مدی(۱۴۰۰) نیز در پژوهش خود تحت عنوان " امکان‌سنجی انتخاب زمین برای استقرار نیروگاه برق فتوولتائیک در مقیاس کوچک" به بررسی موضوع پرداخته است. در این پژوهش، مکان مورد مطالعه، پردیس دانشگاهی بوده است و نتایج پژوهش حاکی از آن است که وزن این عوامل یکی نیست و با اولویت بندی درجات اهمیت این عوامل انتخاب زمین مناسب با دقت بیشتری انجام خواهد شد. اگرچه در مقیاس مزارع خورشیدی بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS متداول است اما در مقیاس کوچک روش تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند تمایز مناسبی برای انتخاب زمین مناسب ایجاد کند. در پژوهشی که خورشیددوست وهمکاران (۱۴۰۱)، انجام داده‌اند، اثرات تغییر اقلیم جهانی بر نواحی مختلف آب وهوایی کشور در نواحی ۱۲گانه اقلیمی مورد بررسی قرار گرفته و در این تحقیق از داده های NCEP و عناصر اقلیمی بارش، دمای بیشینه و کمینه در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱) برای ریزمقیاس نمایی آماری با مدل SDSM استفاده شده است. برای ارزیابی عملکرد مدل از ضریب همبستگی، ضریب تعیین و شاخص های خطا سنجیRMSE ، MSEو MAD استفاده شده و نتایج نشان داده است که مدل SDSM عملکرد مناسبی برای تولید عناصر اقلیمی دارد.

زارعی و همکاران(۱۴۰۲)، در تحقیقی تحت عنوان"ارزیابی اثرات تغییرات جهانی اقلیم بر عناصر اقلیمی دما و بارش در نواحی مختلف آب و هوایی ایران با استفاده از سناریوهای RCP" انجام داده‌اند، از داده‌های NCEP و عناصر اقلیمی بارش، دمای بیشینه و کمینه در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱) برای ریزمقیاس نمایی آماری با مدل SDSM استفاده کرده و با استفاده از خروجی مدل CanEMS2 تحت سناریوهای RCP برای سه دوره آماری ۲۰۴۰- ۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ تغییرات سالانه عناصر اقلیمی را به دست آورده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داده است که مدل SDSM، عملکرد مناسبی برای تولید عناصر اقلیمی دارد. ولی نکته قابل توجه اینست که دقت مدل در ایستگاه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. همچنین نتایج بلندمدت سالانه نشان داده که بارش در تمامی نواحی اقلیمی مورد مطالعه در دهه‌های آتی کاهش پیدا خواهد کرد. کیتییو سونتیاراک و همکاران (۲۰۱۶)، نیز در پژوهشی تحت عنوان " یک مدل پیش‌بینی خروجی پنل فتوولتائیک با استفاده از تابع وزنی، مطالعه موردی در کامبوج" به بررسی این موضوع پرداخته ومفهوم جدیدی را برای بهبود دقت پیش‌بینی میزان خروجی سلولهای فتوولتائیک ارائه کرده‌اند. پینار و همکاران(۲۰۱۷)، نیز در پژوهش خود تحت عنوان " انتخاب مکان بهینه برای یک نیروگاه خورشیدی در منطقه آناتولی مرکزی ترکیه" به بررسی این موضوع پرداخته‌اند. در این مطالعه، پیشنهادات مختلفی در مورد انتخاب مکان، که مرحله مهمی در راه اندازی PVPS است، ارائه شده است. در ادامه معیارهای انتخاب مکان مناسب با روش-های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) تجزیه و تحلیل شده و نتایج برای ۷ شهر در منطقه آناتولی مرکزی ترکیه ارزیابی شده است. شهرهای آکسارای، قونیه، کارامان، نوشهیر و نیگده از منطقه آناتولی مرکزی ترکیه برای مطالعه انتخاب شده‌اند. همچنین معیارهای مطالعه در این پژوهش عبارتند از پتانسیل انرژی خورشیدی، ظرفیت اتصال فیدر اختصاص داده شده، و شیب سطح . نتایج این مقاله نشان داد با توجه به معیارهای انتخاب شده، کارامان برای تمامی روشها مناسب ترین شهر برای نصب نیروگاه خورشیدی می‌باشد.

بنجامین و همکاران (۲۰۱۸) نیز در تحقیقات خود به بررسی موضوع پرداخته است.در این مقاله، تجربیات عملی قابل توجه ده اپراتور توزیع کننده آلمانی را که نقش اصلی در این زمینه را بازی می‌کند، تحلیل کرده است. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که اقدامات توسعه شبکه به طور عمده انجام شده است. همچنین هنگامی که پتانسیل سیستم‌های فتوولتائیک به حداکثر می‌رسد، گسترش شبکه‌های کلاسیک مانند نصب کابل‌های موازی اجرا می‌شود. علاوه بر این، بهبود برنامه‌ریزی شبکه، منجر به استفاده بهتر از ظرفیت کمترین ولتاژ شبکه می‌گردد. نکته قابل توجه اینست که راه حل‌های عملی، که توسط اپراتورهای توزیع سیستم آلمان به طور موفقیت آمیز اجرا می‌شود، می‌تواند برای مناطق دیگر که در حال برنامه‌ریزی استقرار انرژی‌های تجدید پذیر را دارند، قابل استفاده باشد. نوایگوه و همکارانش (۲۰۱۹)، در مقاله ایی تحت عنوان " مروری بر ادغام انرژی خورشیدی (سیستم های PV) در شبکه‌های برق"، فناوری‌های فعلی یکپارچه‌سازی شبکه خورشیدی شناسایی گردیده و مزایای

یکپارچه‌سازی شبکه خورشیدی ارائه شده و ویژگی‌های سیستم خورشیدی برای یکپارچه‌سازی و اثرات و چالش‌های یکپارچه‌سازی مورد بحث قرار گرفته است. این پژوهش به اجرای یکپارچه‌سازی شبکه خورشیدی در پروژه‌های آتی بدون تکرار چالش‌های آشکار در پروژه‌های پیشین کمک کرده و داده‌هایی را برای محققان و دانشمندان در مورد قابلیت ادغام شبکه خورشیدی ارائه کرده است. همچنین چوئی و همکارانش (۲۰۱۹)، در تحقیقی مروری تحت عنوان " نقشه‌برداری تابش خورشیدی مبتنی بر GIS، ارزیابی سایت و ارزیابی پتانسیل: مروری"، به جمع آوری روش‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و کاربرد آن‌ها در برنامه‌ریزی و طراحی سیستم‌های انرژی خورشیدی پرداخته‌اند. همچنین در این پژوهش، سه نوع مطالعه مبتنی بر GIS، از جمله مطالعات نقشه‌برداری تابش خورشیدی، ارزیابی سایت، و ارزیابی پتانسیل، برای روشن کردن نقش GIS به عنوان ابزارحل مسئله، در رابطه با سیستم‌های انرژی خورشیدی فتوولتائیک و متمرکز برای تبدیل انرژی خورشیدی در نظر گرفته شده است. نگوین و همکاران(۲۰۲۱)، مدل جدیدی را برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت ظرفیت تولید برق نیروگاه خورشیدی در مقیاس بزرگ (SPP) در ویتنا با در نظر گرفتن نوسانات عوامل آب‌وهوا هنگام اعمال الگوریتم شبکه‌های حافظه کوتاه‌مدت (LSTM) ارائه کرده‌اند. دراین تحقیق که در ویتنام انجام گرفته، نه تنها ساختارهای مختلف مدل LSTM، بلکه سایر روش‌های پیش‌بینی مرسوم برای داده‌های سری زمانی از نظر دقت خطای پیش‌بینی روی مجموعه داده‌های آزمایشی برای ارزیابی اثربخشی و انتخاب مناسب‌ترین پیکربندی LSTM مقایسه می‌شوند. نتیجه استفاده از مدل پیش‌بینی جدید برای نیروگاه خورشیدی TTC نشان می‌دهد که MAPE از ۱۰/۸۵۷ درصد به ۹/۸۸۱ درصد کاهش یافته است.در تحقیقی با عنوان "شبیه سازی نیروگاه خورشیدی با گیرنده های سهموی در چند نقطه ایران در حضور سیستم ذخیره انرژی حرارتی گرمای نهان" که توسط هادی و همکاران (۲۰۲۲)، نوشته شده است، وضعیت گذرا یک نیروگاه خورشیدی با گیرنده سهموی در چند نقطه ایران (۶ شهر) با اثر افزودن سیستم ذخیره گرمای نهان بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که عملکرد سیستم ذخیره گرمای نهان به شدت به نوع ماده تغییر فاز (PCM) وابسته است و نوع آن باید با توجه به شرایط نیروگاه انتخاب شود وافزودن یک سیستم ذخیره حرارت خورشیدی میزان گرمای مورد نیاز در دیگ بخار را در طول شب در کارخانه کاهش می‌دهد. همچنین در ادامه مشخص شده که با استفاده از سیستم ردیابی شمال به جنوب می توان انرژی بیشتری را در کلکتورها جذب کرد. در تحقیقی که سان و همکارانش(۲۰۲۳) انجام داده‌اند، از یک مجموعه داده موجودی ملی از تاسیسات فتوولتائیک خورشیدی در مقیاس بزرگ برای بررسی انتخاب‌های مکانی نیروگاه‌های خورشیدی با کمک تکنیک‌های یادگیری ماشینی قابل تفسیر استفاده نموده‌اند. در مجموع ۲۱ عامل تهویه مکانی برای توسعه انرژی خورشیدی در نظر گرفته شده و سپس انتخاب‌های مکان نصب فتوولتائیک خورشیدی با مدل‌های پرسپترون چندلایه، جنگل تصادفی، افزایش گرادیان شدید برای هر نوع پوشش زمین (مانند زمین‌های زراعی، جنگل، علفزار و بایر) مدل‌سازی شده‌اند. نتایج نشان داده که مدل جنگل تصادفی عملکرد بهتری را در بین سه مدل یادگیری ماشین ارائه می دهدو همچنین اهمیت نسبی عوامل تهویه نشان داده که شاخص پوشش گیاهی و فاصله تا شبکه برق همیشه مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده محل نصب فتوولتائیک خورشیدی است. علاوه بر این، عوامل توپوگرافی و راحتی حمل و نقل ممکن است تأثیر متوسطی بر توزیع فضایی نیروگاه های فتوولتائیک خورشیدی داشته باشد. پاندا و همکاران(۲۰۲۴)، با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، توانسته‌اند به طور دقیق انرژی خورشیدی را برای ساعت آینده‌پیش بینی نمایند و احداث نیروگاه خورشیدی در بوبانسوار[1] هند را ارزیابی نمایند. در نتیجه این تحقیق بیان کردند که برای یک نیروگاه خورشیدی ۳۰.۲۴ کیلوواتی در بوبانسوارتقریباً ۸۰ پانل خورشیدی ۴۰۰ وات استفاده می شود و برای نصب این سیستم حداقل ۱۸۵–۲۵۵ متر مربع استفاده می شود. ربی ال اسلام و همکاران(۲۰۲۴)، تحقیقی با عنوان"ارزیابی تناسب سایت برای نیروگاه های خورشیدی در بنگلادش: یک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر GIS (AHP) و رویکرد تجزیه و تحلیل تصمیم چند معیاره (MCDA)"انجام داده‌اند که هدف این مطالعه در درجه اول انتخاب مکان‌های بهینه برای نصب نیروگاه انرژی خورشیدی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وسپس، تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) در یک محیط

[1] Bhubaneswar

سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. این محققین، در مرحله پردازش اساسی، از روش AHP برای محاسبه وزن نسبی داده‌های فیزیوگرافی، سودمندی و آب و هوای منطقه مورد مطالعه استفاده کرده و سپس این وزنه‌ها را در MCDA برای شناسایی مکان‌های بهینه برای نیروگاه‌های خورشیدی بکاربرده‌اند. نتایج MCDA نشان داده ۴۴.۵۹ درصد (۶۶۵۰۶.۴۹ کیلومتر مربع) از منطقه مورد مطالعه در جنوب و جنوب غربی بنگلادش برای توسعه نیروگاه‌های خورشیدی در مقیاس کاربردی بسیار مناسب است.

در پژوهشی که محمودزاده، صمدی و پایدار (۱۴۰۱)، انجام داده‌اند، به این نتیجه رسیده‌اند که در تبریز، پراکندگی ذرات معلق در هوا بیشتر بر اثر تردد وسایط نقلیه، فعالیتهای صنعتی، احتراق سوخت موتورهای دیزل و تولید برق از طریق نیروگاه حرارتی و وجود پالایشگاه می‌باشد و این تحقیق تاییدی بر بهینه بودن تولید برق از طریق نیروگاه فتوولتائیک در تبریزمی‌باشد.

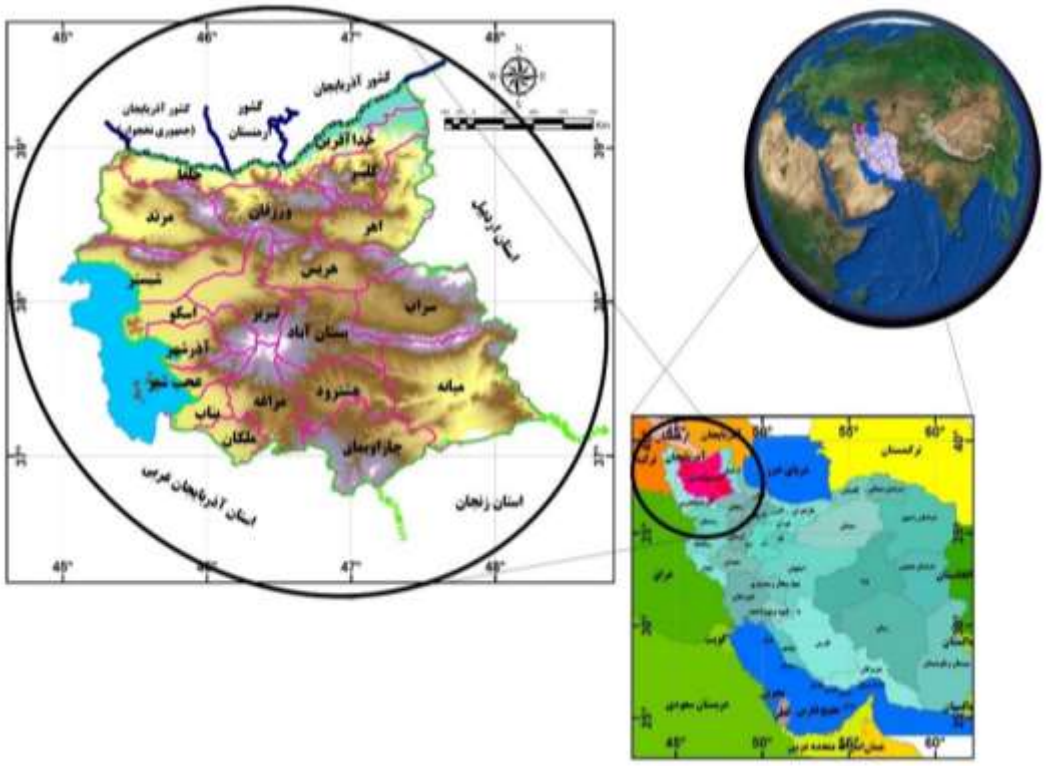
اسدی و همکاران(۱۳۹۸)، برای تعیین مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه بادی دراستان آذربایجان‌شرقی، باکمک فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم افزار Expert choice پرداخته‌اند و به منظور تحلیل فضایی و همپوشانی لایه‌ها از نرم‌افزارArc GIS استفاده شد و بعد از تجزیه و تحلیل اطلاعات, استان آذربایجان شرقی از نظر قابلیت احداث نیروگاه بادی به چهار سطح عالی, خوب, متوسط و ضعیف تقسیم گردید. در نهایت نتایج حاصله نشانگر آن است که سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان یک سیستم حمایتی تصمیم گیری, می تواند هم در آماده سازی داده ها و هم در مدل کردن اولویت ها و نظرات کارشناسان در رابطه با عوامل مختلف بسیار کارامد باشد و طراحان را در انتخاب مکان مناسب جهت احداث نیروگاه بادی یاری کند. در این تحقیق, ۱۵ منطقه, با در نظر گرفتن همپوشانی و انطباق نقشه های محدودیت, شرایط اقلیمی و نیز بازدید میدانی تعیین گردیدند که این مناطق به ترتیب, تبریز, سهند, اسکو, آذرشهر, بستان آباد, شبستر, جلفا, هریس, میانه, بناب, مراغه, سراب, اهر, چاراویماق و هشترود می باشند.

پناهی، محمدزاده و اکبری (۱۳۹۳)، در مقاله ای تحت عنوان " رابطه بین تقاضای انرژی و حمل و نقل خانوارهای شهری و آلودگی محیط زیست از طریق انتشار گازهای گلخانه‌ای در استانهای ایران، برای تخمین تابع تقاضای انرژی (شامل برق و گاز طبیعی) و حمل‌ونقل (مصرف سالانه بنزین برای خانوارهایی که خودروی شخصی دارند) از روش داده‌های ادغام شده و روش دو مرحله‌ای هکمن استفاده کرده‌اند و برای این منظور داده‌های هزینه–درآمد خانوار برای سال ۱۳۸۸ که تقریباً ۱۴۰۰۰ خانوار شهری می‌باشد را به کار برده‌اند.طبق نتایج، بیش‌ترین میزان انتشارCO2 مربوط به استان تهران بوده و کم‌ترین آن مربوط به سه استان کهگیلویه و بویراحمد، خراسان شمالی و ایلام است.

مطالعه انرژی خورشیدی در ایران سابقه ای ۳۷ ساله دارد و تحقیقات زیادی در راستای مقایسه این نوع نیروگاه‌ها با نیروگاه-های دیزلی و ...صورت گرفته است و نتایج حاکی از آن است که هزینه های واحد انرژی نیروگاه‌های خورشیدی نسبت به واحد انرژی روش‌های دیگر تولید، کمتر است(خوش اخلاق و همکاران،۱۳۸۴) وهمچنین تحقیقات قبلی نشان می‌دهند که، احداث نیروگاه مقیاس کوچک فتوولتائیک، ضمن کاهش تلفات و فشار وارد بر شبکه، بهبود پروفایل ولتاژ و قابلیت اطمینان سیستم، با استفاده از پنل‌های خورشیدی با مزایای راندمان بالا، عمر طولانی،پایین بودن آلاینده‌های زیست محیطی، پشتیبانی و خدمات پس از فروش خوب و هزینه پایین تعمیر و نگهداری و قطعات یدکی می‌تواند راهکارهای مناسب و سریع جهت تامین انرژی مطمئن مشترکین باشد (بهمنی،۱۳۹۵). لذا در این تحقیق به امکان‌سنجی احداث نیروگاه فتوولتاییک در استان آذربایجان شرقی، پرداخته می‌شود.

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان‌شرقی با ۴۹۱,۴۵ کیلومترمربع مساحت، حدود ۲/۸ درصد از وسعت کل ایران را به خود اختصاص داده است. این استان در شمال‌غرب کشور و بین مدارهای ۳۶درجه و۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و نصف‌النهارهای ۴۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی، جای گرفته است. این استان ششمین استان پرجمعیت ایران محسوب می‌شود که از سمت شمال به جمهوری‌های آذربایجان، ارمنستان و نخجوان، از سمت غرب و جنوب غرب به استان آذربایجان غربی، از سمت شرق به استان اردبیل و از سمت جنوب شرق به استان زنجان مرزبندی شده‌است.استان دارای آب و هوای سرد کوهستانی بوده و کل محدودهٔ آن را کوه‌ها و ارتفاعات تشکیل داده‌اند. جمعیت آن نیز در سال ۱۴۰۰ خورشیدی بالغ بر ۴۰۰,۰۴۰,۴ نفر برآورد شده‌است. این استان، یگانه استان ایران است که با ارمنستان هم‌مرزاست و همچنین تنها استان کشور است که هم با خاک اصلی جمهوری آذربایجان و هم با جمهوری خودمختار نخجوان که برون بومی متعلق به جمهوری آذربایجان است، مرز مشترک دارد. استان آذربایجان شرقی محل اتصال دو رشته‌کوه مهم و اصلی کوه‌های ایران، یعنی البرز و زاگرس است و بلندترین نقطهٔ آن، قلهٔ کوه سهند است.این استان از طرف شمال‌غربی رشته‌کوههای زاگرس، به سوی جنوب‌شرق به طول ۴۸۰ کیلومتر کشیده شده است. این منطقه از سه حوضهٔ آبریزدریاچهٔ ارومیه، دریای خزر ورودخانه قزل‌اوزن تشکیل شده است. این استان بعنوان یکی از قطب های صنعتی کشور و در محور تبادلات کالایی جاده ابریشم جایگاه خاصی در اقتصاد صنعتی دارد. در شکل (۱) ، موقعیت جغرافیایی این مناطق در نقشه نشان داده شده است (توکلی نیا و شالی، ۱۳۹۰) و (طاحونی و ارگانی ۱۳۹۹).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان آذربایجان شرقی

روش پژوهش

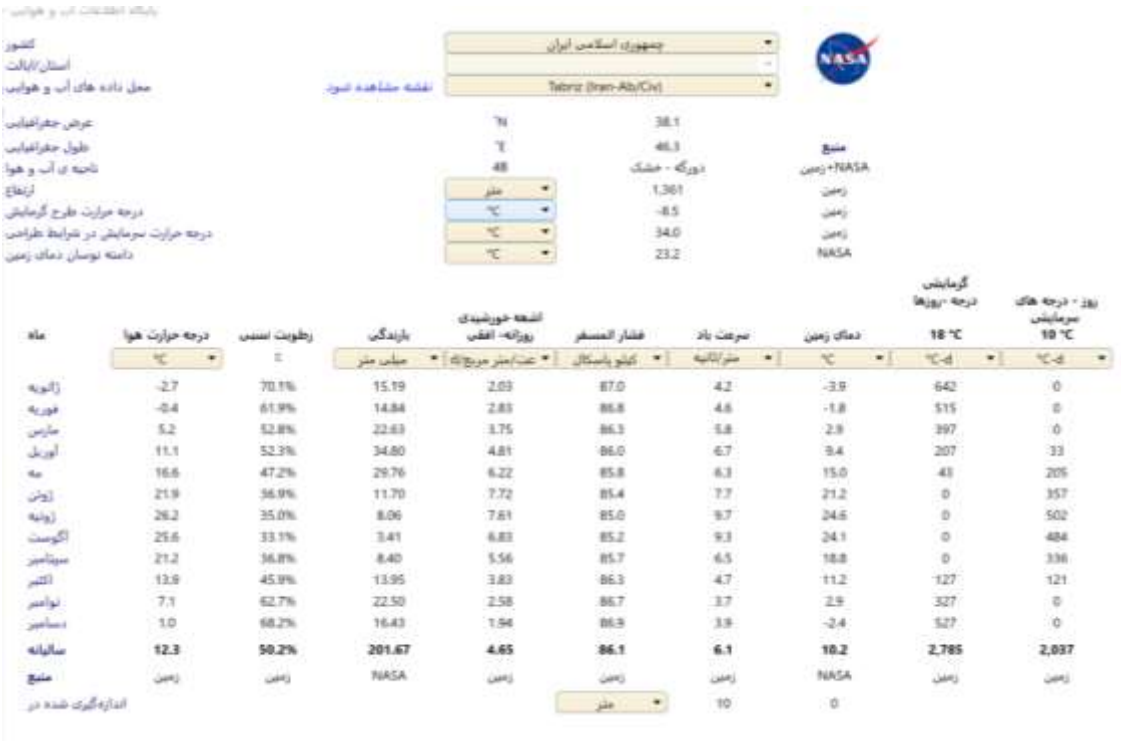
درسالهای اخیربا با افزایش میزان تقاضا برای انرژی الکتریکی، تجدید ساختار در صنعت برق و نیز استفاده از واحدهای فتوولتائیک، در سیستم توزیع و نزدیک بودن به مصرف کنندهها رواج بیشتری یافته است. به این واحدهای که اغلب به شبکه توزیع وصل می‌شوند، تولید توزیع شده یا تولید پراکنده تجدیدپذیر گفته می‌شود. یکی از مهمترین مسائل در احداث این نیروگاهها، انتخاب مکان پروژه است که می‌بایست دو عامل بسیار مهم مورد توجه قرار گیرند که این دو عامل عبارتند از:

- کاهش هزینه انتقال به لحاظ نزدیک شدن واحدهای فتوولتائیک به مصرف کننده
- استفاده از واحدهایی با راندمان بالا بدلیل برخورداری از تکنولوژی مدرن به منظور کاهش تلفات

نرم‌افزار RETScreen یک سامانه مدیریت انرژی پاک است که توسط دولت کانادا به منظور آنالیز انرژی های تجدیدپذیر و زیستی ایجاد شده است و به وسیله آن می توان طرح توجیهی اقتصادی نیروگاه های خورشیدی را نیز بررسی و تحلیل نمود. به منظور افزایش بهره وری انرژی، مدیریت انرژی تجدید پذیر، ارزیابی قابلیت اجرای پروژه تولید همزمان گرما و برق (CHP) و تحلیل عملکرد انرژی‌های کنونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ورژن از نرم‌افزار رت اسکرین امکان تشخیص، ارزیابی و بهینه سازی، قابلیت پایداری فنی و اقتصادیِ انرژی های تجدیدپذیر و پروژه‌های بهره وری انرژی را فراهم می‌سازد. نرم افزار رت اسکرین از پارامترهای دیتابیس های مختلف استفاده می کند بسیاری از پایگاه‌های داده را برای کمک به کاربر ادغام می‌شود، از جمله پایگاه‌های اطلاعاتی آب و هوای جهانی از ۶۷۰۰ ایستگاه زمینی و داده‌های ماهواره‌ای ناسا، بانک های اطلاعاتی مبنا، هزینه، پروژه، هیدرولوژی و محصول، و با گسترش آگاهی خود، هوش مصنوعی خود را گسترش می دهد.علاوه بر این، این نرم افزار شامل منابع یادگیری داخلی گسترده، از جمله کتابچه راهنمای الکترونیکی است.

نتایج

در این تحقیق، به‌منظورانتخاب مکان بهینه اجرای پروژه، ۱۰ منطقه در شمال‌غرب ایران انتخاب گردید و با استفاده از نرم-افزار(2016) RETSCreen، اطلاعات دقیقی از دمای هوا، رطوبت نسبی، میزان بارندگی، تابش خورشید، سرعت باد و دمای زمین از تاریخ ۱ژانویه ۲۰۱۸ تا ۴ آگوست ۲۰۲۲ بصورت روزانه دراین مناطق بدست آمد و بعنوان نمونه خروجی نرم‌افزار برای شهر تبریز در شکل (۲) آورده شده است، سپس میانگین این مقادیر وهمچنین ضریب تبدیل انرژی (CF) هر منطقه در جدول (۱) آورده شده است.



کشور			جمهوری اسلامی ایران	
استان/ایالت			-	
محل داده های آب و هوایی		نقشه مشاهده شود	Tabriz (Iran-Ab/Civ)	
عرض جغرافیایی		°N	38.1	
طول جغرافیایی		°E	46.3	منبع
ناحیه ی آب و هوا		48	دورگه - خشک	NASA+زمین
ارتفاع		متر	1,361	زمین
درجه حرارت طرح گرمایشی		°C	-8.5	زمین
درجه حرارت سرمایشی در شرایط طراحی		°C	34.0	زمین
دامنه نوسان دمای زمین		°C	23.2	NASA

ماه	درجه حرارت هوا	رطوبت نسبی	بارندگی	تابش خورشیدی روزانه- افقی	فشار المسفر	سرعت باد	دمای زمین	گرمایشی درجه -روزها 18 °C	روز - درجه های سرمایشی 10 °C
	°C	%	میلی متر	کیلو وات ساعت/متر مربع/روز	کیلو پاسکال	متر/ثانیه	°C	°C-d	°C-d
ژانویه	-2.7	70.1%	15.19	2.03	87.0	4.2	-3.9	642	0
فوریه	-0.4	61.9%	14.84	2.83	86.8	4.6	-1.8	515	0
مارس	5.2	52.8%	22.63	3.75	86.3	5.8	2.9	397	0
آوریل	11.1	52.3%	34.80	4.81	86.0	6.7	9.4	207	33
مه	16.6	47.2%	29.76	6.22	85.8	6.3	15.0	43	205
ژوئن	21.9	36.9%	11.70	7.72	85.4	7.7	21.2	0	357
ژوئیه	26.2	35.0%	8.06	7.61	85.0	9.7	24.6	0	502
اگوست	25.6	33.1%	3.41	6.83	85.2	9.3	24.1	0	484
سپتامبر	21.2	36.8%	8.40	5.56	85.7	6.5	18.8	0	336
اکتبر	13.9	45.9%	13.95	3.83	86.3	4.7	11.2	127	121
نوامبر	7.1	62.7%	22.50	2.58	86.7	3.7	2.9	327	0
دسامبر	1.0	68.2%	16.43	1.94	86.9	3.9	-2.4	527	0
سالیانه	**12.3**	**50.2%**	**201.67**	**4.65**	**86.1**	**6.1**	**10.2**	**2,785**	**2,037**
منبع	زمین	زمین	NASA	زمین	زمین	زمین	NASA	زمین	زمین
اندازه‌گیری شده در					متر	10	0		

شکل ۲. اطلاعات ایستگاه هوایی خروجی نرم‌افزار رت اسکرین برای شهر تبریز

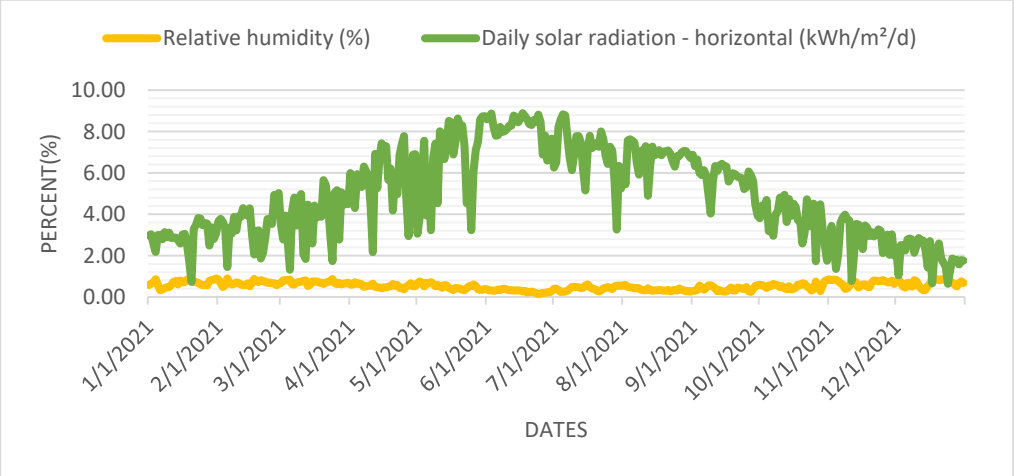
با توجه به مراحل تحلیل در نرم افزار RETScreen (حکمت و کلانتر، ۱۳۹۳)، در ابتدا به تعیین مکان پرداخته مـی شـود که مکان برای نرم‌افزار تعریف شده ومشخصات آب و هوایی شهر تبریز به عنوان خروجی نرم افزار دریافت شده است(شکل ۳).

شکل۳. تعیین مکان مورد مطالعه

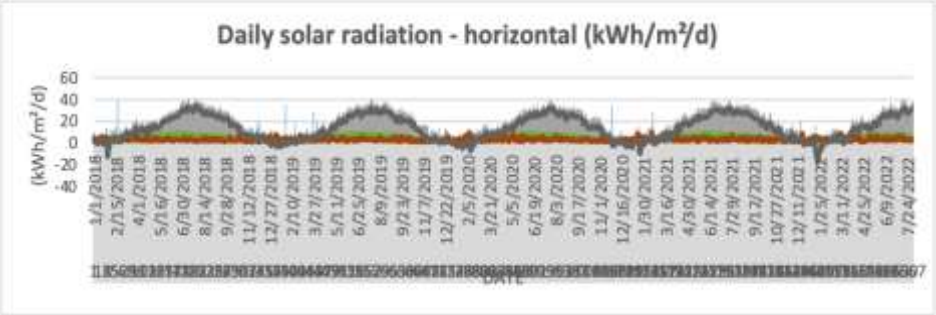
جدول ۱. اطلاعات مربوط به ۱۰ شهر انتخابی در شمال‌غرب ایران از تاریخ ۱ژانویه ۲۰۱۸ تا ٤ آگوست ۲۰۲۲

شهر	ماکزیمم دمای هوا (C°)	مینیمم دمای هوا (C°)	میانگین دمای هوا (C°)	رطوبت نسبی (%)	میزان بارندگی (mm)	تابش اشعه خورشیدی روزانه-افقی (kwh/m2/d)	فشار اتمسفر (kpa)	سرعت باد (m/s)	دمای زمین (C°)	cf
میانه	۲۹/۷۷	-۸۸/۶۹	۱۸/۹۷	۰/۰۵۸	۰/۰۵	۴/۹۸	۸۵/۵۶	۳/۴۵	۱۲/۲۵	۰/۱۷۶
مراغه	۲۸/۸۴	-۱۹/۹	۱۵/۰۴	۰/۶۰۸	۰	۴/۹۹	۸۵/۱۴	۴	۹/۶۶	۰/۱۶۵
خوی	۳۱/۲۳	-۱۳/۷	۱۹/۲۸	۰/۵۳	۰/۰۲	۴/۸۵	۸۷/۶۳	۲/۳۵	۱۳/۰۴	۰/۱۷۴
مرند	۲۸/۹۴	-۱۵/۴	۱۷/۴۳	۰/۵۸	۰/۰۲	۴/۹۵	۸۶/۶۲	۲/۷۳	۱۱/۷۲	۰/۱۷۶
تبریز	۲۷/۴۱	-۱۶/۰۷	۱۷/۸۴	۰/۵۳	۰	۴/۶۹	۸۵/۹۷	۴/۰۹۵	۱۱/۷۱	۰/۱۹
ارومیه	۳۰/۱۷	-۲۳/۴۳	۱۶/۲۵	۰/۵۹	۰	۵/۰۹	۸۵/۹۵	۲/۸۸	۱۱/۵۱	۰/۱۸۲
مهاباد	۳۲/۶۱	-۱۹/۱۷	۱۸/۹۲	۰.۵۵	۰	۵/۱۲	۸۶/۸۱	۳/۲۰	۱۳/۵۱	۰/۱۷۸
اهر	۲۶/۸۶	-۱۹/۰۸	۱۵/۷۳	۰/۶۶	۰/۰۳	۴/۲۹	۸۵/۵	۳/۵۶	۹/۶۴۵	۰/۱۶۵
اردبیل	۲۸/۲۴	-۱۶/۵۲	۱۶/۷۲	۰/۷۵	۰/۱	۴/۶۱	۸۲.۲۷	۲/۷۷	۱۱/۲۵	۰/۱۷۹
پارس-آباد	۳۴/۸۱	-۶/۷۳	۲۳/۲۱	۱/۶۵	۰/۰۴	۴/۱	۱۰۰/۹۶	۲/۹۸۵	۱۶/۱۸۵	۰/۱۷۴

نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد که شهر تبریز نسبت به ۹ شهر دیگر ضریب تبدیل انرژی بالاتری دارد و همچنین طبق تحلیل‌های انجام گرفته درنرم‌افزارRETScreen، شهر تبریز برای احداث نیروگاه فتوولتائیک انتخاب می‌گردد. اطلاعات روزانه مربوط به رطوبت نسبی و تابش اشعه خورشیدی روزانه سال ۲۰۲۱ مربوط به شهر تبریز در شکل (۴) آورده شده است. همانطور که در شکل نیز مشاهده می‌گردد، رطوبت نسبی تغییرات جزئی بین ۰.۱۴۱۹ و ۰.۹۱۸۸ دارد و اما تغییرات تابش اشعه خورشیدی بین ۰.۶۴ تا۸/۸۸ می‌باشد و بیشترین میزان تابش اشعه خورشید مربوط به ماههای ژوئن و جولای می‌باشد و انتظار می‌رود در این ماه‌ها بیشترین میزان تولید برق را داشته باشیم. همین‌طور نمودار میزان تابش اشعه خورشید در شهر تبریز جهت مشاهده تغییرات، مربوط به سالهای ۲۰۱۸-۲۰۲۱ در شکل (۵) آورده شده است.



شکل ٤. نمودار تغییرات رطوبت نسبی و تابش اشعه خورشیدی برای شهر تبریزدر سال ۲۰۲۱



شکل۵. نمودار میزان تابش اشعه خورشید در شهر تبریز، مربوط به سالهای ۲۰۱۸-۲۰۲۱

تحلیل اقتصادی و زیست محیطی احداث نیروگاه خورشیدی ۲ مگاوات در شهر تبریز

در بیشترمطالعات انجام گرفته برای محاسبه هزینه تولید انرژی الکتریکی با روشهای مختلف موجود، به ویژه سیستم فتوولتائیک، از روش تحلیل هزینه چرخه عمر استفاده شده است که این تحقیق نیز با این روش تحلیل می‌گردد. اطلاعات اولیه طرح در جدول شماره(۲)، وهمچنین فرضیات مالی و دوره عمر پروژه، در جدول شماره(۳)، آمده است.

جدول ۲. اطلاعات اولیه طرح احداث نیروگاه فتوولتائیک در تبریز

ردیف	عنوان	مقدار
۱	ظرفیت نصب نیروگاه برحسب مگاوات	۲
۲	درصد سهم اورده نقدی سرمایه گذار	٪۳۰
۳	هزینه تامین مالی نقدی	٪۲۰
۴	درصد سهم تسهیلات(بانکی و غیر بانکی)	٪۷۰
۵	تعداد اقساط پرداخت وام	۱۵
۶	مدت بازپرداخت تسهیلات	۱۵
۷	هزینه تامین مالی تسهیلات	٪۷

جدول۳. فرضیات طرح احداث نیروگاه فتوولتائیک

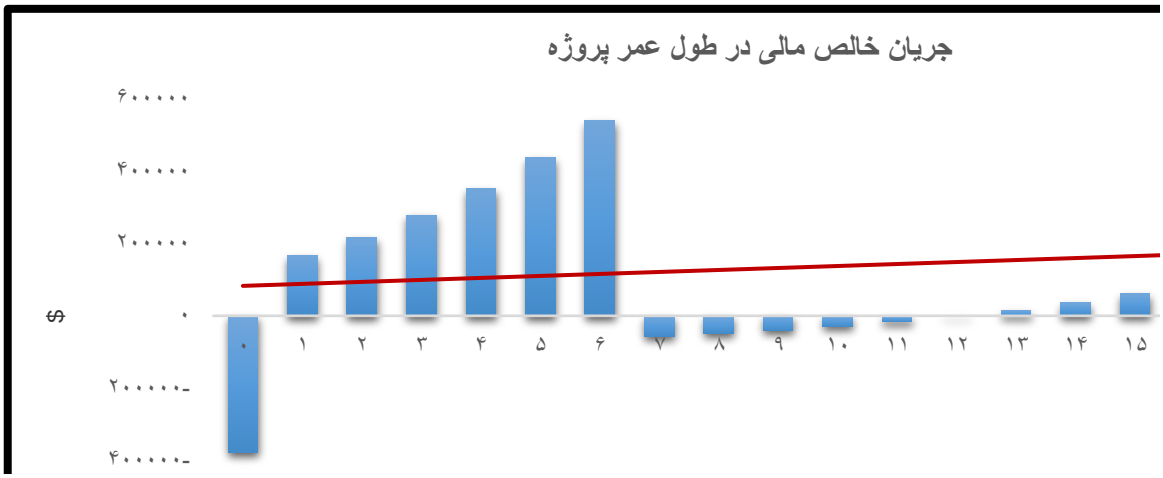
ردیف	عنوان	واحد	مقدار
۱	میزان کل سرمایه گذاری اولیه	دلار	۱,۲۶۰,۰۰۰
۲	ضریب ظرفیت در شهر تبریز	درصد	٪۱۹
۳	نرخ تورم	درصد	٪۲۰
۴	نرخ تنزیل	درصد	٪۱۰
۵	طول عمر پروژه	سال	۲۰
۶	میزان سهم سهامدار	دلار	۳۷۸,۰۰۰
۷	میزان تسهیلات بانکی	دلار	۸۸۲,۰۰۰
۸	تعرفه پایه خرید برق	دلار	۰/۰۶۹
۹	روزهای پوشش درسال	روز	۸۷۶۰
۱۰	افت نیروگاه	درصد	۰/۰۰۵
۱۱	هزینه تعمیر و نگهداری سالانه	دلار	۱۲,۶۰۰

شایان ذکر است، تعرفه خرید برق براساس مصوبات وزات نیرو(ساتبا) تعیین شده است. نرخ خرید تضمینی نیروگاه‌های ظرفیت-های مگاواتی در طی ۷ سال اول احداث و بهره برداری پروژه به میزان ۶.۹ سنت دولت از نیروگاه داران خریداری می کند و پس از ان بایستی نیروگاه دار در بازار برق ، برق خود را به قیمت ۲ سنت بفروش برساند و محاسبات مالی طرح براساس همین مصوبات صورت گرفته است. طبق نتایج جدول شماره(۴)، ارزش فعلی سرمایه گذاری مبلغ ۵۴۱۸۵۶۰ دلار محاسبه شده است و دوره بازگشت سرمایه ۳ سال می‌باشد. طبق این نتایج می‌توان گفت که این طرح از نظر اقتصادی توجیه پذیراست و امکان پیاده-سازی را دارند. در شکل (۶)، جریان خالص مالی در طول اجرای پروژه آمده است.

جدول٤. نتایج تحلیل اقتصادی طرح احداث نیروگاه فتوولتائیک ۲مگاواتی با دوره عمر ۲۰ سال

ردیف	عنوان	واحد	مقدار
۱	NPV (ارزش فعلی سرمایه گذاری)	دلار	۱,۰۸۳,۷۱۲
۲	نرخ بازگشت سرمایه	درصد	٪۶۰
۳	دوره بازگشت سرمایه(PBP)	سال	۳
۴	مبلغ قسط وام سالیانه	دلار	۹۶,۸۳۹
۵	انرژی تولیدی سال اول	مگاوات ساعت	۳۳۱۲
۶	درآمد سال اول	دلار	۲۷۵,۶۲۵

در صورتی که سرمایه گذار بتواند برق خود را با قیمت بالاتر در بازار برق بفروشد جریان مالی طی سال‌های انتهایی پروژه افزایش خواهد یافت ونرخ بازگشت سرمایه و NPV بیشتری را خواهد داد و مزیتی که طرح دارد دوره بازگشت سرمایه در۳ ساله اول دوران بهره برداری اتفاق خواهد افتاد و دردوران خرید تضمینی برق هزینه‌های طرح را پوشش می‌دهد وهمین مسئله سبب می-گردد جذابت طرح بیشتر شود و سرمایه گذاران را به سمت احداث نیروگاه خورشیدی در شهر تبریز جذب نماید.



شکل٦. جریان خاص مالی در طول عمر طرح احداث نیروگاه فتوولتائیک

از لحاظ مسائل زیست محیطی و اجتماعی؛ میزان اشتغال، صرفه جویی در آب و عدم انتشار کربن دی اکسید مورد بررسی واقع شده است که نتایج در جدول شماره (۵)، گزارش شده است. نتایج حاکی از آن است که هرچه جهت تامین برق به سمت نیروگاه های تجدید پذیر پیش برویم علاوه بر کاهش مسائل و مشکلات زیست محیطی، به ازای هر مگاوات نصبی می توان سبب

اشتغال ۱۱ نفر شد و در این طرح با توجه به ظرفیت نیروگاه در نظرگرفته به ازای ۲ مگاوات ظرفیت نصبی، می‌توان برای ۲۲ نفر اشتغال در شهر تبریز ایجاد کرد.

جدول ۵. نتایج تحلیل زیست محیطی و اشتغال با نرم افزار RETScreen

میزان ایجاد اشتغال به ازای ظرفیت نصب شده (نفر)	میزان صرفه جویی در آب (لیتر در سال)	میزان عدم انتشار کربن دی اکسید (تن درسال)
۲۲	۲۹۹,۵۹۲,۰۰۰	۱۳,۳۱۵

تحلیل اقتصادی و زیست محیطی احداث نیروگاه خورشیدی ۱۰۰ مگاوات در شهر تبریز

در ادامه تحقیق، جهت بررسی احداث نیروگاه در ابعاد بزرگ، محاسبات برای نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی انجام گرفته است. اطلاعات اولیه طرح در جدول (۶) و همچنین فرضیات طرح در جدول (۷)، آورده شده است.

جدول ٦. اطلاعات اولیه طرح احداث نیروگاه فتوولتائیک بزرگ در تبریز

ردیف	عنوان	مقدار
۱	ظرفیت نصب نیروگاه برحسب مگاوات	۱۰۰
۲	درصد سهم اورده نقدی سرمایه گذار	٪۳۰
۳	هزینه تامین مالی نقدی	٪۲۰
٤	درصد سهم تسهیلات(بانکی و غیر بانکی)	٪۷۰
٥	تعداد اقساط پرداخت وام	۱۵
٦	مدت بازپرداخت تسهیلات	۱۵
۷	هزینه تامین مالی تسهیلات	٪۷

نرخ خرید تضمینی نیروگاه‌های ظرفیت‌های مگاواتی در طی ۷ سال اول احداث و بهره برداری پروژه به میزان ۶.۹ سنت دولت از نیروگاه داران خریداری می‌کند و پس از آن بایستی نیروگاه دار در بازار برق ، برق خود را به قیمت ۲ سنت بفروش برساند و محاسبات مالی طرح براساس همین مصوبات صورت گرفته است. طبق نتایج جدول شماره(۸)، ارزش فعلی سرمایه گذاری مبلغ ۸۴۶۰۸۱۱ دلار محاسبه شده است و دوره بازگشت سرمایه ۳.۷ سال می‌باشد.

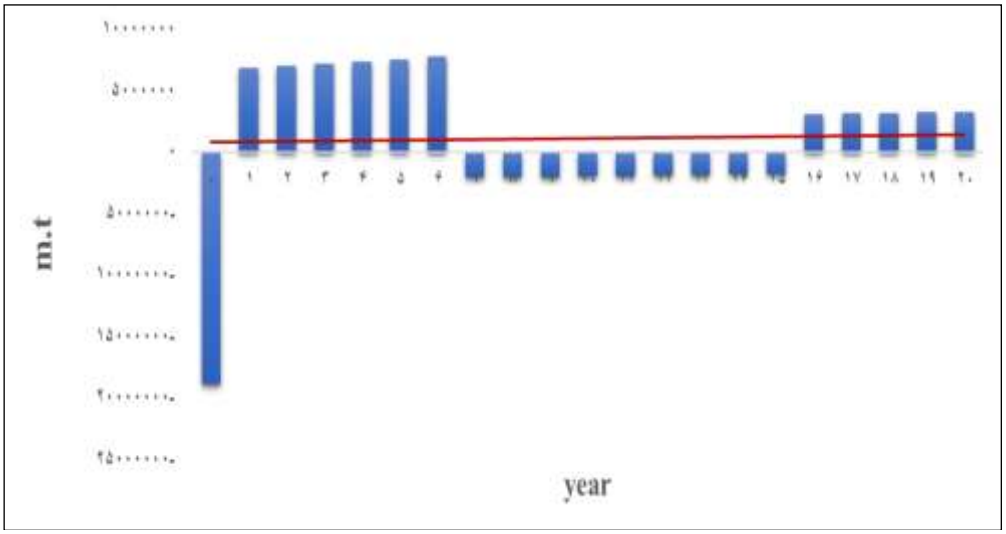
جدول ۷. فرضیات طرح احداث نیروگاه فتوولتائیک

ردیف	عنوان	واحد	مقدار
۱	میزان کل سرمایه گذاری اولیه	دلار	۶۳,۰۰۰,۰۰۰
۲	ضریب ظرفیت در شهر تبریر	درصد	٪۱۹
۳	نرخ تورم	درصد	٪۲
۴	نرخ تنزیل	درصد	٪۱۰.۹
۵	طول عمر پروژه	سال	۲۰
۶	میزان سهم سهامدار	دلار	۱۸,۹۰۰,۰۰۰
۷	میزان تسهیلات بانکی	دلار	۴۴,۱۰۰,۰۰۰
۸	تعرفه پایه خرید برق	دلار	۰/۰۶۹
۹	روزهای پوشش درسال	روز	۸,۷۶۰
۱۰	افت نیروگاه	درصد	٪۰.۵
۱۱	هزینه تعمیر و نگهداری سالانه	دلار	۶۳۰,۰۰۰

طبق این نتایج می‌توان گفت که این طرح نیز مانند نیروگاه ۲مگاواتی، از نظراقتصادی توجیه‌پذیراست وامکان پیاده‌سازی را دارد. درشکل شماره (۷)، جریان خالص مالی در طول اجرای پروژه آمده است.

جدول ۸. نتایج تحلیل اقتصادی طرح احداث نیروگاه فتوولتائیک ۱۰۰مگاواتی با دوره عمر ۲۰ سال

نتایج اقتصادی			
ردیف	عنوان	واحد	مقدار
۱	NPV	دلار	۸,۴۶۰,۸۱۱
۲	نرخ بازگشت سرمایه	درصد	٪۲۷
۳	دوره بازگشت سرمایه(PBP)	سال	۳/۷
۴	قسط وام سالیانه	دلار	۴,۸۴۱,۹۴۳
۵	انرژی تولیدی سال اول	مگاوات ساعت	۱۷۴,۳۲۴
۶	درآمد سال اول	دلار	۱۲,۳۳۰,۵۷۶



شکل (۷). جریان خاص مالی در طول عمر طرح احداث نیروگاه فتوولتائیک۱۰۰ مگاواتی

در این طرح نیز، با توجه به ظرفیت نیروگاه در نظرگرفته به ازای ۱۰۰مگاوات ظرفیت نصبی، می‌توان برای ۱۱۰۰ نفر اشتغال در شهر تبریز ایجاد کرد. با نتایج بدست آمده از تحقیق، احداث نیروگاه فتوولتائیک جهت تولید برق، علاوه بر تامین برق مورد نیاز منطقه، منجر به صرفه‌جویی درمصرف آب، کاهش آلودگی محیط زیست و ایجاد اشتغال می‌گردد و کاملا توجیه اقتصادی دارد.

جدول ۹. نتایج تحلیل زیست محیطی با نرم افزار RETScreen

میزان ایجاد اشتغال به ازای ظرفیت نصب شده (نفر)	میزان صرفه جویی در آب (لیتر در سال)	میزان عدم انتشار کربن دی اکسید (تن درسال)
۱,۱۰۰	۱۵,۷۶۸,۰۰۰,۰۰۰	۸۰۰/۷۰۰

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به امکان سنجی فنی، اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه خورشیدی مقیاس کوچک در منطقه شمال‌غرب ایران پرداخته شد. با استفاده از نرم‌افزار رت اسکرین اطلاعات دقیقی از دمای هوا، رطوبت نسبی، میزان بارندگی، تابش خورشید، سرعت باد و دمای زمین از تاریخ ۱ژانویه ۲۰۱۸ تا ۴ آگوست ۲۰۲۲ بصورت روزانه برای شهرهای میانه، مراغه، خوی، مرند، تبریز، ارومیه، مهاباد، اهر، اردبیل و پارس‌آباد بدست آمد و پس از محاسبه میانگین این مقادیر وهمچنین ضریب تبدیل انرژی (CF) هر منطقه، مشخص گردید که شهر تبریز نسبت به ۹ شهر دیگر ضریب تبدیل انرژی بالاتری دارد و شهر تبریز برای احداث نیروگاه فتوولتائیک انتخاب می‌گردد. در ادامه به امکان‌سنجی اقتصادی طرح پرداخته شد که بدین منظور،احداث نیروگاه خورشیدی ۲ مگاواتی و ۱۰۰ مگاواتی، در شرایط آب و هوایی شهر تبریز در نرم افزار RETScreen شبیه سازی شد و در آمد سال اول نیروگاه ۲ مگاواتی ۲۷۵,۶۲۵دلار و درآمد نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی در سال اول ۱۲,۳۳۰,۵۷۶دلار محاسبه شده است و نتایج حاکی از آن است که هرچه جهت تامین برق به سمت نیروگاه های تجدید پذیر پیش برویم علاوه بر کاهش مسائل و مشکلات زیست محیطی، به ازای هر مگاوات نصبی می توان سبب اشتغال ۱۱ نفر شد. در محاسبات انجام شده، دوره بازگشت سرمایه نیروگاه ۲ مگاواتی ۳ سال و برای نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی ۳/۷ سال می‌باشد. طبق این نتایج می-توان گفت که این طرح از نظر اقتصادی توجیه پذیر است و امکان پیاده‌سازی را دارند با توجه به یافته های پژوهش می توان گفت که اجرای این پژوهش از نظر مالی، صرفه اقتصادی دارد و می تواند سود دهی بالایی را در طولانی مدت ارائه دهد و همچنین از نظر زیست محیطی در کاهش الودگی و همچنین کاهش مصرف آب، نقش قابل توجهی دارد. با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌شود که در پژوهش های آتی با استفاده از الگوریتم های تکاملی به تعیین بهینه ترین مقدار اندازه نیروگاه و مشخص کردن مکان دقیق احداث نیروگاه در تبریزوهمچنین هزینه تاسیس پرداخته شود.

منابع

اسدی، مهدی و خورشید دوست، علی محمد. (۱۳۹۸). مکانیابی نیروگاه های بادی در استان آذربایجان شرقی با استفاده از روش AHP. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*, ۲۳(۷۰), ۱۰۱-۱۲۲.

بهمنی, مرضیه و بهرادمهر، نفیسه. (۱۳۹۵). ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در روستاهای مناطق جنوبی ایران. *مجله تحقیقات اقتصادی*, ۵۱(۲), ۳۰۷-۴۲۶.

پناهی، حسین، محمدزاده، پرویز و اکبری، اکرم. (۱۳۹۳). رابطه بین تقاضای انرژی و حمل‌ونقل خانوارهای شهری و آلودگی محیط زیست از طریق انتشار گازهای گلخانهای در استان‌های ایران. *جغرافیا و برنامه ریزی*, ۱۸(۵۰), ۲۹-۵۳

توکلی نیا جمیله, & شالی محمد. (۲۰۱۱). نظام شهری استان آذربایجان شرقی.

جهانبخش اصل، سعید، اسدی، مهدی و اکبری، الهه. (۱۳۹۵). پتانسیل‌سنجی نیروگاه بادی با استفاده از روش Fuzzy-AHP در محیط GIS (مطالعه موردی: شمال‌شرق کشور). *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*, ۲۰(۵۶), ۵۵-۷۲.

شکوری گنجوی, حامد, کاظمی, عالیه, عبداله پور, سپهر, & گلدانساز. (۱۳۹۹). ارزیابی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تولید برق از تکنولوژی‌های تجدیدپذیر و گازی. *نشریه انرژی ایران*, ۲۳(۳), ۷-۳۳.

محمدحسینی ناهید, رباطی مریم, وعمیدپور مجید. (۱۳۹۸). ارزیابی اثرهای محیط زیستی احداث نیروگاه های تجدیدپذیر خورشیدی–بادی مطالعه موردی: منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان.

طاحونی, ارگانی. (۱۳۹۹). مطالعه و تحلیل مکان‌گزینی نیروگاه‌های خورشیدی در استان آذربایجان شرقی. *پژوهش های جغرافیای طبیعی*, ۵۳(۲), ۱۷۷-۱۹۴.

محمودزاده, حسن, پویان جم, آذر, & خورشید دوست. (۱۴۰۱). ارزیابی کیفیت زیبایی‌شناختی چشم‌اندازهای طبیعی مبتنی بر GIS (نمونهٔ موردی: شهرستان ورزقان). *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*, ۱۲(۴۵), ۱-۲۲.

محمودزاده, حسن, صمدی, محمد و پایدا, مجید. (۱۴۰۲). کاربرد شبکهٔ عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی در ارزیابی آلودگی هوای کلانشهر تبریز. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*, ۲۷(۸۶), ۱۶۷-۱۸۴.

محمودزاده, حسن, پویان جم, آذر و خورشید دوست، محمد حسن. (۲۰۲۲). ارزیابی کیفیت زیبایی‌شناختی چشم‌اندازهای طبیعی مبتنی بر GIS (نمونهٔ موردی: شهرستان ورزقان). *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*, ۱۲(۴۵), ۱-۲۲.

مدی. (۱۴۰۰). امکان سنجی در انتخاب زمین برای استقرار نیروگاه برق فتوولتائیک در مقیاس کوچک. *نشریه انرژی های تجدیدپذیر و نو*, ۸(۱), ۱۰۲-۱۱۲

هوشنگی، نوید,و آل شیخ، علی اصغر. (۱۳۹۶). پتانسیل سنجی احداث نیروگاه های خورشیدی در ایران با روش های تاپسیس، فازی تاپسیس و فازی سوگنو.

Akkas, O. P., Erten, M. Y., Cam, E., & Inanc, N. (2017). Optimal site selection for a solar power plant in the Central Anatolian Region of Turkey. *International Journal of Photoenergy*, *2017*(1), 7452715.

Asadi, M.& Mohammad Khurshiddoost, A. (2018). Location of wind power plants in East Azarbaijan province using AHP method. Geography and Planning, 23(70), 101-122(*inpersian*).

Bahmani, B. (2016). Economic evaluation of the use of solar energy in the villages of southern regions of Iran. Journal of Economic Research, 51(2), 307-426 *(inpersian)*.

Bayer, B., Matschoss, P., Thomas, H., & Marian, A. (2018). The German experience with integrating photovoltaic systems into the low-voltage grids. Renewable energy, 119, 129-141.

Choi, Y., Suh, J., & Kim, S. M. (2019). GIS-based solar radiation mapping, site evaluation, and potential assessment: A review. Applied Sciences, 9(9), 1960.

Esfandiari, A., rangzan, K., & Sabri, Azim. Fatahi Moghadam, Mehdi. (1390). Potential measurement of the construction of solar power plants by examining climatic parameters in Khuzestan province using GIS, National Geomatics Conference *(inpersian)*.

Hartvigsson, E., Odenberger, M., Chen, P., & Nyholm, E. (2021). Estimating national and local low-voltage grid capacity for residential solar photovoltaic in Sweden, UK and Germany. *Renewable Energy*, *171*, 915-926.

Hekmat, V., & Kalantar,V. (2014). Technical and economic study of the use of photovoltaic electricity in Bafaq using RETscreen software. https://civilica.com/doc/311320/

Hoshangi, N. & Al-Sheikh, A. A. (2017). Potential assessment of the construction of solar power plants in Iran with TOPSIS, Fuzzy TOPSIS and Fuzzy Sogno methods. Geography and Planning, 59(21), 303-327*(inpersian).*

Hiremath, R. B., Shikha, S., & Ravindranath, N. H. (2007). Decentralized energy planning; modeling and application—a review. Renewable and sustainable energy reviews, 11(5), 729-752.

Jahanbakhsh Asl, S., Asadi, M., and Akbari, E., (2015). Potential measurement of wind power plant using Fuzzy-AHP method in GIS environment (case study: Northeast of the country). Geography and Planning, 56(20), 55-72. https://civilica.com/doc/1313699 *(in persian).*

Junfeng, L., & Runqing, H. (2003). Sustainable biomass production for energy in China. Biomass and Bioenergy, 25(5), 483-499.

Hu, W., & Deng, Z. (2023). A review of dynamic analysis on space solar power station. Astrodynamics, 7(2), 115-130.

Islam, M. R., Aziz, M. T., Alauddin, M., Kader, Z., & Islam, M. R. (2024). Site suitability assessment for solar power plants in Bangladesh: A GIS-based analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approach. *Renewable Energy*, *220*, 119595.

Jing-hu, G., Yong, L., Jun, W., & Lund, P. (2023). Performance optimization of larger-aperture parabolic trough concentrator solar power station using multi-stage heating technology. Energy, 268, 126640.

Kittisontirak, S., Bupi, A., Chinnavornrungsee, P., Sriprapha, K., Thajchayapong, P., & Titiroongruang, W. (2016). An improved PV output forecasting model by using weight function: a case study in Cambodia. *International Journal of Photoenergy*, *2016*(1), 2616750.

Khoshakhlagh, F., Roshan, Gh., Borna, R. (2008). Location of solar power plants using climatic parameters, Geographic Information Quarterly. 7 (1): 57-41*(in persian).*

Khosh Akhlaq, R., Sharifi, A., & Kochzadeh, M. (2005). Economic evaluation of using solar energy compared to diesel power plant. Iran Economic Research, 7(24), 171-192.

Mahdavi Adeli, M H. Salimifar & M. Qazalbash, A. (2013). Economic evaluation of the use of solar electricity (photovoltaic) and fossil electricity in domestic use (a case study of a three-unit complex in Mashhad city), Scientific-Research Journal of Economic Policy, 6 (11): 123-147*(in persian).*

Medi, H. (2021). Feasibility Study on Site Selection for Installing a Smal Scale PV Plant. Journal of Renewable and New Energy, 8(1), 102-112*(in persian).*

Mohammad Hosseini, N. Rabati, M. Omidpo, M. (2018). Evaluation of the environmental effects of the construction of solar-wind renewable power plants, a case study: Salafchagan Special Economic Zone. Environmental science. 17 (4): 212-93 *(in persian).*

Nwaigwe, K. N., Mutabilwa, P., & Dintwa, E. (2019). An overview of solar power (PV systems) integration into electricity grids. Materials Science for Energy Technologies, 2(3), 629-633.

Nguyen, N. Q., Bui, L. D., Van Doan, B., Sanseverino, E. R., Di Cara, D., & Nguyen, Q. D. (2021). A new method for forecasting energy output of a large-scale solar power plant based on long short-term memory networks a case study in Vietnam. *Electric Power Systems Research*, *199*, 107427.

Pattanaik, S. S., Sahoo, A. K., Panda, R., & Behera, S. (2024). Life Cycle Assessment and Forecasting for 30kW Solar Power Plant using Machine Learning Algorithms. *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 100476.

Shakuri Ganjavi, H., Kazemi, A., Abdullah Pour, Sepehr. Guldansaz, Seyyed Mohammadreza. (2019). Economic, social and environmental evaluation of electricity production from renewable and gas technologies *(in persian).*

Sun, Y., Zhu, D., Li, Y., Wang, R., & Ma, R. (2023). Spatial modelling the location choice of large-scale solar photovoltaic power plants: Application of interpretable machine learning techniques and the national inventory. *Energy Conversion and Management*, *289*, 117198.

Wang, H., Zhang, N., Du, E., Yan, J., Han, S., Li, N., ... & Liu, Y. (2023). An adaptive identification method of abnormal data in wind and solar power stations. Renewable Energy, 208, 76-93.

Zsiborács, H., Vincze, A., Háber, I., Pintér, G., & Hegedűsné Baranyai, N. (2023). Challenges of Establishing Solar Power Stations in Hungary. Energies, 16(1), 530.