

Technical And Economic Feasibility of Saving Energy Consumption Through Solar Cells (Case Study: Water and Waste Company of Mashhad)

Javad Barati ¹

Maryam Rasoulzadeh^{1*2}

Mahshid Sami ³

Alireza Sedeqian ⁴

Nahid Rajabzadeh⁵

1-Assistant Professor, Economics Department, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran. **Email:**j_baraty@acecr.ac.ir, **ORCID:**0000-0001-7776-2394

2-Ph. D Candidate of Economics, Economics Research Department, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran. **Email:**Maryam.Rasoulzadeh@mail.um.ac.ir, **ORCID:** 0000-0001-7417-0377

3-Master of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. **Email:** mahshid77.sami@gmail.com, **ORCID:** 0009-0000-3348-6869

4-Master of Civil Engineering, Director of Energy Office of Mashhad Water and Wastewater Company, Mashhad, Iran. **Email:** sedghian@abfamashhad.ir, **ORCID:** 0009-0004-7913-1026

5-PhD in Economics, Expert of Water and Wastewater Company of Mashhad, Mashhad, Iran. **Email:** rajabzadehn@abfamashhad.ir, **ORCID:** 0009-0008-9001-2166

Abstract

Renewable energies are currently showing an increasing trend in the share of creating access to energy. The present study was conducted with the aim of investigating the economic and technical feasibility of producing sustainable energy using solar panels in order to investigate energy savings in a building. In order for the results to be generalizable to any condition and any location, an attempt was made to formulate a precise formulation of technical and economic principles with the help of scientific references and to serve as the basis for calculations. The method used in the study is the estimation of annual energy from solar panels (GPi) and its economic analysis based on the financial analysis indicators NPV and IRR. The sample location implemented in this study is the building of Water and Waste Company of Mashhad. The results showed that the cost price per kilowatt-hour in this method in 1402 was 86,446.67 Rls, which was higher than the government's purchase rate for distributed electricity (21,000 Rls). The calculations showed that the implementation of this plan, given the sample conditions, was not economically justified and had a negative NPV and its payback period was very long. Therefore, it is necessary to reduce the cost price by selecting optimal solutions and suggestions have been made to improve it. In the example described, if in the reverse calculations, it is assumed that the payback period and the IRR desired by the investor are 5 years and 40%, respectively, the results show that the electricity purchase tariff should be 360,000 Rls to provide these conditions and encourage the investor to implement it.

Keywords: Solar Energy production, Water and sewage company, Technical and economic model.

JEL Classification: D04, O13, Q4, P28

¹ *Postal Address: Department of Economics, ACCER, Mashhad, Iran.

Mobile Number: 09151199814 **Email:** Maryam.Rasoulzadeh@mail.um.ac.ir

Extended Abstract

1. Introduction

Renewable energies can make a significant contribution to providing access to energy and water worldwide. In many parts of the world that suffer from energy poverty, there are significant sources of renewable energy. It is worth noting that the majority of new renewable capacities are photovoltaic power plants. The main objective of this research is to simultaneously assess the technical and economic feasibility of generating electricity from solar energy in the Mashhad Water and Wastewater Company building.

2. Material and Method

Simultaneously with the study of solar energy, from an economic perspective, a topic called solar energy economics also emerged, which originated in the 1970s, coinciding with the oil shock of 1973. In fact, at that time, solar energy was considered an alternative to fossil energy because this type of energy reduced the cost of raw materials to zero and had the ability to reduce macro costs (Mahdavi Adeli et al., 2014). Also, based on theories related to energy economics and as stated by the International Energy Agency (2020), renewable energies reduce long-term costs by reducing dependence on fossil fuels and prevent fluctuations in oil and gas prices. If the theories related to it are viewed from a cost-benefit perspective, it should be said that initial investment in clean energy, despite the high initial fixed capital, is economically justified in the long term due to the reduction in operating and environmental costs.

The annual electricity generation potential for a selected area can be calculated based on the annual average solar radiation per unit area, the available area, and the efficiency of the solar energy conversion system.

$$GP_i = \sum_{i=1}^n A_i \times R_i \times AF \times \eta_{Tot} \quad (1)$$
$$\eta_{Tot} = \eta_{Mod} \times \eta_{TH} \times \eta_{AZ} \times \eta_{Inst}$$
$$\eta_{Inst} = \eta_{Ref} \times \eta_{Dust} \times \eta_{DC} \times \eta_{Inver}$$

GP_i = Geographic potential of solar power generation in panel i in the grid

A_i Area of each grid panel (square meter)

R_i Average annual solar radiation in cell i (kWh/square meter)

AF is the area factor that shows what fraction of the calculated area can be covered by solar panels and is chosen to be equal to 70% based on the maximum land covered and the least shadow created.

$$\eta_{Tot} = \eta_{Mod} \times \eta_{TH} \times \eta_{AZ} \times \eta_{Inst} \quad (2)$$

In the above formula;

η_{Tot} : The efficiency of the entire system for converting solar energy into electricity, which includes the following;

η_{Mod} : Efficiency of the photovoltaic module

η_{TH} : Efficiency of temperature changes

η_{AZ} : Efficiency of the angles of placement of the photovoltaic module

$$\eta_{Inst} = \eta_{Ref} \times \eta_{Dust} \times \eta_{DC} \times \eta_{Inver} \quad (3)$$

In the above formula;

η_{Inst} : Efficiency of photovoltaic system connection to the grid and equipment

η_{Ref} : Efficiency of photovoltaic system connection to the grid and equipment affected by light reflection from the module surface

η_{Dust} : Dust efficiency

η_{DC} : Panel efficiency

η_{Inver} : Inverter efficiency

Findings

The results of economic calculations showed that, considering the above-mentioned cases (land area and other cases), the payback period is more than twenty years, and therefore, implementing the project with these sample conditions is not economically viable. In this example, the cost of one kilowatt-hour of electricity was 86,447 Rls. Also, reverse calculations were included in the prepared Excel so that the investor (or the user) could enter his desired payback period and his acceptable IRR rate, and at the output, the average price per kilowatt-hour of electricity that the government should purchase (thousand rials) would be displayed to him, which shows how much the government should increase the tariff per kilowatt of electricity purchased to provide an incentive for investment in this industry. In the example given, the government purchase tariff for each kilowatt-hour is 21,000 Rls. If, in the reverse calculations, it is assumed that the payback period and the investor's desired IRR are 5 years and 40%, respectively, the Excel output shows that the electricity purchase tariff should be 360,000 Rls to meet these conditions.

Conclusions

According to the output of the adaptive economic models that were stated, the results indicate that in the current conditions and considering the current renewable electricity purchase rates, energy production through the installation of solar panels (in the area and number of samples studied) is not economically justified and cannot be considered, but reverse calculations showed that if the electricity purchase tariff is increased by the government, economic justification will improve. This issue has also been mentioned in the research of Yejeon et al. (2025), where the performance of solar panels is affected by their technology, location, and installation conditions. Also, the type of technology used in

the panels is important, the higher the efficiency, the more important it is that the panels available in the Iranian market are not of good quality, and this is also emphasized in the research of Zhao et al. (2025) that the facades insulated with solar photovoltaic vacuum glass have a higher efficiency than their previous generations, and other technical aspects of implementing these projects have also been mentioned in research such as Mohammed et al. (2025), Shabol et al. (2025), Zhang et al. (2025), which is very important and affects the efficiency of the electricity produced. However, on the other hand, it is necessary to mention that in addition to the technical issues and the quality of the installed panels, which affect the amount of electricity produced and its efficiency, the area where the panels are installed has a great impact on the economic efficiency of its implementation. Therefore, implementing solar panels in small areas to supply electricity to a multi-story office building or multi-story residential building in an urban environment is not cost-effective due to the related pollution, and it is better to produce such renewable energy in large areas and They should be implemented in the form of solar panel farms, and for their implementation, suitable installation locations based on environmental conditions (wind and dust, suitable angle of radiation, accessibility, etc.) should be studied in a comprehensive study program at the national or provincial level. Therefore, two important suggestions in this regard are conducting location and feasibility studies at the macro level, and on the other hand, an important suggestion to encourage the production of sustainable energy is the government's electricity purchase rate per kilowatt hour, which should be higher than the cost price to encourage investors to implement it.

Funding: There is funding support by water and waste company of Mashhad.

Conflict of interest: Authors declared no conflict of interest

Authors' contribution: Authors contributed to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

امکانسنجی فنی و اقتصادی صرفه جویی در مصرف انرژی از طریق سولول خورشیدی

(مطالعه موردی: شرکت آبفا مشهد)

جواد براتی^۱، مریم رسول زاده^{۲*}، مهشید سامی^۳، علیرضا صدقیان^۴، ناهید رجب زاده^۵

۱-استادیار، گروه پژوهشی اقتصاد، سازمان جهاددانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

ایمیل: j_baraty@acecr.ac.ir کد ارکید: ۲۳۹۴-۷۷۷۶-۰۰۰۱-۰۰۰۰

۲-دانشجوی دکتری اقتصاد، گروه پژوهشی اقتصاد، سازمان جهاددانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران^۲

ایمیل: maryam.Rasoulzadeh@mail.um.ac.ir کد ارکید: ۰۳۷۷-۷۴۱۷-۰۰۰۱-۰۰۰۰

۳-کارشناس ارشد اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

ایمیل: mahshid77.sami@gmail.com کد ارکید: ۶۸۶۹-۳۳۴۸-۰۰۰۹-۰۰۰۰

۴-کارشناس ارشد عمران، مدیر دفتر انرژی شرکت آبفا مشهد، مشهد، ایران.

ایمیل: sedghian@abfamashhad.ir کد ارکید: ۱۰۲۶-۷۹۱۳-۰۰۰۴-۰۰۰۹

۵-دکتری اقتصاد، کارشناس مالی و سرمایه گذاری شرکت آبفا مشهد، مشهد، ایران.

ایمیل: rajabzadehn@abfamashhad.ir کد ارکید: ۲۱۶۶-۹۰۰۱-۰۰۰۸-۰۰۰۹

چکیده

انرژی‌های تجدید پذیر هم اکنون روند رو به افزایشی در سهم ایجاد دسترسی به انرژی را دارا هستند. پژوهش حاضر، باهدف بررسی امکانسنجی اقتصادی و فنی تولید انرژی پایدار با استفاده از پنل خورشیدی به منظور بررسی صرفه جویی در مصرف انرژی در یک ساختمان انجام شد. برای آنکه نتایج، قابل تعمیم به هر شرایطی و هر موقعیتی مکانی و زمانی باشد، سعی گردید که فرمول بندی دقیقی از اصول فنی و اقتصادی به کمک مراجع علمی، تدوین گردد و مبنای محاسبات قرار گیرد. روش مورد استفاده در تحقیق، برآورد انرژی سالانه حاصل از پنلهای خورشیدی (GPi) و تحلیل اقتصادی آن بر اساس شاخصهای تحلیل مالی NPV و IRR می باشد. محل نمونه اجرا شده در این تحقیق، ساختمان شرکت آبفا مشهد می باشد. نتایج نشان داد که بهای تمام شده هر کیلو وات ساعت در این روش در سال ۱۴۰۲ برابر ۸۶۴۴۶٫۶۷ ریال بوده که در مقایسه با نرخ خرید برق پراکنده توسط دولت (۲۱۰۰۰ ریال) رقم بالاتری بوده و محاسبات نشان داد که اجرای این طرح با توجه به شرایط نمونه، دارای توجیه اقتصادی نبوده و دارای NPV منفی است و دوره بازگشت سرمایه آن بسیار طولانی است لذا نیاز است که با انتخاب راهکارهای بهینه، قیمت تمام شده را کاهش داد و برای بهبود آن پیشنهاداتی ارائه شده است. در نمونه بیان شده، اگر در محاسبات معکوس، فرض شود که دوره بازگشت سرمایه و IRR مورد نظر سرمایه گذار به ترتیب برابر ۵ سال و ۴۰٪ باشد، نتایج نشان میدهد که بایستی تعرفه خرید برق برابر ۳۶۰ هزار ریال باشد که این شرایط فراهم گردد و سرمایه گذار تشویق به اجرای آن شود.

کلیدواژه‌ها: تولید انرژی خورشیدی، شرکت آب و فاضلاب، الگوی فنی و اقتصادی.

طبقه بندی JEL: D04, O13, Q4, P28

^۲ نویسنده مسئول: مریم رسول زاده

*آدرس: گروه اقتصاد، جهاددانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران، ایمیل: Maryam.Rasoulzadeh@mail.um.ac.ir

شماره همراه: ۰۹۱۵۱۱۹۹۸۱۴

انرژی‌های تجدید پذیر می‌توانند سهم قابل‌توجهی در ایجاد دسترسی به انرژی و آب در سراسر جهان داشته باشند. در بسیاری از نقاط دنیا که از فقر انرژی رنج می‌برند، منابع قابل‌توجه انرژی تجدید پذیر وجود دارد (انجمن توسعه پایدار^۳، ۲۰۱۹). نکته شایان توجه این است که بخش اعظم ظرفیت‌های جدید تجدیدپذیر، نیروگاه‌های فتوولتائیک^۴ هستند (انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر^۵، ۲۰۱۹). علت توجه به تکنولوژی فتوولتائیک، خواص منحصر به فرد آن است، که علت آن شامل؛ (۱) تولید برق فتوولتائیک هم‌اکنون ارزان‌ترین گزینه برای تولید برق منفصل از شبکه در نقاط دورافتاده می‌باشد، (۲) تکنولوژی فتوولتائیک اصولاً بسیار ماژولار بوده و تولید برق به این روش در مقیاس‌های بسیار کوچک تا بسیار بزرگ میسر می‌باشد، (۳) مدت‌زمان موردنیاز جهت تکمیل پروژه‌های مزرعه خورشیدی در مقایسه با دیگر روش‌های تولید برق کمتر می‌باشد و این پروژه‌ها سریع‌تر به بهره‌برداری خواهند رسید و از سوی دیگر مصرف آب در سیستم‌های فتوولتائیک بسیار کم و قابل‌چشم‌پوشی است (انجمن انرژی‌های تجدید پذیر، ۲۰۲۳).

به‌طور متوسط خورشید در هر ثانیه 1.1×10^{20} کیلووات ساعت انرژی ساطع می‌کند. از کل انرژی منتشرشده توسط خورشید، تنها در حدود ۴۷٪ آن به سطح زمین می‌رسد. این بدان معنی است که زمین در هر ساعت تابشی در حدود ۶۰ میلیون Btu دریافت می‌کند. یعنی انرژی ناشی از سه روز تابش خورشید به زمین برابر با تمام انرژی ناشی از احتراق کل سوخت‌های فسیلی در دل زمین است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در اثر تابش خورشید به مدت چهار روز، می‌توان انرژی موردنیاز یک قرن را ذخیره نمود (صبح و هوشیاری^۶، ۲۰۱۰). این میزان برای کشور ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده شده است که البته بالاتر از میزان متوسط جهانی است و استان خراسان رضوی نیز با داشتن میانگین ۱۹۹ روز آفتابی، ازجمله استان‌های آفتاب خیز کشور و مناسب جهت استفاده از سیستم خورشیدی در نظر گرفته می‌شود. در این میان، شهرستان مشهد نیز یکی از مناطق مستعد استفاده از انرژی خورشیدی است که تعداد روزهای آفتابی و نیمه آفتابی این شهر در سال حدود ۳۱۳ روز است؛ بنابراین تعداد ساعت‌های آفتابی در سال حدود ۱۷۴۲ ساعت است (وزارت نیرو، ۱۴۰۰).^۷ لذا با توجه به این‌که منابع انرژی زیرزمینی با سرعت فوق‌العاده‌ای مصرف می‌شوند و در آینده‌ای نه‌چندان دور چیزی از آن‌ها باقی نخواهد ماند، نسل فعلی وظیفه دارد به آن دسته از منابع انرژی که دارای عمر و توان زیادی هستند روی بیاورد و دانش خود را برای بهره‌برداری از آن‌ها گسترش دهد. فن‌آوری ساده، آلوده نشدن هوا و محیط‌زیست و از همه مهم‌تر ذخیره شدن سوخت‌های فسیلی برای آیندگان یا تبدیل آن‌ها به مواد و مصنوعات باارزش با استفاده از تکنیک پتروشیمی، از عمده دلایلی هستند که لزوم استفاده از انرژی خورشیدی را برای کشور ما آشکار می‌سازد.

بر اساس آخرین ترازنامه انرژی منتشره توسط وزارت نیرو (۱۳۹۹) ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی کل کشور برابر معادل ۴۰۲ مگاوات بوده است. به‌طور خلاصه، کاربرد انرژی خورشیدی در فرایندهای تصفیه فاضلاب بسیار گسترده بوده و انرژی حرارتی و برق خورشیدی را شامل می‌شود؛ اما تولید و استفاده از برق خورشیدی به علت سهل‌الوصول بودن آن بیش از حرارت خورشیدی مورد استقبال قرار گرفته است. تاکنون از برق خورشیدی بیشتر به‌منظور تأمین توان موردنیاز برای پمپاژ و هوادهی فاضلاب استفاده شده است، در کشورهای پیشرفته، استفاده از آن در فرایندهای الکترواکسیداسیون و الکتروکواگولاسیون نیز پیشنهاد و آزمایش شده است.

^۳ United Nations Development Sustainable ۲۰۱۹

^۴ Photovoltaic

^۵ The Institute's Energy Group (IEA)

^۶ Sabah and Hooshyari.

^۷ Ministry of Energy, Office of Improvement and Productivity and Electricity and Energy Economics. A comprehensive guide to the simultaneous production of electricity and heat

از نظر محل نصب پنل‌های خورشیدی، تجربیاتی در رابطه با نصب پنل به صورت شناور بر روی استخرهای فاضلاب وجود دارد که نشان می‌دهد از چند جهت می‌تواند مفیدتر از نصب عادی بر روی زمین باشد. کاربرد حرارت خورشیدی نیز بیشتر در افزایش راندمان فرایند تصفیه فاضلاب و خشک کردن لجن حاصل از تصفیه بوده است (محمودی و همکاران، ۱۴۰۰).

هدف اصلی این پژوهش امکان‌سنجی هم‌زمان فنی و اقتصادی تولید برق از انرژی خورشید در شرکت آب و فاضلاب مشهد است. شایان‌ذکر است که اکثر مطالعات انجام‌شده، در ایران و خارج ایران بیشتر به مباحث فنی تولید انرژی در شرکت‌های آب و فاضلاب، پرداخته‌اند و کمتر پتانسیل سنجی اقتصادی تولید انرژی، تحلیل شده است و همین امر یکی از نوآوری‌های این پژوهش می‌باشد.

۲- ادبیات پژوهش

۲-۱- پیشینه نظری

در اواخر قرن هیجدهم آنتوان لاووازیه توانست درجه حرارتی نزدیک به ۱۷۵۰ درجه سانتیگراد را با استفاده از عدسی‌های محدب به وجود آورد و انرژی خورشیدی بهره گیرد. در اوایل قرن نوزدهم گلخانه‌ها با کمک انرژی خورشیدی توانستند رشد گیاهان را توسعه دهند. قبل از آغاز قرن بیستم انرژی خورشیدی مورد توجه علاقه‌مندان قرار گرفت و تعدادی موتور خورشیدی بزرگ ساخته شد. بین سالهای ۱۹۲۰ تا ۱۹۳۰ آبگرمکن‌های خورشیدی در آمریکا نصب گردید که برخی هنوز هم کار می‌کنند و در همان سالها ساخت این آبگرمکن‌ها در اسرائیل و ژاپن توسعه یافت (ساکو و همکاران، ۱۳۹۵). بعدها پنل‌های خورشیدی به وجود آمدند که انرژی خورشیدی را به برق تبدیل نمودند این پنل‌ها حاوی سلول می باشند. سلول خورشیدی^۸ یک قطعه نیمه‌هادی است که انرژی نور خورشید را مستقیماً به الکتریسیته تبدیل می‌کند. این فرآیند بر اساس اثر فوتوولتائیک^۹ صورت می‌گیرد که در آن فوتون‌های نور با برخورد به ماده نیمه‌هادی (معمولاً سیلیکون)، الکترون‌ها را آزاد کرده و جریان الکتریکی ایجاد می‌کنند. سلول‌های خورشیدی یکی از ارکان اصلی انرژی پاک هستند که با پیشرفت فناوری، روزبه‌روز مقرون به صرفه‌تر و کارآمدتر می‌شوند. ایران با توجه به تابش بالای خورشید (حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال) پتانسیل بالایی برای توسعه این فناوری دارد. که با توجه به شرایط کنونی ایران که ناترازی در زمینه انرژی برق وجود دارد؛ راه‌حلی مناسبی در این زمینه می‌باشد؛ در این راستا، گزارش براتلند^{۱۰} که توسط سازمان ملل در سال ۱۹۸۷ منتشر گردید، بر اساس نظریه توسعه پایدار اشاره دارد که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر موجب تعادل بین رشد اقتصادی، عدالت اجتماعی و حفظ محیط زیست می‌شود (گزارش براتلند^{۱۱}، ۱۹۸۷). همزمان با مطالعه انرژی خورشیدی، از دیدگاه اقتصادی، مبحثی به نام اقتصاد انرژی خورشیدی نیز به وجود آمد که زمان پیدایش آن مربوط به دهه ۷۰ میلادی و مصادف با شوک نفتی سال ۱۹۷۳ می باشد. در واقع در آن زمان به توجه به انرژی خورشیدی به عنوان جایگزین انرژی فسیلی مورد توجه قرار گرفت چرا که این نوع انرژی هزینه ماده خام را صفر نموده و توانایی کاهش هزینه های کلان را دارا بود (مهدوی عادل و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین بر اساس نظریه‌های مرتبط با اقتصاد انرژی و همانگونه که آژانس بین المللی انرژی^{۱۲} (۲۰۲۰) بیان میدارد انرژی‌های تجدیدپذیر با کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، هزینه‌های بلندمدت را کاهش داده و از نوسانات قیمت نفت و گاز جلوگیری می‌کنند. اگر از منظر

⁸ Photovoltaic Cell

⁹ Photovoltaic Effect

¹⁰ Brundtland Commission

¹¹ Brundtland Report

¹² International Energy Agency IEA

هزینه و فایده^{۱۳} به نظریه های مرتبط با آن نگریسته شود باید گفت که سرمایه گذاری اولیه در انرژی های پاک با وجود بالا بودن سرمایه ثابت اولیه، در بلندمدت به دلیل کاهش هزینه های عملیاتی و محیط زیستی، توجیه اقتصادی دارد.

۲-۲- پیشینه تجربی

در پژوهشی که توسط محمودی و همکاران (۱۴۰۰)، با تکیه بر شرایط آب و فاضلاب در ایران انجام شد، کاربرد انرژی خورشیدی در تأسیسات فاضلاب در دو قسمت تجارب خارج و داخل کشور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد ۱۶۵۲ کیلووات پنل فتوولتائیک در بدنه شرکت های آب و فاضلاب شهری نصب شده که چیزی در حدود یک دهم درصد از مصرف سالانه برق در این بخش را پوشش می دهد. طاهری بازخانه و همکاران (۱۴۰۳)، در پژوهشی، بیان داشتند که تدوین سیاست هایی هدفمند در جهت کاهش شدت مصرف انرژی و نیل به توسعه پایدار در اقتصاد ایران مهم است و این بیان آنان، می تواند در این مسیر تبیین گردد که کاهش شدت مصرف از طریق انرژی های تجدیدپذیر به ویژه خورشید میتواند مد نظر قرار گیرد. همچنین در تحقیقی، امکانسنجی تولید برق از پنل روی پشت بام در خوزستان توسط عساکره و همکاران (۱۳۹۵) بررسی گردید و نشان داد که امکان تولید برق در پشت بام واحدهای مسکونی روستایی این استان برابر ۷۶۶.۵ گیگاوات ساعت در سال است. همچنین در تحقیقی دیگر این محقق نشان داد که پتانسیل تولید برق خورشیدی در راستای امنیت انرژی مهم است که به وسیله آن می توان از تمرکز پخش غیریکنواخت نیروگاه های برق جلوگیری کرد و امکان کاهش آلاینده های هوا به میزان ۱۰۹۳۴۶ تن در سال در شهر اهواز وجود دارد.

مطالعات متعددی نیز در خارج از ایران انجام شده است از جمله؛ یجنون^{۱۴} و همکاران (۲۰۲۵)، به بررسی صرفه جویی در انرژی گرمایشی با استفاده از سلول خورشیدی پرداختند، آنان بیان داشتند که در میان انواع مختلف منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی حرارتی خورشیدی می تواند به صورت اقتصادی برای گرمایش فضا و آب گرم مصرفی مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، عملکرد آن به طور قابل توجهی تحت تأثیر جهت و محل قرارگیری پنل ها و همچنین شرایط آب و هوایی قرار می گیرد. بنابراین، پیش بینی دقیق سیستم های حرارتی خورشیدی برای اطمینان از قابلیت اطمینان و پایداری این فناوری ضروری است. برای ارزیابی صرفه جویی در مصرف انرژی گرمایشی با اعمال مدل پیش بینی شبکه عصبی مصنوعی به ساختمان های هدف، پنج مورد انتخاب شد. مشخص شد که موارد اول و دوم در مقایسه با مورد پایه، حدود ۱۴٪ نرخ صرفه جویی در مصرف انرژی را نشان می دهند. موارد سوم و چهارم در مقایسه با مورد پایه، حدود ۴۳٪ نرخ صرفه جویی و در مقایسه با مورد اول و دوم، حدود ۳۴٪ نرخ صرفه جویی را نشان می دهند. ژائو^{۱۵} و همکاران (۲۰۲۵)، در تحقیق خود بیان داشتند که ساختمان ها به دلیل اتلاف قابل توجه انرژی از طریق پوسته های ساختمان، به طور قابل توجهی بر مصرف انرژی جهانی و انتشار کربن تأثیر می گذارند. افزایش بهره وری انرژی نمای ساختمان، که یکی از اجزای اصلی پوسته های ساختمان است، برای رسیدگی به این موضوع ضروری است. نماهای عایق بندی شده با شیشه خلأ فتوولتائیک خورشیدی (SVG) با ترکیب تولید برق با عایق حرارتی برتر، به عنوان یک راه حل بالقوه ظاهر می شوند. نتایج تحقیق نشان می دهد که نماهای عایق بندی شده با SVG در کاهش بارهای گرمایشی مؤثرترین هستند و در کاهش بارهای سرمایشی پس از دیوارهای RC در رتبه دوم قرار دارند، در حالی که آسایش حرارتی بهینه را نیز فراهم می کنند. موهامد^{۱۶} و همکاران (۲۰۲۵)، به بررسی بهینه سازی عملکرد یک نیروگاه فوق بحرانی با کمک انرژی خورشیدی در حالت نیمه باری و با صرفه جویی در مصرف سوخت پرداختند آنان بیان داشتند که

¹³ Cost-Benefit Analysis

¹⁴ Jeon

¹⁵ Zhou

¹⁶ Mohamed

انرژی خورشیدی یک منبع انرژی پاک فراوان و پایدار است که پتانسیل کاهش قابل توجه انتشار گازهای مضر از نیروگاه‌های حرارتی سنتی را دارد. یکی از روش‌های نوآورانه برای ترکیب انرژی خورشیدی با نیروگاه‌های مرسوم، استفاده از نیروگاه خورشیدی (SAPP) است. این سیستم از انرژی خورشیدی برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود و در نتیجه راندمان حرارتی را افزایش داده و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به حداقل می‌رساند. در تحقیق حاضر، عملکرد نیروگاه فوق بحرانی خورشیدی (SASPP) شبیه‌سازی، تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که با استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت اصلی برای SASPP در دمای ۵۰٪ بار جزئی و دمای HTF بین ۳۴۰ تا ۳۸۰ درجه سانتیگراد، دمای ورودی بهینه ECO از ۳۰۹ تا ۳۴۹ درجه سانتیگراد متغیر است که منجر به صرفه‌جویی در مصرف سوخت به میزان ۱۰.۲ تا ۱۸.۵ درصد می‌شود. شبول^{۱۷} و همکاران (۲۰۲۵) به بررسی دیدگاه‌های گزینه جدید انرژی خورشیدی برای تولید برق مسکونی پایدار و ارزیابی فنی-اقتصادی مقایسه‌ای سیستم‌های فتوولتائیک و خورشیدی پرداختند. آنان بیان داشتند که فناوری‌های حرارتی خورشیدی، به ویژه سیستم‌های انرژی خورشیدی متمرکز (CSP) می‌توانند برای تأمین انرژی با هزینه‌های کمتر استفاده شوند. این مطالعه یک ارزیابی فنی-اقتصادی مقایسه‌ای جدید را از یک سیستم موتور استرلینگ بشقابی خورشیدی (SDSE) که به تازگی توسعه یافته و یک سیستم فتوولتائیک (PV) معمولی برای تولید برق مسکونی انجام داد. تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای نشان می‌دهد که SDSE از نظر راندمان، تولید انرژی و مقرون به صرفه بودن، با LCOE (۰.۱۰۴ دلار در هر کیلووات ساعت در مقابل ۰.۳۹۶ دلار در هر کیلووات ساعت) دارای دوره بازگشت سرمایه کوتاه‌تر (۰.۶ در مقابل ۱ سال)، تولید انرژی سالانه بالاتر (۱۴۶ مگاوات ساعت در مقابل ۹.۲۴ مگاوات ساعت) و راندمان نیروگاه بیشتر (۲۷.۰۳٪ در مقابل ۲۰.۷٪)، در مقایسه با سیستم PV، برتری دارد، در حالی که به مساحت کمتر (۱۸.۹۲ متر مربع در مقابل ۲۴.۶۹۷ متر مربع) و مازول‌های کمتر (۲ در مقابل ۱۱) نیز نیاز دارد. ژان^{۱۸} و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی سیستم ترکیبی سرمایش تابشی روزانه و سیستم هیبریدی فتوولتائیک (حرارتی خورشیدی) برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها پرداختند آنان بیان داشتند که «حرارت خورشیدی، فتوولتائیک و سرمایش تابشی»^{۱۹} سه روش اصلی برای برداشت تابش خورشیدی و سرمای کیهانی برای صرفه‌جویی در انرژی ساختمان و کاهش انتشار کربن هستند. در این راستا، سیستم هیبریدی خورشیدی فتوولتائیک یا حرارتی (PV/T) به دلیل ساختار فشرده و راندمان بالای انرژی، به طور ویژه مورد توجه قرار گرفته است. نتایج پیش‌بینی سالانه نشان داد که سیستم PV/T-RC می‌تواند گرمایش، سرمایش و برق مداوم را برای ساختمان‌ها در مناطقی با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد فراهم کند. ژانگ^{۲۰} و همکاران (۲۰۲۵)، در مورد بهینه‌سازی چند هدفه سایه‌بان خورشیدی عمودی و افقی در ساختمان‌های مسکونی برای افزایش توان خروجی و در عین حال کاهش مصرف برق سالانه بررسی انجام دادند آنان بیان داشتند که یکی از استراتژی‌های مؤثر برای کاهش مصرف انرژی مسکونی، دستگاه‌های سایه‌بان است. دستگاه‌های سایه‌بان را می‌توان در مجاورت پنجره‌ها در جهت‌های عمودی یا افقی نصب کرد تا میزان نور خورشید ورودی به ساختمان را تنظیم کند. این مطالعه بر روی دستگاه‌های سایه‌بان فتوولتائیک (PVSD) تمرکز دارد که عملکردهای سایه‌بان سنتی را با فناوری فتوولتائیک (PV) ترکیب می‌کنند PVSD ها برای جلوگیری از تابش بیش از حد نور خورشید و تبدیل تابش خورشیدی فرودی به برق طراحی شده‌اند و در نتیجه به دو هدف صرفه‌جویی در انرژی و تولید انرژی تجدیدپذیر خدمت می‌کنند. این کار، بهینه‌سازی چندهدفه پیکربندی‌های PVSD را برای به حداکثر رساندن توان خروجی و کاهش

¹⁷ Shboul

¹⁸ Xuan

¹⁹ Solar thermal, photovoltaic, and radiative cooling

²⁰ Zhang

مصرف برق سالانه در ساختمان‌های مسکونی ارائه می‌دهد. چن^{۲۱} و همکاران (۲۰۲۴)، به بررسی تولید همزمان برق و آب خورشیدی از طریق ادغام سلول‌های خورشیدی نیمه‌شفاف و نمک‌زدایی سطحی چند مرحله‌ای، پرداختند آنها بیان داشتند که کمبود انرژی و کمبود آب شیرین از چالش‌های حیاتی برای توسعه پایدار جامعه هستند. سیستم هیبریدی فتوولتائیک-حرارتی (PVT) با مهار انرژی خورشیدی برای تولید همزمان برق و آب، یک استراتژی امیدوارکننده برای صرفه جویی در انرژی، ارائه می‌دهد. در این پژوهش، یک سیستم یکپارچه PVT جدید پیشنهاد شده است که سلول‌های خورشیدی نیمه شفاف و دستگاه‌های تقطیر بین سطحی چند مرحله‌ای را برای به حداکثر رساندن استفاده از طیف خورشیدی ترکیب می‌کند و امکان تولید همزمان کارآمد برق و آب شیرین را فراهم می‌کند. نتایج تجربی، راندمان بالای تبدیل انرژی خورشیدی به بخار ۲۱۰٪ با نرخ تولید ۳.۱۷ لیتر بر متر مربع ساعت را نشان می‌دهد، در حالی که راندمان الکتریکی بدون افت ۱۹.۵۷٪ را حفظ می‌کند. اکیکا^{۲۲} و همکاران (۲۰۲۵)، به بررسی نقشه راه توسعه پایدار با استفاده از تولید برق از انرژی خورشیدی در تانزانیا پرداختند آنان اشاره داشتند که پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها نیازهای فعلی انرژی را برآورده می‌کند، بلکه از توسعه بلندمدت نیز پشتیبانی می‌کند و به نفع کشور و شهروندان آن خواهد بود. هدف از این تحقیق شناسایی و بررسی پیامدهای زیست‌محیطی انرژی خورشیدی، مقررات دولتی، پروژه‌های انرژی خورشیدی، بهبود دسترسی به انرژی، چالش‌ها و امکانات آینده برای انرژی خورشیدی و بررسی نقشه راه برای بهره‌برداری کامل از انرژی خورشیدی برای تسهیل توسعه پایدار به منظور دستیابی به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد بود. یافته‌ها نشان داد که استفاده از انرژی خورشیدی به طور متوسط گسترش یافته است، اما مزایای آن هنوز به طور کامل مورد استفاده قرار نگرفته است. با این وجود، باید تلاش‌های بیشتری برای کاهش برخی چالش‌ها مانند اتصال شبکه، اجرای کامل سیاست‌ها و ایجاد ساختارها، منابع و فناوری‌ها برای مهار کامل انرژی خورشیدی برای تولید برق سبز و سازگار با محیط زیست و توسعه پایدار در تانزانیا انجام شود. در جمع بندی مطالعات و پیشینه انجام شده باید عنوان نمود که انرژی‌های تجدیدپذیر روند رو به رشدی را در جهان دارا بوده و برای حل کمبود انرژی‌های فسیلی، بایستی به سمت توسعه آنها حرکت نمود برای اقتصادی بودن این فرآیند، نیاز است که برخی مشخصات کیفی و فنی در اجرای آنها لحاظ گردد.

۳-روش پژوهش

در ادامه ابتدا شیوه محاسبه فنی در مورد برآورد انرژی تولیدی از هر پنل خورشیدی آورده می‌شود و سپس شیوه محاسبات اقتصادی بیان می‌گردد.

۳-۱-شیوه محاسبات فنی برآورد میزان تولید برق

عوامل زیادی روی میزان برق تولیدی پنل‌های خورشیدی اثرگذار است اما مهم‌ترین فاکتورها در محاسبه نیروی خروجی یک پنل خورشیدی عبارت‌اند از: (۱) کارایی پنل خورشیدی به چه میزان است؟ (۲) پنل‌ها در چه موقعیت مکانی قرار گرفته‌اند؟ (چه مقدار آفتاب روی پنل می‌تابد؟) (۳) جهت نصب پنل‌ها به کدام طرف می‌باشد؟

به‌طور حتم، متغیرهای دیگری هستند که می‌توانند عدد نهایی را تغییر دهند. اما سه فاکتور بالا، مهم‌ترین مواردی هستند که باید لحاظ گردد. مقدار متوسط نیروی تولیدشده توسط هر پنل خورشیدی، عددی بین ۲۵۰ تا ۳۷۰ وات است. اما مقدار برق تولیدشده روی این عدد ثابت نیست. متغیرهای دیگر، روی این امر تأثیر می‌گذارند. عددی که بر روی پنل‌ها به‌عنوان توان پنل بیان شده است،

²¹ Chen

²² Okika

مقداری است که یک پنل خورشیدی، در شرایط ایده آل (و استاندارد) خروجی خواهد داد. شرایط ایده آل آن است که، توسط آزمایشگاهی که پنل‌های خورشیدی را تست می‌کند، ارائه شده و شرایط استاندارد تست (STC) نام دارد. شرایط استاندارد یعنی پنل خورشیدی در دمای ۲۷ درجه فارنهایت (۲۵ درجه سانتی‌گراد) در حال تولید است و در هر ۱ مترمربع، ۱۰۰۰ وات نور آفتاب به آن می‌تابد. بنابراین، در این شرایط ایده آل است که یک پنل ۲۵۰ واتی، ۲۵۰ وات برق تولید می‌کند. از آنجاکه این شرایط همیشه برقرار نیست، لذا توان بیان شده، با آنچه در واقعیت اتفاق می‌افتد متفاوت است و نیاز است تا با فرمول‌هایی مقدار خروجی پنل را تخمین زد. در ادامه سه آیت مهم بالا را توضیح داده و سپس فرمول برای محاسبه توان خروجی ارائه می‌گردد:

(۱) کارایی پنل خورشیدی: اولین جزء از فرمول محاسبه پنل خورشیدی، کارایی است. مقدار وات نشان‌دهنده آن است که یک پنل در شرایط ایده آل، چه مقدار برق تولید می‌کند. اما کارایی بیانگر آن است که آن پنل، چه میزان از نور خورشید را به برقی تبدیل می‌کند که می‌توان از آن استفاده کرد. به عنوان مثال، این که سلول‌های پنل چه مقدار از نور را بازتاب می‌دهند، روی کارایی تأثیر خواهد گذاشت. سلول‌هایی که بازتاب کمتری دارند، نور بیشتری را جذب می‌کنند و کارایی بهتری دارند. همچنین، محیط اطرافی که پنل روی آن نصب است، روی کارایی تأثیر خواهد داشت. مثلاً سایه‌ای که درخت یا ساختمان اطراف روی پنل می‌اندازد، آلودگی و گردوغبار و میزان بارش برف و باران.

(۲) تأثیر موقعیت مکانی و جهت پنل‌ها بر مقدار خروجی: مقدار آفتابی که پنل دریافت می‌کند، از تأثیرگذارترین اجزا در فرمول محاسبه برق حاصل از پنل خورشیدی است. در عرض‌های جغرافیایی شمالی کره زمین، برخی از مناطق به طور متوسط، روزانه فقط ۴ ساعت نور خورشید دارند و در مورد نقاط دیگر، این میزان ۷.۵ ساعت است.

(۳) پنل‌ها رو به کدام جهت نصب باشند: این مورد یکی از متغیرهایی است که تأثیر قابل توجهی، روی میزان خروجی پنل خورشیدی دارد. اگر پنل‌های خورشیدی در جهتی قرار گیرد که آفتاب را دریافت کند، بهترین استفاده را از انرژی خورشیدی خواهند داشت.

لازم به ذکر است که ساتب (سازمان انرژی‌های تجدید پذیر و بهره‌وری انرژی) نیروگاه‌های خورشیدی (فتوولتائیک) را برحسب ظرفیت به دودسته مقیاس کوچک و مگاواتی تقسیم‌بندی می‌کند. هرکدام از این دسته‌ها از نظر قوانین و تعرفه‌های خرید انرژی، متفاوت با دسته دیگر می‌باشد که کاربر باید بر اساس میزان برق تولیدی که در خروجی مشاهده می‌نماید، تعرفه خرید را وارد اعمال نماید. نحوه محاسبه میزان برق تولیدی در ادامه آورده شده است؛

پتانسیل سالانه تولید برق برای یک منطقه منتخب را می‌توان بر اساس میانگین سالیانه تابش خورشید بر واحد سطح، مساحت در دسترس و بازده سامانه تبدیل انرژی خورشیدی محاسبه نمود. از روابط ذیل برای محاسبه پتانسیل سالانه تولید برق استفاده می‌گردد (عاسکره و همکاران، ۲۰۱۶، چرابی و گاستالی، ۲۰۱۱، برگامسکو و اسیناری، ۲۰۱۱)^{۲۳}.

$$GP_i = \sum_{i=1}^n A_i \times R_i \times AF \times \eta_{Tot} \quad (1)$$

$$\eta_{Tot} = \eta_{Mod} \times \eta_{TH} \times \eta_{AZ} \times \eta_{Inst}$$

²³ Asakereh et al., 2016. Bergamasco and Asinari, 2011. Charabi and Gastli, 2011

$$\eta_{Inst} = \eta_{Ref} \times \eta_{Dust} \times \eta_{DC} \times \eta_{Inver}$$

GPi= پتانسیل جغرافیایی تولید برق خورشیدی در پنل i در شبکه

Ai مساحت هر پنل شبکه (مترمربع)

Ri میانگین تابش سالیانه خورشید در سلول i (کیلووات ساعت بر مترمربع)

AF²⁴ عامل سطح است که نشان می‌دهد چه کسری از مساحت محاسبه شده می‌تواند با پنل خورشیدی پوشیده شود و بر اساس بیشترین زمین پوشیده شده و کمترین سایه ایجاد شده، برابر با ۷۰ درصد انتخاب می‌شود.

$$\eta_{Tot} = \eta_{Mod} \times \eta_{TH} \times \eta_{AZ} \times \eta_{Inst} \quad (2)$$

در فرمول بالا؛

η_{Tot} : بازده کل سامانه تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی برق که شامل موارد ذیل است؛

η_{Mod} : بازده مدول فتوولتائیک

η_{TH} : بازده تغییرات دما

η_{AZ} : بازده زوایای قرارگیری مدول فتوولتائیک

$$\eta_{Inst} = \eta_{Ref} \times \eta_{Dust} \times \eta_{DC} \times \eta_{Inver} \quad (3)$$

در فرمول بالا؛

η_{Inst} : بازده اتصال سامانه فتوولتائیک به شبکه و تجهیزات

η_{Ref} : بازده اتصال سامانه فتوولتائیک به شبکه و تجهیزات متأثر از بازتابش نور از سطح مدول

η_{Dust} : بازده گردوخاک

η_{DC} : بازده پنل

η_{Inver} : بازده متناوب ساز

بر اساس مطالعه عساکره و همکاران در سال ۱۳۹۳ و برگاماسکو و اسیناری در سال ۲۰۱۱^{۲۵}، با توجه به قابلیت دسترسی و سلول‌های متداول در داخل کشور، مدل فتوولتائیک با بازده ۱۵ درصد مبنای محاسبات قرار گرفت. مقدار سایر عوامل یادشده بر

²⁴ . Area Factor

²⁵ Asakereh et al., 2016. Bergamasco and Asinari, 2011. Charabi and Gastli, 2011

اساس مطالعات انجام شده، مورد بررسی قرار گرفت که در جدول ۲ نشان داده شده‌اند و بازده کل تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریسیته برابر با ۹.۸۸ درصد به دست آمده است (این مقادیر توسط کاربر می‌تواند تغییر کند).

جدول ۱. بازده سامانه تبدیل انرژی خورشیدی به برق

Tot ^{۲۶}	Inver ^{۲۷}	DC ^{۲۸}	Dust ^{۲۹}	Ref ^{۲۹}	Inst ^{۲۹}	AZ ^{۲۹}	TH ^{۲۹}	Mod ^{۲۹}	بازده
۰.۰۹۸۷	۰.۹۰	۰.۹۸	۰.۹۵	۰.۹۷	۰.۹۷	۰.۹۰	۰.۹۰	۰.۱۵	

منبع: عساکره و همکاران، ۱۳۹۳

۳-۲- روش‌های ارزیابی اقتصادی

در تحقیق حاضر جهت ارزیابی اقتصادی طرح از شاخص‌های ارزش حال خالص فعلی (NPV)^{۲۶}، نرخ بازدهی داخلی (IRR)^{۲۷} و دوره بازگشت سرمایه (ROI)^{۲۸} استفاده می‌شود که هر کدام از شاخص‌ها در ادامه توضیح داده شده است. (لازم به ذکر است که برای ارائه تصویر بهتر از دید یک سرمایه‌گذار، شاخص «ارزش حال جریان نقدی تجمعی»، نیز بیان می‌گردد که زمان برگشت سرمایه را با توجه به نرخ تنزیل و درواقع با توجه به کاهش ارزش پول در آینده، بیان می‌کند).

۳-۲-۱- ارزش فعلی خالص (NPV)

ارزش فعلی خالص برابر با کسر ارزش فعلی درآمدها از ارزش فعلی هزینه‌های یک پروژه است که می‌تواند منفی یا مثبت باشد (رابطه ۴). مثبت بودن آن به معنی این است که حاصل اجرای یک پروژه در یک دوره مشخص سودآور بوده و منفی بودن به معنی زیانده بودن پروژه است (اسکونژاد^{۲۹}، ۲۰۱۱).

در رابطه (۴) نرخ تنزیل، B_t و C_t به ترتیب منافع و هزینه طرح در سال t می‌باشند. NPV از لحاظ جبری می‌تواند صفر باشد مثبت و یا منفی باشد که اگر مثبت شد دارای توجیه اقتصادی است و چنانچه برابر صفر باشد در مورد رد یا قبول انجام طرح مزبور نمی‌توان به روشنی پاسخ گفت و اجرا و عدم اجرای آن تفاوتی ندارد. اگر (NPV) پروژه‌ای منفی شود توجیه اقتصادی ندارد.

$$NPV = \sum \frac{B_t - C_t}{(1+d)^t} \quad (۴)$$

۳-۲-۲- نرخ بازده داخلی (IRR)

منظور از نرخ بازده داخلی نرخ بهره‌ای است که ارزش فعلی درآمدهای یک پروژه را با ارزش فعلی هزینه‌های آن برابر می‌کند (رابطه ۵). اگر نرخ بازده داخلی بزرگتر از نرخ بهره بازار باشد، به معنی سودآور بودن طرح بوده و اگر این نرخ کوچکتر از نرخ بهره بازار باشد به معنی زیانده بودن طرح است (Skonjad, 2011).

$$NPV = \sum \frac{B_t - C_t}{(1+d)^t} = 0 \quad (۵)$$

^{۲۶} Net Present Value

^{۲۷} Internal Return Rate

^{۲۸} Return on Investment

^{۲۹} Skonjad, 2011

اگر نرخ به دست آمده بالاتر از نرخ تنزیل (d) باشد، پروژه دارای توجیه اقتصادی است و اگر کمتر از آن باشد فاقد توجیه اقتصادی است. به طور خلاصه یک پروژه در کلیه نرخ‌های تنزیل کمتر از IRR دارای توجیه اقتصادی و برای کلیه نرخ‌های بالاتر از IRR فاقد توجیه اقتصادی است.

۳-۲-۳- محاسبه دوره بازگشت سرمایه (ROI) با استفاده از روش ارزش فعلی:

ROI همان نسبت سود حاصل از سرمایه‌گذاری به میزان هزینه اولیه است. چنانچه ارزش حال خالص صفر شود به شرطی که عدد تعداد سال (n) مجهول باشد، آنگاه دوره بازگشت سرمایه با برآورد میزان n به دست آمده خواهد آمد (رابطه ۶).

$$\begin{aligned} NPV &= 0 \\ PV_B &= PV_C \\ PV_B - PV_C &= 0 \end{aligned} \quad (۶)$$

۳-۲-۴- محاسبه قیمت تمام شده

برای محاسبه قیمت تمام شده ابتدا بایستی هزینه‌های ثابت، به اقساط یکنواخت سالانه تبدیل شود. محاسبه تبدیل هزینه‌های ثابت (هزینه‌های خرید و تهیه یا هزینه سرمایه‌ای) به اقساط یکنواخت سالانه، از طریق فرمول‌های رابطه (۷) انجام می‌شود.

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad P = \frac{F}{(1+i)^n} \quad (۷)$$

A = ارزش یکنواخت سالانه

P = ارزش حال هزینه‌های ثابت

F = هزینه‌های ثابت (هزینه‌ای که در سال مبنا انجام می‌شود یا همان هزینه‌های خرید و تهیه)

i = نرخ تنزیل (که می‌توان برابر نرخ بهره بانکی در نظر گرفت)

n = سال‌های عمر مفید پروژه

سپس عدد به دست آمده برای «اقساط یکنواخت سالانه هزینه‌های ثابت» با «هزینه‌های متغیر» جمع شده و حاصل جمع آن‌ها، تقسیم بر مقدار تولید برق در یک سال (برحسب کیلووات ساعت) شده تا قیمت تمام شده برای یک کیلووات برق، محاسبه گردد.

۴- یافته ها

برای محاسبه میزان برق تولید شده در روش سلول خورشیدی، اکسلی تهیه گردید که همانند یک نرم افزار، بتوان موارد مرتبط با محاسبه فنی برآورد میزان برق تولیدی را وارد آن نمود و در خروجی، کاربر بتواند میزان برق تولیدی را مشاهده نماید. در اینجا، ابتدا کاربر متراژ محلی که برای نصب پنل‌ها مدنظر دارد را وارد می‌نماید (به عنوان مثال ۲۰۰۰ مترمربع)، سپس مساحت هر پنل مدنظر خود را وارد نموده (Ai) (به عنوان مثال عدد ۱.۸۷)، و ضریب پوشش سطح را نیز وارد اکسل می‌نماید (AF) که معمولاً ۷۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. حال تعداد پنل‌های قابل نصب، در اکسل، محاسبه می‌شود (با توجه به اعداد قبلی؛ تعداد ۷۴۹)، سپس میانگین

تابش خورشید روزانه (R_i) بایستی وارد شود که در ایران بین عدد ۴.۵ تا ۵.۵ کیلووات ساعت در مترمربع است^{۳۰} (در اینجا عدد ۵ وارد شد)، سپس باید بر اساس فرمولی که در قسمت قبل بیان شد بازده کل سامانه تبدیل انرژی خورشیدی به برق (η_{tot}) توسط کاربر محاسبه و وارد شود (در اینجا ۹.۸۸٪ به دست آمد). در این مرحله مقدار برق تولیدی در یک سال در سامانه نصب شده محاسبه می گردد، که با اعداد داده شده، برابر ۱۴۵۴۸۳ کیلووات به دست خواهد آمد این محاسبات در جدول ۲ آورده شده است. (راه دیگر محاسبه برق تولیدی سالانه آن است که^{۳۱} ظرفیت هر پنل به کیلووات (۰.۳۷ کیلووات) ضربدر، تعداد پنل قابل نصب (۷۴۹ عدد) ضربدر تعداد روزهای آفتابی در سال (۳۰۰ روز) ضربدر متوسط تعداد ساعات آفتابی در یک روز (۱۲.۱ ساعت) شود که از این طریق عدد تولید سالانه برابر ۱۵۰۳۷۹ کیلووات به دست می آید که نزدیک به عدد در محاسبه قبلی است، و امکان محاسبه از این روش نیز در اکسل فراهم شده است).

جدول ۲. برآورد میزان برق تولیدی

متر از زمین (م ^۲)	مساحت هر پانل شبکه (متر مربع) A_i	ظرفیت هر پانل (کیلووات)	عامل/ضریب/پوشش سطح-درصد - AF	تعداد پانل قابل نصب
۲۰۰*	۱.۸۷*	۰.۳۷*	۰.۷*	۷۴۸.۶**
میانگین تابش خورشید روزانه (کیلووات ساعت در متر R_i)	تعداد روزهای آفتابی در سال - روز	بازده کل سامانه تبدیل انرژی خورشیدی به برق - η_{tot}	میزان تولید برق سالانه (کیلووات ساعت)	-
۵.۰۱۱*	۳۰۰*	۰.۰۹۸*	۱۴۵۴۸۳**	-

منبع: یافته های تحقیق (*اعدادی که قابل تغییر است و میتواند کاربر آنها را وارد نماید-**) اعدادی که بر اساس فرمولها محاسبه می شود و در خروجی نمایش داده می شود)

لازم به ذکر است که با توجه به اینکه فرض بر آن است، اجرای پروژه، در زمین های متعلق به شرکت آبفا، اجرا می شود، لذا قیمت و زمین پروژه می تواند، صفر لحاظ گردد (هرچند امکان تغییر این آیت در اکسل برای کاربر فراهم شده است). در محاسبات اقتصادی دو عامل مهم را باید کاربر در اکسل وارد نماید که شامل مجموع هزینه های ثابت (یا همان تهیه و خرید) و هزینه های متغیر (یا همان اجرا و بهره برداری) است. در حالت کلی هزینه های ثابت اجرای یک پروژه شامل موارد "زمین و محوطه سازی، ساختمان سازی، تجهیزات و ماشین آلات، تأسیسات و انشعابات، هزینه لوازم اداری و خدمات، هزینه های قبل از بهره برداری." می باشد و هزینه های متغیر نیز شامل "نیروی انسانی، مواد اولیه، انرژی، نگهداری و تعمیرات، استهلاک، هزینه اداری و بیمه" دسته های ذیل است، با توجه به این دو مورد، جداول ۳ و ۴ در ادامه به طور نمونه (برای اجرا در یک زمین متعلق به شرکت آبفا مشهد) برای اجرای یک پروژه تولید برق از پنل های خورشیدی، ارائه می شود.

³⁰ <https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study>

³¹ <https://blog.ecoflow.com/us/how-to-calculate-solar-panel-output/>

<https://www.energysage.com/solar/solar-panel-output/>

جدول ۳. هزینه‌های ثابت اجرای پروژه

ردیف	نوع هزینه	هزینه (هزار ریال)
۱	زمین	۰
۲	محوطه‌سازی	۳,۴۸۹,۰۰۰
۳	ساختمان‌سازی	۱۹۸,۰۰۰
۴	تأسیسات و انشعابات	۵۶,۴۱۷,۰۰۰
۵	هزینه لوازم اداری و خدمات	۴,۰۳۹,۲۴۰
۶	تجهیزات و ماشین‌آلات	۹۱۳,۰۰۰
۷	هزینه‌های قبل از بهره‌برداری	۸۰۰,۰۰۰
	جمع	۶۵,۸۵۶,۲۴۰

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۴. هزینه‌های متغیر اجرای پروژه (سالانه)

ردیف	نوع هزینه	هزینه (هزار ریال)
۱	خرید مواد اولیه	۰
۲	نیروی انسانی	۲,۵۱۷,۳۱۱
۳	هزینه آب، برق و گاز	۷,۹۴۰
۴	نگهداری و تعمیرات	۶,۲۸۴,۴۰۴
۵	استهلاک	۳,۴۶۳,۵۵۴
۶	هزینه اداری و بیمه	۵۸,۲۸۸
	جمع کل	۱۲,۳۳۱,۴۹۷

منبع: یافته‌های تحقیق

همانگونه که بیان شد، فرض شده است که احداث سلول خورشیدی در زمین‌ها و یا در محل‌های ساختمان‌های شرکت آبفا انجام می‌شود لذا، برخی هزینه‌ها در سرمایه‌گذاری می‌تواند در نظر گرفته نشود از آن جمله «زمین، تأسیسات و انشعابات، هزینه لوازم اداری موردنیاز» را می‌توان نام برد، هر کدام از این آیتمها توسط کاربر قابل تغییر است، در جدول شماره ۵ نشان داده شده است که بر حسب نرخ تورم و نرخ تنزیل وارد شده توسط کاربر و همچنین هزینه‌های ثابت و متغیر وارد شده، بهای تمام شده یک کیلو وات ساعت برق برای نمونه وارد شده برابر ۸۶۴۴۶.۶۷ ریال به دست آمده است. حال درآمد حاصل از «استحصال انرژی از پنل خورشیدی» به‌صورت جدول ۶ محاسبه می‌گردد. در جدول ۶ تعرفه خرید، همان‌گونه که قبلاً توضیح داده شد، توسط کاربر وارد می‌شود (بر حسب ظرفیت و نوع نیروگاه فتوولتائیک) که در این جدول نرخ کنونی قیمت خرید برق پراکنده توسط دولت یعنی ۲۱۰۰۰ ریال برای هر کیلو وات ساعت آورده شده است و خروجی به‌صورت درآمد قابل مشاهده است.

جدول ۵. برآورد قیمت تمام شده برق تولیدی

نرخ تورم (درصد)	نرخ تنزیل (درصد)	هزینه ثابت (هزار ریال) - تهیه و خرید	هزینه متغیر (هزار ریال) - اجرا و بهره برداری	بهای تمام شده یک کیلووات ساعت (ریال)
۳۰٪	۲۳٪	۶۵۸۵۶۲۴۰*	۱۲۳۳۱۴۹۷*	۸۶۴۴۶۶۷**

منبع: یافته های تحقیق (اعدادی که قابل تغییر است و میتواند کاربر آنها را وارد نماید)-* اعدادی که بر اساس فرمولها محاسبه می شود و در خروجی نمایش داده می شود)

جدول ۶. درآمدهای سالیانه حاصل از فروش برق

نوع درآمد	کیلووات ساعت	متوسط تعرفه خرید برق پراکنده توسط در سال ۱۴۰۲- ریال	درآمد کل (هزار ریال)
برق تولیدی	۱۴۵,۴۸۳**	۲۱,۰۰۰*	۳,۰۵۵,۱۴۱**

منبع: یافته های تحقیق (اعدادی که قابل تغییر است و میتواند کاربر آنها را وارد نماید)-* اعدادی که بر اساس فرمولها محاسبه می شود و در خروجی نمایش داده می شود)

جدول ۷. جریان هزینه ها، درآمدها، شاخص ارزش حال خالص و IRR در طی بیست سال آینده برای استحصال انرژی از روش پنل خورشیدی (هزار ریال)

سال	هزینه	درآمد	NPV	جریان نقدی تجمعی	ارزش حال جریان نقدی تجمعی
۱۴۰۲	۶۵۸۷۶۲۴۰	۰	-۷.۵۳۵۵۷۹۱۸	-۶۵۸۷۶۲۴۰	-۶۵۸۷۶۲۴۰
۱۴۰۳	۴.۱۶۰۳۰۹۴۷	۴۴۰.۳۹۷۱۶۸۳	-۲۰.۶۱۵۲۸۸۷۸	-۳۶.۷۷۹۳۵۵۰۴	-۷.۱۲۹۲۳۸۴۳۸
۱۴۰۴	۲۶.۲۰۸۴۰۲۳۱	۸۵۹.۵۱۶۳۱۸۷	-۱۷.۶۹۹۵۳۴۶۹	-۲۰.۹۳۶۱۲۵۴۸	-۴.۱۹۱۱۱۴۶۶۸
۱۴۰۵	۱۱.۲۷۰۹۲۳۰۱	۵۴۳.۶۷۱۲۱۴۴	-۶.۷۸۸۵۷۵۰۸	-۸.۱۱۳۹۹۲۷۰۴	-۸.۲۵۳۳۷۲۵۱۴۸
۱۴۰۶	۴۴.۳۵۲۱۹۹۹۱	۸۴۶.۸۷۲۵۷۸۷	-۹۸.۸۸۲۶۸۲۸۱	-۶.۱۴۰۴۸۶۹۰۸	-۲.۳۱۳۷۵۰۸۹۳
۱۴۰۷	۷۸.۴۵۷۸۵۹۸۸	۴۹.۱۱۳۴۳۵۲۳	-۸۳.۹۸۲۱۴۶۲۷	-۵.۱۷۴۹۲۹۳۷۳	-۳۷.۵۸۸۶۰۱۹.۲
۱۴۰۸	۳۵.۵۹۵۲۱۷۸۵	۱۳.۱۴۷۴۶۵۸۱	-۹.۱۰۸۷۲۷۰۲۵	-۹.۲۱۹۷۰۴۵۷۷	-۴.۴۳۹۳۳۲۶۳۱
۱۴۰۹	۹۱.۷۷۳۷۸۳۲۱	۶۴.۱۹۱۷۰۵۵۵	-۵.۱۱۹۸۳۷۶۹۰	-۶.۲۷۷۹۱۲۳۴۳	-۵.۵۰۴۵۸۱۳۶۰
۱۴۱۰	۵۱.۰۵۹۱۸۱۷	۱.۲۴۹۲۱۷۲۲	-۳.۱۳۱۵۸۰۶۶۹	-۱.۳۵۳۵۸۲۴۳۹	-۶.۵۷۲۰۷۲۹۷۱
۱۴۱۱	۸.۱۳۰۷۶۹۳۶۲	۳۷.۳۲۳۹۸۲۳۸	-۸.۱۴۳۹۹۱۹۴۷	-۱.۴۵۱۹۵۳۵۶۳	-۷.۶۴۲۲۱۰۰۷۲
۱۴۱۲	۷.۱۷۰۰۰۰۱۷۱	۵۳.۴۲۱۱۷۷۱۰	-۲.۱۵۷۱۰۹۵۵۹	-۴.۵۷۹۸۳۶۰۲۴	-۱.۷۱۵۳۶۶۶۸
۱۴۱۳	۱.۲۲۱۰۰۰۲۲۳	۶۴.۵۴۷۵۳۰۲۳	-۳.۱۷۰۹۷۳۷۰۱	-۱.۷۴۶۰۸۳۲۲۴	-۱.۷۹۱۸۹۶۶۵۱
۱۴۱۴	۱.۲۸۷۳۰۰۲۹۰	۵.۷۱۱۷۸۹۳۰	-۶.۱۸۵۶۲۶۸۵۹	-۷.۹۶۲۲۰۴۵۸۳	-۹.۸۷۲۱۳۹۴۵۲
۱۴۱۵	۱.۳۷۳۴۹۰۳۷۷	۴۶.۹۲۵۳۲۶۰۹	-۵.۲۰۱۱۱۳۹۳۷	-۱۲۴۳۱۶۲۳۵۱	-۹.۹۵۶۴۲۶۰۸
۱۴۱۶	۳.۴۸۵۵۳۷۴۹۰	۵.۱۲۰۲۹۲۳۹۲	-۹.۲۱۷۴۸۲۳۹۳	-۱۶۰۸۴۰۷۴۴۹	-۱۰۴۵۰۸۵۹۵۳
۱۴۱۷	۳.۶۳۱۱۹۸۷۳۷	۳.۱۵۶۳۸۰۱۱۰	-۴.۲۳۴۷۸۲۳۸۸	-۲۰۸۳۲۲۶۰۷۶	-۱۱۳۸۴۴۵۷۱۴
۱۴۱۸	۵.۸۲۰۵۵۸۳۵۸	۴.۲۰۳۲۹۴۱۴۳	-۴.۲۵۳۰۶۶۹۳۵	-۲۷۰۰۴۹۰۲۹۱	-۱۲۳۶۸۳۷۹۵۲

۱۴۱۹	۱۰۶۶۷۲۵۸۶۶	۴.۲۶۴۲۸۲۳۸۶	-۴.۲۷۲۳۹۲۰۶۶	-۳۵۰۲۹۳۳۷۷۱	-۱۳۴۰۶۰۱۵۵۲
۱۴۲۰	۱۳۸۶۷۴۳۶۲۶	۳.۳۴۳۵۶۷۱۰۲	-۶.۲۹۲۸۱۷۰۰۱	-۴۵۴۶۱۱۰۲۹۴	-۱۴۵۰۰۸۴۸۷۳
۱۴۲۱	۱۸۰۲۷۶۶۷۱۴	۴۴۶۶۳۷۲۳۳	-۵.۳۱۴۴۰۴۳۳۱	-۵۹۰۲۲۳۹۷۷۵	-۱۵۶۵۶۴۸۱۱۹
۱۴۲۲	۲۳۴۳۵۹۶۷۲۸	۹.۵۸۰۶۲۸۴۰۲	-۶.۳۳۷۲۲۰۲۰۸	-۷۶۶۵۲۰۸۱۰۰	-۱۶۸۷۶۶۵۵۰۶

منبع: یافته های تحقیق

با توجه به آنچه در بالا بیان شد، می توان محاسبات جریان نقدی، جریان تجمعی درآمد، شاخص های IRR و NPV و دوره بازگشت سرمایه را مطابق جدول ۷ به دست آورد. نتایج محاسبات اقتصادی نشان داد که با توجه به موارد بالا (سطح زمین در نظر رفته شده و سایر موارد) دوره بازگشت سرمایه بالای بیست سال بوده و لذا اجرای پروژه با این شرایط نمونه در نظر گرفته شده، دارای صرفه اقتصادی نیست. در این نمونه بهای تمام شده یک کیلووات ساعت برق برابر ۸۶۴۴۷ ریال به دست آمد. همچنین در اکسل تهیه شده، محاسبات معکوسی نیز تعبیه شد به گونه ای که سرمایه گذار (یا همان کاربر) دوره بازگشت سرمایه مد نظر خود و همچنین نرخ IRR مورد قبول خود را وارد نماید و در خروجی، نرخ متوسط قیمت هر کیلووات ساعت برقی که دولت بایستی خریداری کند (هزار ریال) برایش نمایش داده شود که این نرخ نشان می دهد، دولت تا چه میزان باید تعرفه هر کیلووات برق خریداری شده را بالا ببرد که انگیزه برای سرمایه گذاری در این صنعت فراهم شود. در نمونه بیان شده، تعرفه خرید دولت برای هر کیلووات ساعت، عدد ۲۱ هزار ریال وارد شده است، اگر در محاسبات معکوس، فرض شود که دوره بازگشت سرمایه و IRR مورد نظر سرمایه گذار به ترتیب برابر ۵ سال و ۴۰٪ باشد، خروجی اکسل، نشان می دهد که بایستی تعرفه خرید برق برابر ۳۶۰ هزار ریال باشد که این شرایط فراهم شود.

۴- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق امکان سنجی اقتصادی تولید برق از انرژی خورشیدی در شرکت آبفا، ارائه گردید. الگوی اقتصادی تطبیق پذیر برای شرکت آبفا نیز آورده شده است. در این رابطه اکسلی متناسب با روش برآورد برق در پنل خورشیدی، تهیه گردید که در آن، کاربر می تواند با وارد کردن فاکتورهای مهم، میزان برق تولیدی را (برحسب فرمول ها مندرج در منابع علمی)، در خروجی مشاهده نماید و همچنین با توجه به هزینه های ثابت و متغیر اجرای چنین پروژه ای (که کاربر وارد می نماید)، در خروجی اکسل، شاخص هایی مانند نرخ بازده داخلی پروژه، دوره بازگشت سرمایه را مشاهده نموده و به کمک آن بتواند سرمایه گذار (یا تصمیم گیرنده) در مورد انجام و یا عدم انجام پروژه، تصمیم گیری کند.

با توجه به آنکه میزان تولید برق در نمونه مورد محاسبه به مقدار قابل قبولی نرسیده و همچنین تعرفه خرید برق، نتوانسته درآمد پروژه را به میزان کافی افزایش دهد، و هزینه ها را پوشش دهد، لذا NPV (ارزش حال خالص جریان نقدی) مثبت نبوده، و اجرای طرح با شرایط نمونه مورد بررسی، اقتصادی نیست.

لازم به ذکر است که این خروجی با توجه به مقدار تعداد پنل ها و مترائ زمین مورد نظر شرکت است، به طور حتم اگر بتوان در نقطه ای پنل ها را جانمایی نمود که تعداد مناسبی را نصب کرد، بر روی انرژی استحصالی اثر گذاشته و لذا درآمد را تحت تأثیر قرار داده و به تبع، بر میزان دوره بازگشت سرمایه و IRR اثر خواهد داشت (امکان ایجاد این تغییرات در فایل اکسل آورده شده است). بنابراین با توجه به خروجی الگوهای اقتصادی تطبیق پذیر که بیان شد، نتایج بیانگر آن است که در شرایط موجود و با توجه به نرخ های خرید برق تجدید پذیر در حال حاضر، تولید انرژی از طریق نصب پنل های

خورشیدی (در مترائ و تعداد نمونه مورد بررسی) دارای توجیه اقتصادی نبوده و نمی‌توانند مدنظر قرار گیرد، اما محاسبات معکوس نشان داد که اگر تعرفه خرید برق توسط دولت افزایش یابد، توجیه‌پذیری اقتصادی بهبود می‌یابد، این موضوع در تحقیق یجتون^{۳۲} و همکاران (۲۰۲۵)، نیز اشاره شده است که عملکرد پنل‌های خورشیدی تحت تاثیر تکنولوژی، محل و شرایط نصب آنها می باشد. همچنین نوع تکنولوژی بکارگرفته در پنل‌ها هر چه دارای کارایی بالاتری باشند دارای اهمیت است که پنل‌های موجود در بازار ایران چندان کیفیت مناسب را دارا نبوده و این مهم در تحقیق ژائو و همکاران (۲۰۲۵) نیز تاکید شده است که نماهای عایق‌بندی شده با شیشه خلأ فتوولتائیک خورشیدی، دارای کارایی بالاتری از هم نسل‌های قبلی خود هستند و همچنین سایر موارد فنی اجرای این پروژه ها در تحقیقاتی مانند موهامد^{۳۳} و همکاران (۲۰۲۵)، شبول و همکاران (۲۰۲۵) ژانگ^{۳۴} و همکاران (۲۰۲۵)، نیز اشاره شده است که بسیار مهم است و بر روی راندمان برق تولیدی اثرگذار است اما از سوی دیگر ذکر این نکته ضروری است که علاوه بر مسائل فنی و کیفیت پنل‌های نصب شده که بر روی میزان برق تولیدی و راندمان آن موثر است مساحتی که پنل‌ها نصب میشوند بسیار بر روی صرفه اقتصادی حاصل از اجرای آن اثر گذار هستند، لذا اجرای پنل‌های خورشیدی در مساحت‌های کوچک برای تامین برق یک ساختمان اداری چند طبقه و یا مسکونی چند طبقه در یک محیط شهری با توجه به آلودگی‌های مرتبط، دارای صرفه نبوده و بهتر است که تولید چنین انرژی تجدیدپذیر در مساحت‌های بزرگ و به شکل مزرعه‌های پنل خورشیدی اجرا شوند و برای اجرای آن محل‌های مناسب نصب از شرایط محیطی (وزش باد و گردو خاک، زاویه مناسب تابش، دسترسی و ...) در یک برنامه مطالعاتی جامع در سطح کشور و یا هر استان مورد مطالعه قرار گیرد. لذا دو پیشنهاد مهم در این زمینه انجام مطالعات مکانیابی و امکان‌سنجی در سطح کلان بوده و از سوی دیگر پیشنهاد مهم جهت تشویق تولید انرژی‌های پایدار، نرخ خرید برق برای هر کیلووات ساعت توسط دولت، می باشد که بایستی بیشتر از قیمت تمام شده بوده تا سرمایه گذار را برای اجرای آن تشویق نماید.

تأمین مالی: نویسندگان اعلام کردند که این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است که با حمایت مالی شرکت آبفا مشهد انجام شده است.

تضاد منافع: نویسندگان اعلام کردند که هیچ تضاد منافع برای این پژوهش وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان: نویسندگان در مفهوم سازی و نگارش مقاله مشارکت داشتند. همه نویسندگان محتوای مقاله را تأیید کردند و در مورد تمام جنبه‌های کار توافق داشتند.

۵- قدردانی

مقاله حاضر بر گرفته از بخشی از طرح پژوهشی بوده است که قرارداد آن بین شرکت آبفا مشهد به عنوان کارفرما و سازمان جهاددانشگاهی خراسان رضوی به عنوان مجری می باشد، از کارکنان محترم شرکت آبفا مشهد که در تهیه این تحقیق همکاری نمودند، قدردانی می گردد.

³² Jeon

³³ Mohamed

³⁴ Zhang

- Asakereh, A., Ghadirianfar, M., Sheikh Dawoodi, M. J. (2016), The feasibility of generating electricity from rooftop solar panels in rural areas of Khuzestan province; *Geography and Development*,. 43, 113-132. SID. <https://sid.ir/paper/77196/fa> [In Persian].
- Asakereh, A., Solimani, M., Sheikh Dawoodi, M. J. (2016), The potential of solar electricity production in order to increase energy security, a case study of Ahvaz; *Policy and Planning Research*, 2, 105-142. <https://civilica.com/doc/1474340>. [In Persian].
- Bergamasco, L. and P. Asinari (2011), Scalable Methodology for The Photovoltaic Solar Energy Potential Assessment Based on Available Roof Surface Area: Application to Piedmont Region, Italy, *Solar Energy*,.85. 1041–1055. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.02.022>
- Charabi, Y. & A. Gastli (2011), PV Site Suitability Analysis Using GIS-Based Spatial Fuzzy Multi-Criteria Evaluation, *Renewable Energy*, 36, 2554-61. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.037>.
- Chen, Y., Zeng, H., Peng, H., Luo, Z., & Bao, H. (2024). Synergistic solar electricity-water generation through an integration of semitransparent solar cells and multistage interfacial desalination. *Renewable Energy*, 237, 121837. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121837>
- Dashtakipour, M. H., Jahanshahi Jovaran, E., Safaripour, M. H., Mansouri, S, H. (2013). The effect of fixed solar radiation on the amount of total daily solar radiation received on a horizontal surface, *the 6th specialized scientific conference on renewable, clean and efficient energies*, Tehran, Hamandishan Energy Kimia Company. SID. <https://sid.ir/paper/887401/fa>. [In Persian].
- IEA. (2023), *Tracking Clean Energy Progress 2023*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>, Licence: CC BY 4.0.
- IEA. (2019). *World Energy Outlook 2019*. Paris. International Energy Agency. <https://www.iea.org>
- Jeon, H. S., Yeon, S. H., Park, J. K., Kim, M. H., Yoon, Y., Kim, C. H., & Lee, K. H. (2025). ANN based solar thermal energy forecasting model and its heating energy saving effect through thermal storage. *Applied Thermal Engineering*, 125740. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.125740>
- Mahdavi Adeli, Mohammad Hossein, Salimifar, Mustafa and Qezelbash, Azam. (2014). Economic evaluation of the use of solar energy (photovoltaic) and fossil electricity for household consumption (case study of a three-unit complex in Mashhad city). *Economic Policy*, 6(11), 123-147. https://ep.yazd.ac.ir/?_ [In Persian].
- Mahmoudi, A; Soltani, A, Taghizadeh, M; Darban, B. (2021), A review of the applications of solar energy in supplying electricity to water and sewage systems, with an emphasis on

- the current situation in Iran's water supply, publication: *Water and sustainable development*, 8 (1): 63-78. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i1.87348> [In Persian].
- Mohamed, K. A. E. H. A., Hassan, A. A. M., & Maghrabie, H. M. (2025). Performance optimization of a solar-assisted supercritical power plant at part-load and fuel-saving operation. *Energy*, 134901. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134901>
- Okika, M. C., Musonda, I., Monko, R. J., & Phoya, S. A. (2025). The road map for sustainable development using solar energy electricity generation in Tanzania. *Energy Strategy Reviews*, 57, 101630. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101630>
- Oskounejad, M. M. (2011). *Engineering economics, economic evaluation of industrial projects*. Tehran, Iran. [In Persian].
- Taheri Bazkhaneh, S., seyed kalayee A., Asqari hossen abadi, S.Z., (2024), Energy Intensity in Iran: Examining the Threshold Effects of Economic Structure and Trade, *Journal of Energy Economics Modeling*, 2(1):131-157. <https://doi.org/10.22080/jeem.2025.28316.1022> [In Persian].
- Sabah, S., Hooshyari, B. (2010). Investigating the efficiency and feasibility of using solar energy in Iran's water and wastewater facilities. *The fourth specialized conference on environmental engineering*. University of Tehran. <https://civilica.com/doc/93385> [In Persian].
- Saki, S., Khorasani F., Mohammad, I. (2016). A Perspective on Solar Energy as a Renewable Energy. *National Conference on Mechanization and New Technologies in Agriculture*. SID. <https://sid.ir/paper/894578/fa>. [In Persian].
- Shboul, B., Khawaldeh, H. A., Al-Smairan, M., Alrbai, M., Ali, H. H., & Almomani, F. (2025). Perspectives of new solar energy option for sustainable residential electricity generation: A comparative techno-economic evaluation of photovoltaic and solar dish systems. *Energy Reports*, 13, 4514-4527. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.04.020>
- United Nations Sustainable Development. (2019). [https:// www.un.org/sustainabledevelopment/](https://www.un.org/sustainabledevelopment/) (visited May 4,2020).
- Xuan, Q., Yang, N., Kai, M., Wang, C., Jiang, B., Liu, X., ... & Zhao, B. (2024). Combined daytime radiative cooling and solar photovoltaic/thermal hybrid system for year-round energy saving in buildings. *Energy*, 304, 132178. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132178>
- Zhang, L., Alizadeh, A. A., Baghoolizadeh, M., Salahshour, S., Ali, E., & Escorcía-Gutiérrez, J. (2025). Multi-objective optimization of vertical and horizontal solar shading in residential buildings to increase power output while reducing yearly electricity usage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 215, 115578. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115578>

Zhou, H., Peng, J., Shi, W., & Yang, H. (2025). The energy-saving potential of solar PV vacuum glazing (SVG) insulated facades. *Journal of Building Engineering*, 100, 111719. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111719>

در حال انتشار
[In Press]