Techno-economic analysis of hybrid Systems to Reduce Carbon Emission of Greenhouses in Tehran province

Roghayeh Ghasempour[1]*, Amir Sabzemeydani[2]
Mohammad Montazeri[3], Hossein Yousefi[4]

1&4. Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Iran

2. BSc in Faculty of Architecture, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3. Master of Renewable Energy and Environment, University of Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received : 18/1/2022
Accepted : 18/6/2022

Keywords
CO_2 Emission
Global Warming
Solar Energy
Sustainable Development
Wind Energy

ABSTRACT

Introduction

Increasing the global population requires food security, especially in developing countries. In this regard, greenhouse systems have significantly increased efficiency due to resource constraints and advantages such as the possibility of more than one harvest per year. This issue is vital in arid and low rainfall areas such as Iran. These systems require higher energy consumption than traditional methods due to their greater sensitivity to environmental conditions such as temperature and humidity. It is predicted that in the next 50 years, energy shortages and how to supply them will be one of the most fundamental issues and one of the ten most important challenges in the world. As a result, energy supply is considered an essential indicator for the development and progress of industrial greenhouses.

On the other hand, urban development includes economic, social, and environmental approaches that must align with sustainable development. Management problems in this process always exist between the urban space, stakeholders, and urban infrastructure. This complexity requires multidimensional approaches and specific quantitative or qualitative methods for analyzing and combining different aspects.

In this study, by modeling grid-connected renewable power generation systems in Homer software, an optimal hybrid system has been introduced to reduce greenhouse gas emissions. In addition to examining environmental and technical parameters, economic parameters have received much attention in this research. The crop under cultivation in the greenhouse was cucumber; the main reason for choosing it was the significant number of cucumber greenhouses in this city and easy access to the data of the cucumber greenhouses. Of course, the data related to other agricultural products were also generalized, and even regardless of the type of product, each greenhouse can obtain the current net cost of its greenhouse only by estimating its bioelectricity. This can be a good guide for all greenhouses in the same climate with any product. Sensitivity analysis on inflation and interest rates also helps farmers and the government work with full awareness in this area, thus providing the necessary conditions for sustainable urban development.

*Corresponding Author: Ghasempour.r@ut.ac.ir

Materials and Methods

This research includes studying energy systems in greenhouses located in Robat Karim city. Based on this, the renewable energy sources in the area have been studied and evaluated. According to that, the corresponding components in Homer software have been designed and modeled as connected to the network. Homer software is used to power many items such as buildings, hotels, and villages, by simulating energy consumption and performing economic and technical analysis on hybrid systems. In addition to analyzing economic parameters, it Analyzes and examines environmental parameters and how to generate optimal power.

Findings

After examining different scenarios in Homer software, each of which includes two or more primary components, three scenarios have been selected as the top scenario, the optimal scenario including solar panel, wind turbine, and battery. In this scenario, the net present cost is $ 215,626, and the energy cost in this scenario is $ 0.084 kWh. Then the second scenario includes a solar panel, diesel generator, and battery, with a net present cost of $ 238,135 and a cost of energy of $ 0.094 kWh. Finally, the solar panel, wind turbine, and diesel generator scenarios were considered the last, with a net present cost of $ 240,626 and an energy cost of $ 0.094 kWh. The share of the renewable sector in the first to third scenarios is equal to 6.59, 6.47, and 4.59 percent, respectively.

As mentioned, the primary purpose of this modeling is to reduce the emission of pollutants, which in the optimal scenario to prevent the emission of 66 tons of carbon dioxide, 18 tons of unburned hydrocarbons, and 200 kg of sulfur dioxide per year. These values are for a greenhouse with an area of 0.2 hectares. Meanwhile, the area under cultivation of greenhouses in Tehran province is about four thousand hectares. If only ten percent of the area of greenhouses in the province uses a combined system, it can prevent 132,000 tons of carbon dioxide. That is equivalent to the amount of carbon dioxide absorbed by 6,300 trees.

Conclusion

Tehran province is one of the most strategic parts of Iran in the greenhouse industry. The construction of new greenhouses is considered an urban development, which must be in line with sustainable development to be considered a suitable solution. In this way, renewable energy is considered an inevitable action. The inexhaustibility and non-production of pollutants are two crucial factors for the global acceptance of the use of renewable energy. In this research, an attempt has been made to model an optimal system by reducing the emission of greenhouse gases, especially carbon dioxide, by modeling renewable power generation systems connected to the grid in Homer software. Furthermore, to consider the project's future possibilities, inflation and interest rates have been examined using the sensitivity analysis of Homer software. The investigation's most significant findings include the following:

- The best scenario includes a solar panel, wind turbine, and battery with a net present cost of $ 215,626 and an energy cost of $ 0.084 kWh. By providing subsidies and guaranteeing the purchase of renewable electricity, the government can encourage the use of hybrid systems and the grid connection, thereby providing part of the goal of reducing emissions. Solar and wind energy are the most suitable renewable sources due to easy access throughout the country, which play an influential role in reducing energy costs.
- Using a hybrid system of solar panels, wind turbines, and batteries in grid mode can reduce carbon dioxide emissions by about 61□□□□. In this way, we can take action to combat climate change for sustainable development and commitment to international treaties.
- It is possible to increase the share of the renewable sector by increasing the capacity of solar panels, allocating more space, and in some cases, even supplying greenhouse energy without connection to the grid. Of course, it is recommended to use a network-connected system as much as possible to reduce costs.

Finally, according to the studies conducted and the problems facing the use of renewable resources, it is recommended to create a significant change in the agricultural industry and control the emission of greenhouse gases in the country. Maximum government support should be provided through loans and facilities, appropriate policy-making, raising farmers' awareness, encouraging the private sector.

COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

HOW TO CITE THIS ARTICL

Roghayeh Ghasempour, Amir Sabzemeydani, Mohammad Montazeri, Hossein Yousefi. Techno-economic analysis of hybrid Systems to Reduce Carbon Emission of Greenhouses in Tehran province.Urban Economics and Planning Vol 3(2)

DOI: 10.22034/UEP.2022.325295.1177

بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم ترکیبی تجدیدپذیر برای گلخانه‌های استان تهران با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

رقیه قاسم پور[1*]، امیر سبزمیدانی[2]، محمد منتظری[3]، حسین یوسفی[4]

۱ و ۴. دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. کارشناسی، دانشکدهٔ معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳. کارشناسی ارشد، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۸

کلمات کلیدی

انتشار کربن دی‌اکسید
انرژی باد
انرژی خورشیدی
توسعهٔ پایدار
گرمایش جهانی

چکیده

تأمین امنیت غذایی از مهم‌ترین چالش‌های جوامع بشری بهویژه کشورهای در حال توسعه است. از این‌رو، شاهد رشد چشمگیر سازه‌های گلخانه‌ای در این کشورها هستیم. اما این توسعه منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتر و بروز مشکلات زیست‌محیطی اعم از گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم می‌شود. کشور ایران نیز از این قضیه جدا نیست و جزء یکی از تولیدکننده‌های بزرگ گازهای گلخانه‌ای در جهان است. در این پژوهش تلاش شده است با در نظر گرفتن مفاهیم توسعهٔ پایدار و با بررسی گلخانه‌ای در شهرستان رباط کریم استان تهران اجزای تولید توان تجدیدپذیر در نرم‌افزار هومر، سیستم ترکیبی بهینه با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مدل‌سازی شود. اجزای اصلی سناریوی برتر شامل پنل خورشیدی، توربین بادی و باتری است که ۵۹/۶ درصد از انرژی مورد نیاز این گلخانه را تأمین می‌کنند. در شرایط نرخ بهرهٔ ۱۶ درصد و نرخ تورم ۱۳ درصد هزینهٔ خالص فعلی این سیستم ۲۱۵۶۲۶ دلار و هزینهٔ انرژی آن ۰/۰۸۴ دلار به ازای هر کیلووات ساعت است. این سیستم از انتشار ۶۶ تن کربن دی‌اکسید در سال جلوگیری می‌کند؛ که این مقدار منجر به کاهش ۶۱ درصدی انتشار این گاز گلخانه‌ای می‌شود. همچنین، نتایج برای محصولات کشاورزی دیگر نیز به همراه آنالیز حساسیت نرخ بهرهٔ ۱۶ تا ۲۰ درصد و نرخ تورم ۱۳ تا ۱۷ درصد ارائه شده تا تحقیق موجود به عنوان یک راهنمای جامع برای تمام کشاورزان در اقلیم مشابه باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

افزایش جمعیت کرهٔ زمین نیازمند تأمین امنیت غذایی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه است [۱]؛ که در این راستا استفاده از سیستم‌های گلخانه‌ای با توجه به محدودیت‌های منابع و داشتن مزیت‌هایی مانند امکان بیش از یک برداشت در سال باعث افزایش چشمگیر راندمان شده است. اهمیت این موضوع در مناطق خشک و کم‌باران مانند ایران دو چندان است. این سامانه‌ها به دلیل حساسیت بیشتر شرایط محیطی نظیر شرایط دمایی و رطوبتی نیازمند مصرف انرژی بیشتر نسبت به روش‌های سنتی هستند [۲]. پیش‌بینی شده است که در ۵۰ سال آینده کمبود انرژی و شیوهٔ تأمین آن، از اساسی‌ترین مسائل و جزء ۱۰ چالش مهم جهان خواهد بود؛ درنتیجه تأمین انرژی به عنوان شاخص مهمی برای توسعه و پیشرفت گلخانه‌های صنعتی لحاظ می‌شود [۳].

از طرفی، توسعهٔ شهری شامل رویکردهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است که باید در راستای توسعهٔ پایدار باشد. مشکلات مدیریتی در این فرایند همواره بین فضای شهری، ذی‌نفعان و زیرساخت‌های شهری وجود دارد. این پیچیدگی نیاز به رویکردهای چندبعدی و روش‌های کمی یا کیفی خاص برای تجزیه‌وتحلیل و ترکیب جنبه‌های مختلف دارد [۴].

تولید و مصرف انرژی ملاحظاتی دارد که به طور مستقیم بر توسعهٔ پایدار محیط شهری تأثیر می‌گذارد. به طور کلی، در توسعهٔ شهری، بهره‌وری انرژی به عنوان رابطه بین تولید و هزینه‌های انرژی تعریف می‌شود. بنابراین، از طریق بهره‌وری انرژی، صرفه‌جویی در انرژی با حفظ همان مصرف انرژی مورد انتظار بدون کاهش، سطوح تولید و آسایش، تأمین تضمین‌شده، پایداری و حفاظت از محیط زیست نیز به عنوان اهداف مطلوب در دسترس هستند. فرایند پایداری شامل صرفه‌جویی در منابع مختلف انرژی مورد استفاده مانند خاک، زغال سنگ و گاز طبیعی است [۵].

متأسفانه سوخت‌های فسیلی در بیشتر نیروگاه‌های تولید برق در جهان استفاده می‌شوند [۶]. استفاده از منابع سوخت فسیلی در تولید برق باعث افزایش پتانسیل گرمایش جهانی، افزایش سطح دریاها و تغییرات اقلیم شده است [۷].

* نویسندهٔ مسئول؛ آدرس ایمیل: Ghasempour.r@ut.ac.ir

که در این بین زغال سنگ برای تولید چندین گاز گلخانه‌ای مضر از جمله کربن دی‌اکسید، گوگرد دی‌اکسید، نیتروژن اکسید و سایر ذرات حائز اهمیت است. تحقیقات نشان داد احتراق زغال سنگ به میزان زیادی مسئول انتشار مقدار زیادی از گازهای گلخانه‌ای است که پتانسیل گرمایش جهانی را تشدید می‌کند [۸]. بخش‌های عمدهٔ نیروگاه‌های زغال سنگ با فناوری‌های قدیمی‌تر و یا با زغال سنگ کیفیت پایین کار می‌کنند که انتشار CO_2 را نیز تشدید می‌کنند [۹].

بنابراین، استفاده از انرژی‌های نو به عنوان منابع جایگزین می‌تواند راه حلی مناسب برای این موضوع باشد [۱۰]. اگرچه سوخت‌های فسیلی هنوز منبع اصلی انرژی در شهرها هستند، اما استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کنار منابع فسیلی می‌تواند بسیار راه گشا باشد [۱۱].

در ایران نیز بخش بزرگی از انرژی مصرفی در کلان‌شهرهای آن صورت می‌پذیرد. کلان‌شهری مانند تهران که فقط کمتر از ۱۲ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است، ۱۵ درصد از سطح آلودگی هوای کشور را شامل می‌شود. بر اساس اعلام شرکت توزیع نیروی برق استان تهران، شهر تهران حدود ۲۰ درصد از کل برق کشور را مصرف می‌کند. این آمار نشان می‌دهد لزوم توجه به سایر جنبه‌های تولید انرژی می‌تواند یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر باشد. تهران در تأمین و توزیع آلودگی در بخش تولید و مصرف انرژی مشکلات جدی دارد [۱۲]. در سال‌های اخیر انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان راه حلی پایدار در زمینهٔ تولید انرژی و آلودگی هوای شهرها بسیار مورد توجه قرار گرفته است؛ و این توجه باعث گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر، محدودیت در انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات مثبت بر تغییرات آب‌وهوایی شده است [۱۳].

در این پژوهش با مدل‌سازی سیستم‌های تولید توان تجدیدپذیر متصل به شبکه در نرم‌افزار هومر (Homer)، سیستم ترکیبی بهینه با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای معرفی شده است. در این تحقیق علاوه بر بررسی پارامترهای زیست‌محیطی و فنی، پارامترهای اقتصادی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. محصول زیر کشت گلخانهٔ مورد نظر خیار بوده که دلیل اصلی انتخاب آن، تعداد قابل توجه گلخانه‌های خیار این شهرستان و دسترسی آسان به داده‌های این گلخانه بود؛ البته داده‌های مربوطه به سایر محصولات کشاورزی نیز تعمیم داده شد و حتی فارغ از نوع محصول هر گلخانه فقط با تخمین بارالکتریکی خود می‌توانند هزینهٔ خالص فعلی مربوط به گلخانه خود را به دست آورد؛ این موضوع می‌تواند راهنمای مناسبی برای همهٔ گلخانه‌های موجود در اقلیم مشابه با هر نوع محصولی باشد. همچنین، آنالیز حساسیت روی نرخ تورم و نرخ بهره کمک می‌کند تا کشاورزان و دولت با آگاهی کامل در این حوزه فعالیت کنند و به این صورت، بسترهای لازم برای توسعهٔ پایدار شهری فراهم شود.

پیشینهٔ تحقیق

با توجه به کاهش گازهای گلخانه‌ای به عنوان یک منبع انرژی جهانی، توسعهٔ کاربرد فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر به یک گزینهٔ استراتژیک تبدیل شده است. طی دو دههٔ اخیر استفاده از انرژی‌های نو در دو بخش مورد توجه قرار گرفته است. اولی مربوط به تولید مستقیم گرما و دومی مربوط به تولید برق است. طبق برنامهٔ محیط زیست سازمان ملل در سال ۲۰۱۶، خانوارها حدود ۴۰ درصد از انرژی جهان را مصرف می‌کنند. این حجم از انرژی مصرفی در ایران بیشتر از مصرف منابع فصلی است که حجم زیادی گازهای گلخانه‌ای منتشر می‌کنند که در شهرهای بزرگی مانند تهران باعث آلودگی هوا می‌شود. ایران یکی از ۱۰ کشور اول در انتشار دی‌اکسید کربن با شهرنشینی و مهاجرت سریع است. رشد صنعتی و تحولات سیاسی - اجتماعی از عوامل اصلی رشد سریع شهرها هستند [۱۴ و ۱۵].

بررسی میزان مصرف انرژی خانوارهای شهری و انتشار کربن دی‌اکسید در کشوری مانند ایران با جمعیت بیش از ۸۰ میلیون نفر بسیار حائز اهمیت است [۱۶]. استفادهٔ گسترده از انرژی‌های تجدیدپذیر رویکردی جدید در برنامه‌ریزی شهری به منظور دستیابی به توسعهٔ پایدار شهری است. توسعهٔ شهرهای پایدار یکی از رویکردهای مهم اجرایی در این زمینه است. بسته به منابع موجود در هر منطقهٔ جغرافیایی، نوع استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر متفاوت است و سناریوهای خاص خود را می‌طلبد [۱۷].

یوسفی و همکاران با بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای قانون شورای شهر تهران با توجه به تأمین ۱۰ تا ۲۰ درصد انرژی‌های مورد نیاز از محل می‌پردازد. برای این منظور، از آبگرمکن‌های خورشیدی برای تأمین انرژی مورد نیاز گرمایش آب مصرفی ساختمان‌هایی که توسط شهرداری منطقهٔ ۱۱ تهران مجوز داشته‌اند، استفاده شده است. نتایج پژوهش یادشده نشان داد استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی می‌تواند سبب صرفه‌جویی در ۴۲۱ هزار متر مکعب گاز طبیعی شود که صادرات آن به کشورهای همسایه منجر به سود سالانه ۲۱۰ هزار دلار می‌شود. علاوه بر این، انتشار آلاینده‌هایی نظیر SO_2، CO_2 و NO_x نیز کاهش می‌یابد [۱۸].

ماندال و همکاران در مدل‌سازی تأمین انرژی یک روستا، بدون اتصال به شبکه دریافتند که مناسب‌ترین سناریو شامل پنل خورشیدی، دیزل ژنراتور و باتری است. این سیستم با هزینهٔ خالص فعلی ۳۵۷ هزار دلار و هزینهٔ انرژی ۰/۳۷ دلار به ازای هر کیلووات ساعت می‌تواند تا ۶۰ درصد از انتشار کربن دی‌اکسید را کاهش دهد [۱۹].

لاو و همکاران با استفاده از نرم‌افزار هومر و در نظر گرفتن متغیرهای نرخ بهرهٔ سالانه، قیمت گازوئیل و اندازهٔ بار نشان دادند استفاده از سیستم ترکیبی پنل خورشیدی، دیزل ژنراتور و باتری بسیار به‌صرفه‌تر از سیستم دیزل ژنراتور مستقل است. همچنین، با افزایش قیمت سوخت دیزل، این برتری افزایش می‌یابد [۲۰].

باتاچارجی و همکاران در بررسی سیستم پنل خورشیدی- توربین بادی و بایوگاز ژنراتور در جزیرهٔ پرتغال نشان دادند سناریوی بهینه، از نظر هزینهٔ خالص فعلی و هزینهٔ انرژی سناریوی پنل خورشیدی و اتصال به شبکه است. همچنین، پیشنهاد شده است که دولت‌ها با حمایت و ساخت این سیستم‌های هیبریدی به باصرفه‌تر شدن این سیستم‌ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کنند [۲۱].

اکرن و همکاران در بررسی‌ای برای ایستگاه‌های شارژ وسایل نقلیهٔ برقی نشان دادند توربین‌های بادی و پنل‌های خورشیدی با سهم مشارکت به‌ترتیب ۴۴/۴ درصد و ۵۵/۶ درصد بهترین اجزای تولیدکنندهٔ برق تجدیدپذیر خواهند بود [۲۲].

بررسی سیستم پنل خورشیدی-بایوگاز ژنراتور و دیزل برای روستایی در شمال بنگلادش نشان داده است که سیستم هیبریدی نسبت به دیزل ژنراتور تنها، به‌صرفه‌تر و با برگشت هزینهٔ ۱۲ سال است. همچنین، استفاده از سیستم هیبریدی باعث کاهش ۷۵ درصد انتشار کربن دی‌اکسید می‌شود [۲۳].

روش تحقیق

استان تهران از مهم‌ترین استان‌های کشور از نظر تأسیسات گلخانه‌ای است. شهرستان رباط کریم نیز از مراکز مهم گلخانه‌ای این استان است که در فاصلهٔ ۵۱ کیلومتری شهر تهران قرار دارد. پیک مصرف برق این شهرستان در تابستان است. عموم گلخانه‌های این شهرستان از دیزل ژنراتور به عنوان سیستم پشتیبان استفاده می‌کنند. این در حالی است که این شهرستان از پتانسیل انرژی خورشیدی و بادی بسیار خوبی برخوردار است.

این پژوهش شامل بررسی سیستم‌های انرژی در گلخانه‌های واقع در این شهرستان است. بر این اساس، منابع انرژی تجدیدپذیر موجود در منطقهٔ مورد نظر بررسی و ارزیابی شده و با توجه به آن اجزای متناظر در نرم‌افزار هومر به صورت متصل به شبکه طراحی و مدل‌سازی شده است. از نرم‌افزار هومر برای تأمین انرژی بسیاری از موارد مانند ساختمان‌ها، هتل‌ها، روستاها و... از طریق شبیه‌سازی مصرف انرژی و انجام آنالیزهای اقتصادی و فنی روی سیستم‌های هیبریدی استفاده می‌شود که علاوه بر تحلیل پارامترهای اقتصادی به تحلیل و بررسی پارامترهای زیست‌محیطی و شیوهٔ تولید توان بهینه می‌پردازد [۲۲].

در نهایت، هدف اصلی این پژوهش دستیابی به سیستم انرژی بهینه به منظور

کاهش میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی به‌ویژه کربن دی‌اکسید با در نظر گرفتن پارامترهای فنی و اقتصادی است.

پتانسیل منابع تجدیدپذیر منطقه

همان‌طور که گفته شد، مهم‌ترین منابع تجدیدپذیر این منطقه انرژی خورشیدی و انرژی بادی است. بر اساس داده‌های آب‌وهوایی سازمان ملی هوانوردی و فضایی (NASA)؛ میانگین تابش روزانه در این منطقه ۴/۸۹ کیلووات ساعت بر متر مربع در هر روز است، این مقدار برای سرعت وزش باد برابر ۵/۷۹ متر بر ثانیه است. همچنین، میانگین دمای منطقه از نظر تأثیر دمای محیط بر خروجی راندمان پنل‌های خورشیدی حائز اهمیت است که به طور میانگین این مقدار برابر ۱۲/۶۳ درجهٔ سلسیوس است [۲۵]. جدول ۱ اطلاعات ماهانهٔ سه پارامتر محیطی فوق را برای ماه‌های سال نشان می‌دهد.

جدول ۱. اطلاعات آب‌وهوایی موقعیت جغرافیایی مورد نظر [۲۵]

ماه	دمای روزانه (°c)	تابش خورشید (kWh/m²/day)	سرعت وزش باد (m/s)
ژانویه	۰/۵۸۰	۲/۷۳۰	۴/۸۱۰
فوریه	۱/۶۹۰	۳/۶۲۰	۵/۳۰۰
مارس	۵/۶۱۰	۴/۵۰۰	۵/۸۹۰
آوریل	۱۲/۷۴۰	۵/۵۱۰	۵/۹۷۰
می	۱۷/۵۷۰	۶/۳۹۰	۶/۱۴۰
جان	۲۱/۸۰۰	۷/۳۵۰	۶/۷۴۰
جولای	۲۳/۸۸۰	۷/۰۴۰	۷/۳۷۰
آگوست	۲۳/۷۷۰	۶/۵۶۰	۷/۰۴۰
سپتامبر	۱۹/۶۶۰	۵/۶۴۰	۵/۸۲۰
اکتبر	۱۳/۸۵۰	۴/۰۵۰	۵/۰۸۰
نوامبر	۷/۷۹۰	۲/۹۴۰	۴/۵۹۰
دسامبر	۲/۶۵۰	۲/۳۸۰	۴/۷۲۰

مدل‌سازی در نرم‌افزار هومر

نرم‌افزار هومر ابزار قدرتمندی برای شبیه‌سازی سیستم‌های تولید توان و آنالیز فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی آن‌ها است. یافتن سیستم بهینه با توجه به هزینه‌های نصب، جایگزینی، تعمیر و نگهداری و طول عمر تجهیزات و همچنین، در نظر گرفتن پارامترهای اقتصادی مانند نرخ بهره و نرخ تورم از مهم‌ترین ویژگی‌های این افزار است؛ که علاوه بر تحلیل پارامترهای زیست‌محیطی و مالی، اطلاعات مهمی از شیوهٔ تولید توان بهینه با توجه به پروفایل بار مصرفی طی سال در اختیار کاربر قرار می‌دهد. با توجه به این موضوع مهم‌ترین پارامترهای اقتصادی که به وسیلهٔ این نرم‌افزار محاسبه می‌شوند، عبارت‌اند از:

هزینهٔ خالص فعلی، که شامل تمام هزینه‌هایی است که طی عمر پروژه به وجود می‌آید و می‌تواند منفی یا مثبت باشد که مقادیر مثبت مقادیری هستند که هزینه‌ای صرف آن‌ها شده مانند خرید تجهیزات و برق و مقادیر منفی شامل فروش برق تجدیدپذیر به شبکه و یا فروش تجهیزات قابل استفاده بعد از اتمام پروژه است. برای محاسبهٔ آن از رابطهٔ ۱ استفاده می‌شود [۲۶]:

$$NPC = C_{ann.tot}\frac{(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$$

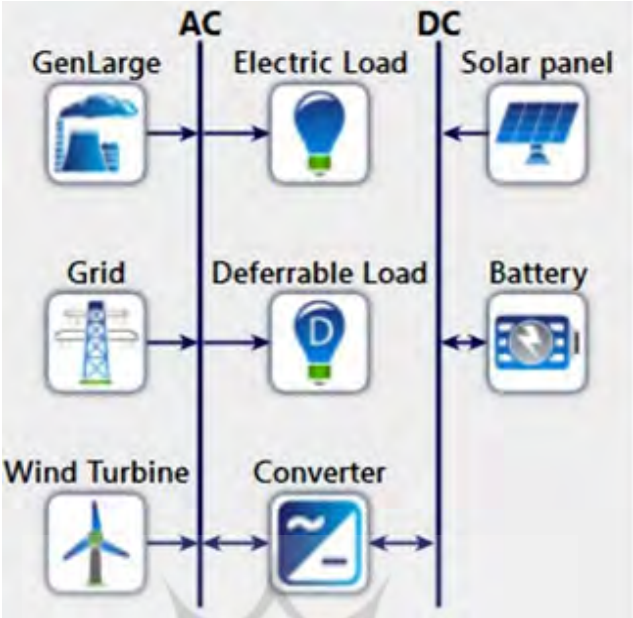
که در آن $C_{ann.tot}$ معادل مجموع هزینه‌های نصب، تعمیر و نگهداری، تعویض تجهیزات، خرید سوخت، خرید برق از شبکه و غیره است. همچنین، i نرخ بهرهٔ واقعی و n تعداد سال عمر پروژه است.

پارامتر دیگر که حائز اهمیت است، میانگین هزینهٔ تولید هر کیلووات ساعت انرژی توسط سیستم است که به‌اصطلاح به آن هزینهٔ انرژی می‌گویند که از طریق رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود [۲۶]:

$$COE = \frac{C_{ann.total}}{E_{Serverd}}$$

که در آن $C_{ann.total}$ مجموع هزینه‌های سالیانهٔ طول عمر پروژه و انرژی تولیدشده بر حسب کیلووات ساعت بر سال است.

با توجه به پتانسیل منابع تجدیدپذیر در موقعیت مکانی این گلخانه و تجهیزات درنظرگرفته‌شده شماتیک کلی مدل‌سازی در شکل ۱ آورده شده است. درخور یادآوری است نرخ بهرل درنظرگرفته‌شده برای این مدل‌سازی به‌ترتیب ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد است. همچنین، این مقادیر برای نرخ تورم ۱۳، ۱۵ و ۱۷ درصد است.



شکل ۱. شماتیک مدل‌سازی انجام‌شده در نرم‌افزار هومر

در نرم‌افزار هومر میزان برق مصرفی این گلخانه به صورت بار الکتریکی مدل‌سازی شده که ۵ درصد آن به عنوان بار قابل تعویض برای پمپ‌های آب در نظر گرفته شده است. اطلاعات اجزای مورد استفاده اعم از باتری، اینورتر، پنل خورشیدی، توربین بادی و دیزل ژنراتور به طور خلاصه در جدول ۲ قابل مشاهده است.

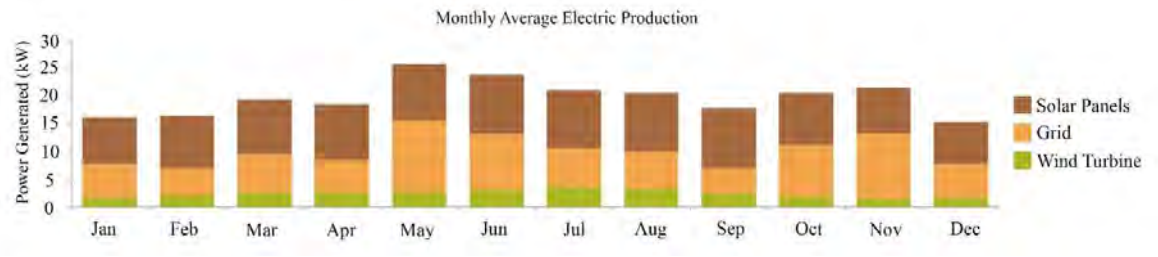
جدول ۲. اطلاعات مربوط به اجزای مدل‌سازی‌شده در نرم‌افزار هومر

اجزا	نوع	توان تولیدی (kW)	هزینهٔ نصب ($)	هزینهٔ جایگزینی ($)	هزینهٔ تعمیر و نگهداری ($/year)	طول عمر دستگاه (year)	مرجع
پنل خورشیدی	Sharp ND	250	1300/KW	1300/KW	20	20	(19)
توربین بادی	AWS	4/2	9660/unit	7560/unit	100	20	(19)
مبدل جریان	Generic	1	550/KW	/KW550	10	15	(19)
باتری	Surrette	7/55	1259/KW	1100/Kw	10	12	(20)
دیزل ژنراتور	Generic_Large Genset	1	500	450	0/1	15	(20)

یافته‌ها

پس از بررسی سناریوهای مختلف در نرم‌افزار هومر که هر یک شامل ترکیبی از دو یا چند اجزای اصلی است، سه سناریو به عنوان سناریوی برتر انتخاب شده که سناریوی بهینه شامل پنل خورشیدی، توربین بادی و باتری است که برای نرخ بهرهٔ ۱۶ درصد و نرخ تورم ۱۳ درصد، هزینهٔ خالص فعلی ۲۱۵۶۲۶ دلار و هزینهٔ انرژی این سناریو ۰/۰۸۴ دلار به ازای هر کیلووات ساعت است. پس از آن، سناریوی دوم شامل پنل خورشیدی، دیزل ژنراتور و باتری است که هزینهٔ خالص فعلی آن ۲۳۸۱۳۵ دلار و هزینهٔ انرژی آن ۰/۰۹۴ دلار به ازای هر کیلووات ساعت است. در نهایت، سناریوی پنل خورشیدی، توربین بادی و دیزل ژنراتور به عنوان آخرین سناریو با هزینهٔ خالص فعلی ۲۴۰۶۲۶ دلار و هزینهٔ انرژی ۰/۰۹۴ دلار به ازای هر کیلووات ساعت در نظر گرفته شد. میزان سهم بخش تجدیدپذیر در سناریوی اول تا سوم به‌ترتیب برابر ۵۹/۶، ۴۷/۶ و ۵۹/۴ درصد است.

با افزایش نرخ بهره و نرخ تورم، تغییر محسوسی در سناریوی بهینه ایجاد نمی‌شود که این موضوع نشان می‌دهد در بیشتر شرایط اقتصادی بهینه‌ترین سناریو استفاده از پنل خورشیدی، توربین بادی و باتری است. در سناریوی بهینهٔ پنل‌های خورشیدی بیشترین سهم را با تولید ۸۵ هزار کیلووات ساعت در سال، برای تأمین ۴۸/۸ درصد از انرژی مورد نیاز این گلخانه داشته است. پس از آن، شبکهٔ سراسری برق با ۳۸/۸ درصد و توربین بادی با ۱۲/۴ درصد در تأمین نیاز الکتریکی این گلخانه مؤثر بوده‌اند، میزان سهم ماهانهٔ هر یک از این اجزا در شکل ۲ قابل مشاهده است.



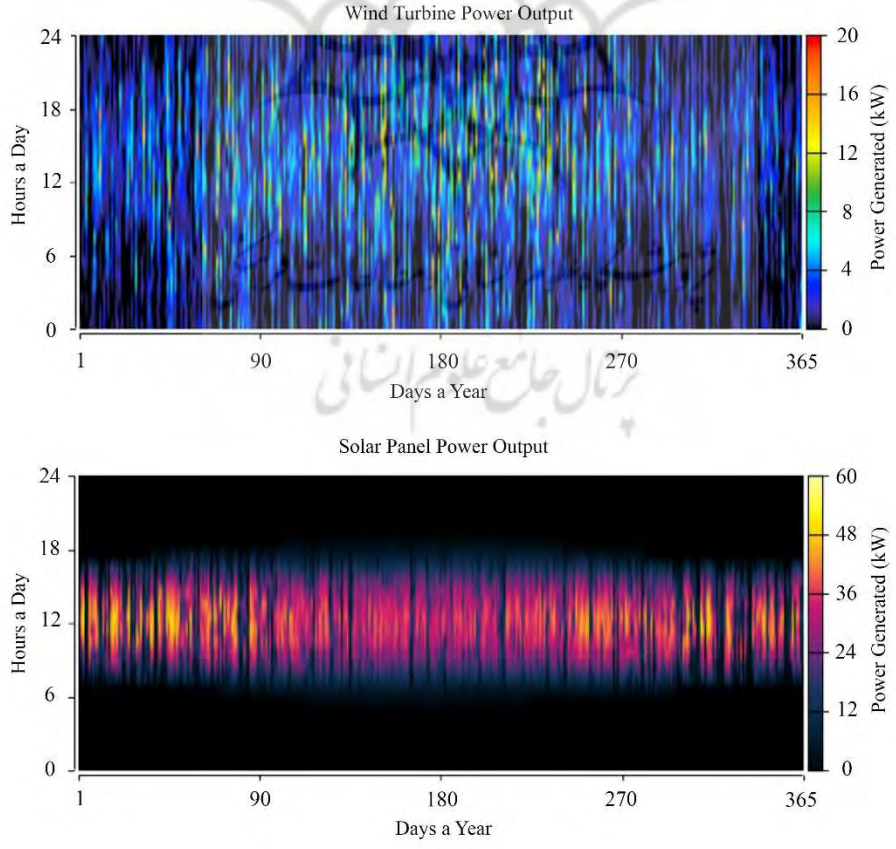
شکل ۲. اطلاعات ماهانهٔ اجزای تأمین‌کنندهٔ برق گلخانه در سناریوی بهینه

به طور کلی، پنل‌های خورشیدی ۴۳۸۵ ساعت در سال کار می‌کنند که میانگین خروجی آن‌ها برابر ۳۲۳ کیلووات ساعت در روز است. بیشینهٔ خروجی پنل‌ها را در فصل‌های بهار و زمستان شاهد هستیم، زیرا با کاهش دما، راندمان پنل‌های خورشیدی افزایش می‌یابد، اما از طرف دیگر در فصل‌های گرم به‌ویژه تابستان میزان ساعت‌های آفتابی افزایش می‌یابد و این کاهش راندمان به دلیل افزایش دما را پوشش می‌دهد.

همچنین، از آنجا که باتری به عنوان سیستم پشتیبان در نظر گرفته شده است، به طور پیوسته مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و فقط در مواقع قطعی برق استفاده می‌شود. که به تبع آن، مبدل جریان مستقیم – متناوب نیز بیشتر در حالت اینورتر است و فقط در زمان قطعی برق به حالت یکسوکننده عمل می‌کند. این تفاوت در میزان ساعت‌های کاری آن‌ها بسیار مشهود است، به گونه‌ای که اینورتر در سال ۴۵۸۹ ساعت و یکسوکننده ۶۳ ساعت در سال عمل می‌کنند.

هنگام روز مازاد برق تولیدی پنل‌های خورشیدی به شبکه فروخته می‌شود و در شب‌هنگام که پنل‌های خورشیدی تولید ندارند، برق از شبکه خریداری می‌شود. بیشترین خرید از شبکه در ماه اردیبهشت تا خرداد صورت می‌گیرد و کمترین آن، در بهمن‌ماه است. همچنین، بیشترین فروش به شبکه در ماه شهریور بوده و کمترین آن در اردیبهشت تا خرداد است. به طور کلی، سالانه ۶۷ هزار کیلووات ساعت برق از شبکه خریداری می‌شود و ۶ هزار کیلووات ساعت برق تجدیدپذیر به شبکه فروخته می‌شود.

توربین بادی نیز به صورت پراکنده در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز برق تجدیدپذیر تولید می‌کند که به طور کلی، سالانه ۷۳۸۲ ساعت عملکرد داشته که منجر به تولید ۲۲ هزار کیلووات ساعت برق تجدیدپذیر در سال شده است. نمودار تولید توربین بادی و پنل خورشیدی در شکل ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳. توان خروجی سالانهٔ پنل خورشیدی و توربین بادی

تحلیل‌های زیست‌محیطی

همان‌طور که گفته شد، اصلی‌ترین هدف این مدل‌سازی، کاهش انتشار آلاینده‌ها است که در سناریوی بهینه از انتشار ۶۶ تن کربن دی‌اکسید، ۱۸ تن هیدروکربن‌های نسوخته و ۲۰۰ کیلوگرم سولفور دی‌اکسید در سال جلوگیری می‌شود. این مقادیر برای گلخانه‌ای با مساحت ۰/۲ هکتار است. این در حالی است که میزان سطح زیر کشت گلخانه‌های استان تهران حدود ۴ هزار هکتار است و در صورتی که فقط ۱۰ درصد از سطح گلخانه‌های استان از سیستم ترکیبی استفاده کنند؛ می‌توانند از انتشار ۱۳۲ هزار تن کربن دی‌اکسید جلوگیری کنند. این مقدار معادل کربن دی‌اکسید جذب‌شده توسط ۶۳۰۰ درخت است که اهمیت این موضوع را بیان می‌کند. جدول ۳ به‌خوبی این اختلاف میزان انتشار این آلاینده‌ها را نشان می‌دهد.

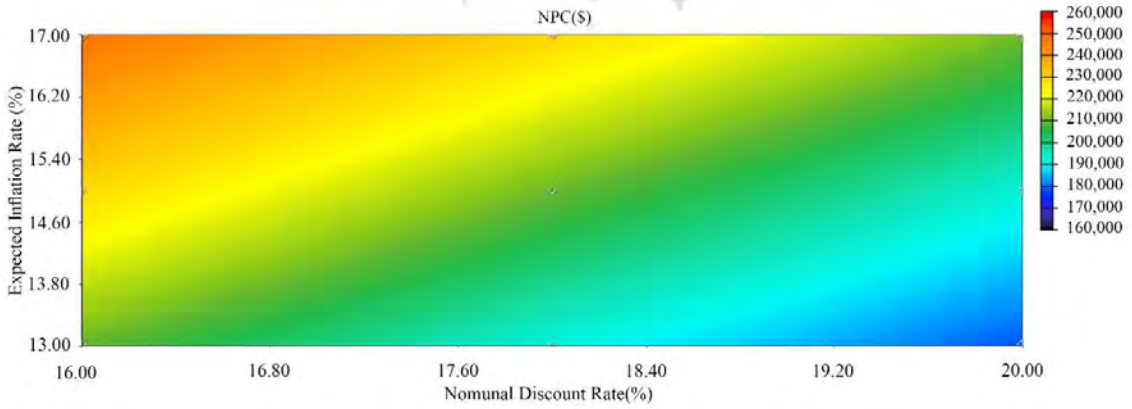
جدول ۳. میزان انتشار آلاینده در سناریوهای مختلف

نوع آلاینده	مقدار انتشار در شرایط عادی (Kg/year)	مقدار انتشار در سیستم ترکیبی (Kg/year)	مقدار انتشار ذخیره‌شده (Kg/year)
کربن دی‌اکسید	۱۰۶/۰۲۲	۴۰/۵۷۵	۶۵/۴۴۷
کربن منوکسید	۹۹/۵	۳۸/۱	۶۱/۴
هیدروکربن نسوخته	۲۸/۹۱۶	۱۱/۰۶۶	۱۷/۸۵۰
ذرات معلق	۱۹/۳	۷/۳۷	۱۱/۹۳
سولفور دی‌اکسید	۲۶۶	۱۰۲	۱۶۴
نیتروژن دی‌اکسید	۳۸۲	۱۴۶	۲۳۶

انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی خسارت‌های فراوانی به همراه دارد که بی‌توجهی به آن در آینده منجر به پرداخت هزینه‌های فراوانی برای شهروندان و دولت‌ها می‌شود. در بسیاری از کشورها جریمه‌هایی را به ازای انتشار هر تن آلاینده در نظر می‌گیرند و از آن، برای درخت‌کاری و یا استفاده از سایر روش‌های موجود برای کاهش خسارت‌های ناشی از انتشار این آلاینده‌ها استفاده می‌کنند. متأسفانه، در ایران این موضوع مورد توجه قرار گرفته نشده است؛ که نتیجهٔ آن، قرارگیری در جزء بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های گازهای گلخانه‌ای در جهان است. این موضوع در کنار ایجاد مشکلات فراوان شهری می‌تواند باعث بروز مشکلات بین‌المللی برای ایران شود و از حضور ایران در قراردادهای بین‌المللی بکاهد. درنتیجه، انتظار می‌رود مسئولان و برنامه‌ریزان شهری با در نظر گرفتن اهمیت این موضوع اقدامات لازم را برای کنترل انتشار این آلاینده‌ها به عمل آورند.

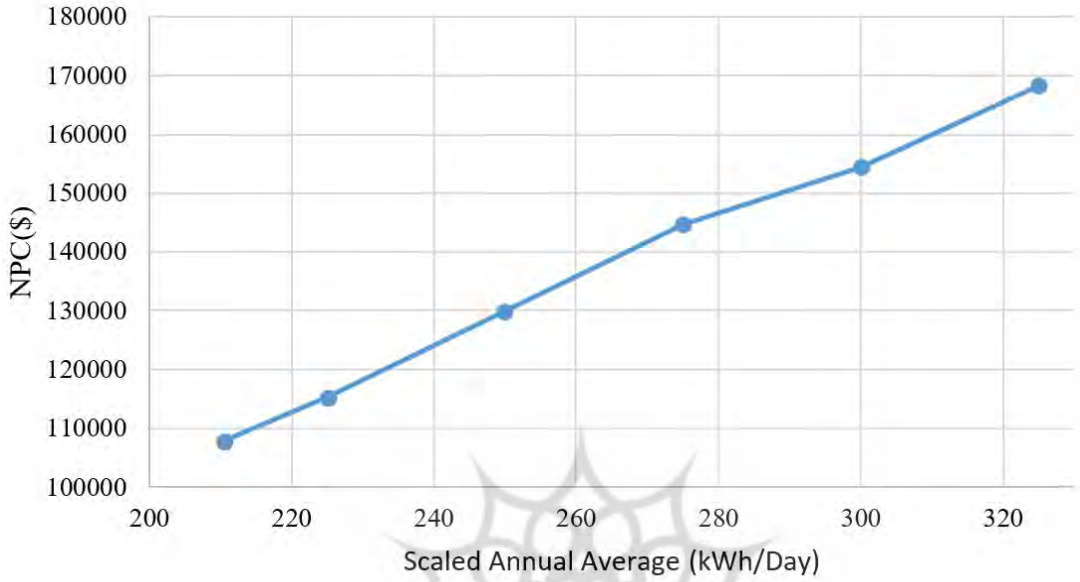
آنالیز حساسیت

مقادیر اعلام‌شده در سناریوی برتر برای نرخ بهرهٔ ۱۶ درصد و نرخ تورم ۱۳ درصد است. بدیهی است که این مقادیر طی مدت پروژه دستخوش تغییراتی شوند که این موضوع روی هزینهٔ خالص فعلی پروژه تأثیر می‌گذارد. شکل ۴ تغییرات میزان هزینهٔ خالص فعلی پروژه را در شرایط تغییر نرخ بهره از مقدار ۱۶ تا ۲۰ درصد و نرخ تورم از مقدار ۱۳ تا ۱۷ درصد نشان می‌دهد.



شکل ۴. آنالیز حساسیت هزینهٔ خالص فعلی پروژه در نرخ تورم و نرخ بهره‌های متفاوت

بـر اسـاس شـکل ۴ بهترین شـرایط از نظر هزینهٔ خالص فعلی شـامل نـرخ بهرهٔ ۲۰ درصـد و نـرخ تـورم ۱۳ درصـد اسـت و با کمتریـن میزان تغییـر در نرخ تـورم یا نرخ بهـره شـاهد تغییرات چشـمگیر هزینهٔ خالـص فعلی پـروژه خواهیم بـود. یکی دیگر از عوامـل مؤثـر بـر تغییر هزینـهٔ خالص فعلی پـروژه نوع محصول زیرکشـت گلخانه اسـت. بـا تغییر نـوع محصول شـاهد تغییر مصـرف انرژی بـرق خواهیم بود؛ شـکل ۵ هزینهٔ خالص فعلی پروژه را براساس تغییر مصرف انرژی برق نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمودار هزینهٔ خالص فعلی پروژه براساس بار الکتریکی مصرفی گلخانه

بـا در اختیـار داشـتن سـابقهٔ بـرق مصرفـی گلخانه‌هـای موجـود در اقلیـم مشـابه و اسـتفاده از نمـودار ۱ می‌تـوان پیش‌بینـی کـرد که میـزان هزینهٔ خالص فعلـی پروژه بـرای هـر گلخانـه چـه مقـدار اسـت. همچنین، می‌تـوان بـا اسـتفاده از نمـودار ۱ و تخمیـن بـرق مصرفـی اجزای مـورد نیاز بـرای تأمین شـرایط محیطـی محصولات کشـاورزی مختلـف؛ هزینهٔ خالـص فعلی بـرای آن محصول را به دسـت آورد. عمدهٔ صیفی‌جـات در بـازهٔ کمتـر از ۲۸۰ هـزار دلار قـرار می‌گیرنـد؛ ایـن مقـدار بـرای محصـول گوجه‌فرنگـی حـدود ۲۴۰ هـزار دلار اسـت. درخـور یـادآوری اسـت ایـن سیسـتم بـرای سـایر محصولاتـی کـه مصرف بـرق اجـزای تأمین شـرایط محیطی مـورد نیـاز آن‌هـا بیشـتر از ۳۲۰ کیلـووات سـاعت در روز بـه ازای هـر هکتار اسـت، توصیه نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

اسـتان تهـران یکـی از اسـتراتژیک‌ترین نقـاط ایـران در صنعـت گلخانـه‌ای اسـت. احـداث گلخانه‌هـای جدیـد بـه عنوان یـک توسـعهٔ شـهری در نظر گرفته می‌شـود کـه ایـن امـر بایـد در راسـتای توسـعهٔ پایدار باشـد تـا بتواند بـه عنوان یـک راه حل مناسـب در نظـر گرفتـه شـود. در ایـن مسـیر، اسـتفاده از انرژی‌هـای تجدیدپذیر به عنـوان یـک اقـدام اجتناب‌ناپذیر تلقـی می‌شـود. در واقـع، پایان‌ناپذیر بـودن و عدم تولیـد آلاینده‌هـا دو عامـل مهـم بـرای مقبولیـت جهانـی در اسـتفاده از انرژی‌های تجدیدپذیـر اسـت. در ایـن پژوهـش تـلاش شـده اسـت تـا از طریـق مدل‌سـازی سیسـتم‌های تولیـد تـوان تجدیدپذیـر متصل بـه شـبکه در نرم‌افزار هومر، سیسـتم بهینـه بـا هـدف کاهـش انتشـار گازهـای گلخانـه‌ای به‌ویـژه کربـن دی‌اکسـید به دسـت آیـد. عـلاوه بـر این، بـه منظـور در نظر گرفتـن احتمـالات آیندهٔ پـروژه، نرخ تـورم و نـرخ بهره با اسـتفاده از قابلیـت آنالیز حساسـیت نرم‌افزار هومر مورد بررسـی قرار گرفته‌اند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد:

• سـناریوی برتـر شـامل پنـل خورشـیدی، توربیـن بـادی و باتـری اسـت که هزینـهٔ خالص فعلـی آن ۲۱۵۶۲۶ دلار و هزینهٔ انـرژی ۰/۰۸۴ دلار به ازای هر کیلـووات سـاعت اسـت. دولـت می‌توانـد بـا اعطـای یارانه‌ها و تضمیـن خرید بـرق تجدیدپذیـر، اسـتفاده از سیسـتم‌های ترکیبـی در کنار اتصال به شـبکه را تشـویق کنـد و بـه دنبـال آن، بخشـی از هـدف کاهـش انتشـار آلاینده‌هـا را تأمیـن کنـد. مناسـب‌ترین منابـع تجدیدپذیـر بـا توجه به دسترسـی آسـان در سراسـر کشـور انـرژی خورشـیدی و بـادی اسـت کـه در کاهـش هزینه‌هـای انرژی نقش مؤثری را ایفا می‌کنند.

• اسـتفاده از سیسـتم هیبریدی پنل خورشـیدی، توربین بادی و باتری در حالت متصـل به شـبکه می‌تواند انتشـار کربن دی‌اکسـید را حـدود ۶۱ درصد کاهش دهـد. کـه از ایـن طریـق می‌تـوان برای مبـارزه بـا تغییـرات اقلیم در راسـتای توسعهٔ پایدار و تعهد به معاهده‌های بین‌المللی اقدام کرد.

• می‌تـوان بـا افزایـش ظرفیـت پنل‌هـای خورشـیدی و تخصیـص مسـاحت بیشـتر سـهم بخـش تجدیدپذیـر را بالاتـر بـرد و حتـی در مـواردی بـه تأمین انـرژی گلخانـه بـدون اتصـال به شـبکه اقـدام کـرد؛ البتـه توصیه می‌شـود تا جـای ممکـن بـرای کاهـش هزینه‌هـا از سیسـتم متصـل به شـبکه اسـتفاده شود.

• بـا تغییـر میزان نرخ تـورم و نرخ بهـره در بدترین حالت میـزان هزینهٔ خالص فعلـی پـروژه بـه انـدازهٔ ۴۷ درصد افزایـش می‌یابـد؛ بنابراین، تأمیـن این مقدار برای جلوگیری از ورشکستگی پروژه امری ضروری است.

• بـا اسـتفاده از نمـودار مصـرف بـرق – هزینـهٔ خالـص فعلـی پـروژه می‌توان پیش‌بینـی کـرد کـه با تغییـر نوع محصـول زیر کشـت گلخانه، هزینـهٔ خالص فعلی پروژه به چه اندازه تغییر می‌کند.

در نهایـت، بـا توجـه بـه بررسـی‌های صورت‌گرفتـه و چالش‌هـای اسـتفاده از منابـع تجدیدپذیـر توصیـه می‌شـود تـا برای ایجـاد تحولـی بـزرگ در صنعت کشـاورزی و کنترل انتشـار گازهای گلخانه‌ای کشـور؛ حمایـت دولت از طریق اعطای وام و تسـهیلات، سیاسـت‌گذاری مناسـب، افزایش آگاهی کشـاورزان، تشویق بخش خصوصی صورت پذیرد.

مشارکت نویسندگان

نویسندهٔ اول، نگارندهٔ مقدمه / پژوهشگر اصلی (۲۵ درصد)؛ نویسندهٔ دوم، / پژوهشگر اصلی / نگارندهٔ روش‌شناسی (۲۵ درصد)؛ نویسندهٔ سوم، نگارندهٔ نتایج و بحث / تحلیلگر آماری (۲۵ درصد)؛ نویسندهٔ چهارم، نگارندهٔ بحث / ویراستار نهایی (۲۵ درصد)

تشکر و قدردانی

موردی از سوی نویسندگان بیان نشده است.

تعارض منافع

این مقاله فاقد تعارض منافع است.

منابع

[1] Rad MAV, Ghasempour R, Rahdan P, Mousavi S, Arastounia M. Techno-economic analysis of a hybrid power system based on the cost-effective hydrogen production method for rural electrification, a case study in Iran. Energy. 2020;190:116421.

[2] Yousefi H, Montazeri M, Rahmani A, editors. Techno-economic Analysis of Wind Turbines Systems to Reduce Carbon Emission of Greenhouses: A Case Study in Iran. 7th Iran Wind Energy Conference (IWEC2021); 2021: IEEE.

[3] Robert FC, Gopalan S. Low cost, highly reliable rural electrification through a combination of grid extension and local renewable energy generation. Sustainable cities and society. 2018;42:344-54.

[4] León JA, Montero G, Coronado MA, García C, Campbell HE, Ayala JR, et al. Renewable energy integration: economic assessment of solar energy to produce biodiesel at supercritical conditions. International Journal of Photoenergy. 2018;2018.

[5] Sorgato M, Schneider K, Rüther R. Technical and economic evaluation of thin-film CdTe building-integrated photovoltaics (BIPV) replacing façade and rooftop materials in office buildings in a warm and sunny climate. Renewable Energy. 2018;118:84-98.

[6] Karmaker AK, Rahman MM, Hossain MA, Ahmed MR. Exploration and corrective measures of greenhouse gas emission from fossil fuel power stations for Bangladesh. Journal of Cleaner Production. 2020;244:118645.

[7] Amin SB, Rahman S. The environment-friendly use of coal in Bangladesh. Energy resources in Bangladesh: Springer; 2019. p. 57-61.

[8] Smith CJ, Forster PM, Allen M, Fuglestvedt J, Millar RJ, Rogelj J, et al. Current fossil fuel infrastructure does not yet commit us to 1.5 C warming. Nature communications. 2019;10(1):1-10.

[9] Eyre N, Darby SJ, Grünewald P, McKenna E, Ford R. Reaching a 1.5 C target: socio-technical challenges for a rapid transition to low-carbon electricity systems. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2018;376(2119):20160462.

[10] Hu J-W, Zheng B-Y, Wang C, Zhao C-H, Hou X-L, Pan Q, et al. A survey on multi-sensor fusion based obstacle detection for intelligent ground vehicles in off-road environments. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering. 2020;21:675-92.

[11] Perea-Moreno A-J, Perea-Moreno M-Á, Hernandez-Escobedo Q, Manzano-Agugliaro F. Towards forest sustainability in Mediterranean countries using biomass as fuel for heating. Journal of Cleaner Production. 2017;156:624-34.

[12] Arasteh Taleshmekaiil MR, Khatibi SMR, Mohemsaz M, Azimi MH, Sadeghpour A. Investigating the effective factors of renewable energy development in tehran metropolis. Mathematical Problems in Engineering. 2021;2021.

[13] Olabi A, Abdelkareem MA. Renewable energy and climate change. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022;158:112111.

[14] Soltani M, Rahmani O, Beiranvand Pour A, Ghaderpour Y, Ngah I, Misnan SH. Determinants of variation in household energy choice and consumption: Case from Mahabad city, Iran. Sustainability. 2019;11(17):4775.

[15] Rahmani O, Rezania S, Beiranvand Pour A, Aminpour SM, Soltani M, Ghaderpour Y, et al. An overview of household energy consumption and carbon dioxide emissions in Iran. Processes. 2020;8(8):994.

[16] Harvey LD. Resource implications of alternative strategies for achieving zero greenhouse gas emissions from light-duty vehicles by 2060. Applied energy. 2018;212:663-79.

[17] Laiola E, Giungato P. Wind characterization in Taranto city as a basis for innovative sustainable urban development. Journal of Cleaner Production. 2018;172:3535-45.

[18] Yousefi H, Roumi S, Tabasi S, Hamlehdar M. Economic and air pollution effects of city council legislations on renewable energy utilisation in Tehran. International Journal of Ambient Energy. 2018;39(6):626-31.

[19] Mandal S, Das BK, Hoque N. Optimum sizing of a stand-alone hybrid energy system for rural electrification in Bangladesh. Journal of Cleaner Production. 2018;200:12-27.

[20] Lau KY, Tan CW, Yatim A. Photovoltaic systems for Malaysian islands: Effects of interest rates, diesel prices and load sizes. Energy. 2015;83:204-16.

[21] Bhattacharjee S, Das R, Deb G, Thakur BN. Techno-Economic Analysis of a Grid-Connected Hybrid System in Portugal Island. Int J Comput Sci Eng. 2019;7:1-14.

[22] Ekren O, Canbaz CH, Güvel ÇB. Sizing of a solar-wind hybrid electric vehicle charging station by using HOMER software. Journal of Cleaner Production. 2021;279:123615.

[23] Islam MS, Akhter R, Rahman MA. A thorough investigation on hybrid application of biomass gasifier and PV resources to meet energy needs for a northern rural off-grid region of Bangladesh: A potential solution to replicate in rural off-grid areas or not? Energy. 2018;145:338-55.

[24] Gökçek M, Kale C. Optimal design of a hydrogen refuelling station (HRFS) powered by hybrid power system. Energy Conversion and Management. 2018;161:215-24.

[25] NASA, 2021. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources. https://power.larc.nasa.gov/. (Accessed 21 May 2021).

[26] Kasaeian A, Rahdan P, Rad MAV, Yan W-M. Optimal design and technical analysis of a grid-connected hybrid photovoltaic/diesel/biogas under different economic conditions: A case study. Energy Conversion and Management. 2019;198:111810.