DOI : 10.52547/irenew.10.2.77

Research Article

Received: 12/02/22

Accepted: 02/26/23

Volume 10, Issue 2, Autumn & Winter 2023, p. p. 77-89

Journal of Renewable and New Energy

jrenew.ir

Online ISSN 2676-2994 Print ISSN 2423-4931

Modeling and technical-economic analysis of the combined cooling, heat & power systems (CCHP) based on a gas engine for use in a greenhouse in Tehran

Jamasb Pirkandi[1*], Morteza Hosseinpour[2], Shabnam Mansoori[3]

1- Associate Professor, Faculty of Aerospace, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
2-Assisstant Professor, Renewable Energy Research Department, Niroo Research institute (NRI), Tehran, Iran.
3-Senior Researcher, Thermal Cycles and Heat Exchangers Research Department, Niroo Research institute (NRI), Tehran, Iran.
* P.O.B. 3159916111, Tehran, Iran, jpirkandi@mut.ac.ir

Received: 02 December 2022 Revised: 5 January 2023 Accepted: 6 February 2023

Abstract

The main purpose of this article is the technical and economic feasibility of CCHP technology for use in a greenhouse in Tehran. In this research, a cucumber greenhouse with an area of 1 hectare, which consists of two structures of 0.5 hectare, has been analyzed and investigated. In order to analyze the technical-economic system used, calculations for four scenarios including the basic and conventional system, CCHP with absorption chiller and selling electricity to the grid, CCHP with absorption chiller and self-supply and CCHP with compression chiller and self-supply accepted. According to the results obtained for each scenario as well as the comparison of the selected scenarios, the greenhouse considered for the implementation of the CCHP system is not economical. The results of the research show that in case of using the CCHP system with absorption chiller and selling electricity to the grid, in order to make the system economical, the minimum rate of buying electricity from these units should be 3223 Rials per kilowatt hour.

Keywords: greenhouse, Technical-economic analysis, CCHP, Inflation, Sensitivity analysis

1. Introduction

Providing electrical, heating and cooling energy in greenhouses is of great importance. Due to the low efficiency of most systems used in greenhouses today, novel energy generation systems have attracted much attention in recent years. Many greenhouses have recently shown interest in modern combined cooling, heating, and power (CCHP) systems. These systems can provide efficient cooling energy to greenhouses for warmer days if combined with absorption chillers [1]. Moreover, they can mitigate productivity issues in greenhouses' mechanical facilities, which are affected by summer heat. The present research conducted a study of the energy costs of greenhouses in Tehran using CCHP systems. To this end, the annual heating and cooling needs of a greenhouse were determined using real climate data from Tehran and by examining the available daily meteorological data, recorded electricity and natural gas prices, and the technical specifications of the CCHP system.

2. The studied greenhouse

A 1-hectare (10000-m2) greenhouse with two 90m×8m 7-entrance structures was considered for the research. A schematic of this greenhouse is displayed in Fig. 1. Also, the product of this greenhouse was considered to be cucumber. For optimal use of the greenhouse, the length of the greenhouse was considered to be perpendicular to the dominant wind, i.e., along the North-South direction, at latitudes lower than 40° in order to maximize exposure to solar radiation. As a result, the entrances were located along the North-South direction. The optimal temperature for cucumber growth and the suitable relative humidity were taken to be 26°C and 75%, respectively. The exterior design was determined based on data from the Meteorological Office of Tehran.

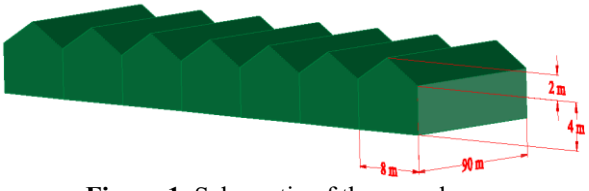


Figure 1. Schematic of the greenhouse

3. Energy consumption in the greenhouse and equipment selection

In order to determine the electrical energy consumed by the greenhouse, the electricity needed for the well pump and the lighting were computed. Electricity consumption by pumps is a deciding factor in electrical load calculations for greenhouses. Moreover, the irrigation cost of a greenhouse is determined by the amount of pumped water and the unit cost of water. The irrigation pump cost depends on the type of energy consumed to provide energy for the pumping unit (Fig. 2). In this research, the pump calculations were performed according to the needs of the greenhouse and the depth of the well [2,3].

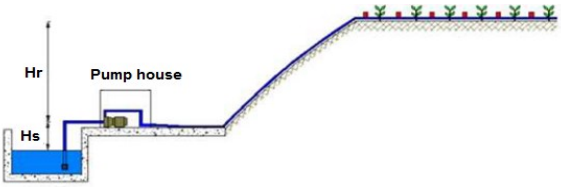


Figure 2. Schematic of supply water by pump

Lighting is another source of energy consumption in greenhouses. Lighting in greenhouses is divided into general lighting and plant-specific lighting. The second type is not common in Iran, and hence the corresponding electrical load was ignored. On the other hand, the electrical load of general lighting can be simply calculated based on the greenhouse area. According to standards, the illuminance of a location such as a greenhouse must be at least 100 lux (i.e., lumen/m2). This means that 1 W/m2 is required using modern lights. An important point in calculating the lighting-related electrical energy is the lighting schedule, which is prepared according to the duration of the day and night [4]. The results for the required heating, cooling, and flow rate obtained from simulations in Carrier software are presented in Table 1. Furthermore, the energy required by the greenhouse in different months was calculated using the EnergyPlus software, with the results shown in Fig. 3.

Table 1. Heating and cooling loads of greenhouse

parameter	value
Heating load	1790.4 [kW]
cooling load	5500.3 [kW]
Air flow rate	387644 [l/s]

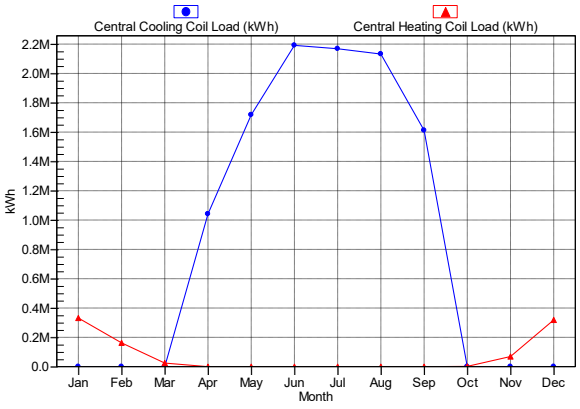


Figure 3. Simulation of Heating and cooling energy required by the greenhouse during one year

4. Price of energy carriers

The price of electricity for production purposes (water and agriculture) was considered as specified in the table prepared by the Iranian Ministry of Energy [5]. On the other hand, based on the latest inquiries from owners of CCHP units, the price of every kWh of electricity generated by cogeneration units is 2800 Iranian Rials (IRR). The price of gas in the industrial sector was also obtained from the tables specified by the Ministry of Energy [6]. According to these tables, the price of gas used by greenhouses in the warm and cold seasons is 1150 IRR/m3 and 690 IRR/m3, respectively. The price of gas for cogeneration power plants differs based on whether the generated electricity is sold to the grid or consumed by the generator. This price is 50 IRR/m3 in the first case and 500 IRR/m3 in the second case [6].

5. Introducing the scenarios investigated in this research

In this research, four scenarios were considered for the technical-economic analysis of the greenhouse.

Scenario 1: CCHP with an absorption chiller and electricity sale to the grid

In this scenario, the CCHP system was assumed to meet the heating and cooling energy demands of the greenhouse and to sell its generated electricity to the grid. This case is appropriate for greenhouses with access to the main grid. The revenues and expenditures of the greenhouse were calculated for this scenario and are presented in Table 2.

Table 2. Greenhouse energy revenues and costs in the first scenario

Parameter	Value
Income from selling electricity to the grid (Rials)	49056000000

Annual gas savings (Rials)	677237760
Annual electricity costs (Rials)	244168988
Annual gas cost (Rials)	1984659811

Scenario 2: CCHP with a self-sustained absorption chiller

This scenario often involves greenhouses that cannot access the main grid and must provide their own electricity. Such greenhouses are usually located in remote areas with no grid presene. The revenues and expenditures of the greenhouse were calculated for this scenario and are presented in Table 3.

Table 3. Greenhouse energy revenues and costs in the second scenario

Parameter	Value
Income from selling electricity to the grid (Rials)	0
Annual gas savings (Rials)	169309440
Annual electricity costs (Rials)	0
Annual gas cost (Rials)	2403505421

Scenario 3: CCHP with a self-sustained compression chiller

This configuration is used when an absorption chiller cannot be used in a greenhouse. High ambient humidity, high dust levels, low availability of water, and the unsuitability of water are among the factors that make it impossible to use an absorption chiller and a cooling tower. In such cases, air-cooled compression chillers are often used. The revenues and expenditures of the greenhouse were calculated for this scenario and are presented in Table 4.

Table 4. Greenhouse energy revenues and costs in the third scenario

Parameter	Value
Income from selling electricity to the grid (Rials)	0
Annual gas savings (Rials)	677237760
Annual electricity costs (Rials)	0
Annual gas cost (Rials)	2108160000

Scenario 4: Base scenario

In this research, an air washer along with a central heating system was considered as the base scenario. The revenues and expenditures of the greenhouse were calculated for this scenario and are presented in Table 5.

Table 5. Greenhouse energy revenues and costs in the base scenario

Parameter	Value
Income from selling electricity to the grid (Rials)	0
Annual gas savings (Rials)	0
Annual electricity costs (Rials)	168826028
Annual gas cost (Rials)	861502890

6. Economic analysis results

This section presents the results of the economic analysis for the three scenarios considered in Tehran and a sensitivity analysis based on the various parameters.

6.1. Analysis of the CCHP system with an absorption chiller and electricity sale to the grid

In this scenario, the previous fixed costs were considered. In addition, piping and installation costs, assumed to be 1% of the fixed costs, were added, and the cost of emergency power, which was unnecessary, was deducted. Furthermore, the variable costs in this scenario were considered to be wages, maintenance and dissipation costs, unforeseen expenses, and the cost of insurance. The wages were specified assuming two personnel. The maintenance and dissipation costs were taken to be 2.5% of the fixed costs based on references [5]. Finally, the unforeseen and insurance expenses were considered to be, respectively, 5% of the wages, maintenance costs, and dissipation and 0.2% of the fixed costs. According to the results, the internal rate of return and the net present value in this scenario were 16.9% and -70892, respectively. Hence, since the internal rate of return was determined to be lower than the discount rate (20%), this scenario was not economical with the given conditions and assumptions. The results indicated that supporting this scenario requires a minimum rate of 3223 Rials per kilowatt hour for purchasing electricity from the CCHP units.

6.2. Analysis of the CCHP system with a self-sustained absorption chiller

Since the greenhouse's location was unspecified, the

required length of the line was considered to be 50 km, and the other parameters were studied using sensitivity analysis. Based on the results, the internal rate of return of this scenario could not be calculated (since the revenue streams of all the years were negative) and the net present value was -220872. Consequently, this scenario was not economical with the given conditions and assumptions. The research results show that if the greenhouse is located where there is a need for 176 km of transmission lines, the net present value becomes zero, making the scenario economical.

6.3. Analysis of the CCHP system with a self-sustained compression chiller

Based on the results, the internal rate of return of this scenario could not be calculated (since the revenue streams of all the years were negative), and the net present value was -440180. Consequently, this scenario was not economical with the given conditions and assumptions. As mentioned previously, the CCHP-equipped greenhouse was assumed to be at a location requiring 50 km of transmission lines. The inflation rate was used to calculate the variable expenditures and revenues after the base year. Studies indicated that this scenario becomes more economical with a reduction in inflation since the investment cash flow, which is negative in this scenario, decreases. On the other hand, the results showed that if the greenhouse is located where there is a need for 302 km of transmission lines, the net present value becomes zero, and the scenario becomes economical.

7. Conclusions

Based on the results, the following three overall conclusions can be made:

For the CCHP system with an absorption chiller and electricity sale to the grid, the internal rate of return and the net present value were 16.9% and -70892, respectively. The results indicated that supporting this scenario requires a minimum rate of 3223 rials per kilowatt hour for purchasing electricity from the CCHP units. Moreover, this scenario becomes economical with an increase in the inflation rate to 18.5% while the other variables are fixed.

Based on the results, the internal rate of return of the CCHP system with the self-sustained absorption chiller could not be calculated (since the revenue streams of all the years were negative), and the net present value was -220872. Consequently, this scenario was not economical with the given conditions and assumptions. The research results show that if the greenhouse in this system is located where 176 km of transmission lines are required, the net present value becomes zero, making the scenario economical.

The internal rate of return of the CCHP system with the self-sustained compression chiller could not be calculated (since the revenue streams of all the years were negative), and the net present value was -440180. Consequently, this scenario was not economical with the given conditions and assumptions. Moreover, the results indicated that this scenario becomes more economical with a reduction in inflation since the investment cash flow, which is negative in this scenario, decreases. On the other hand, if the greenhouse is located where there is a need for 302 km of transmission line, the net present value becomes zero, and the scenario becomes economical.

8. References

[1] B. J. Bailey, R. G. Ellis, The potential for using combined heat and power (CHP) in greenhouses, *Divisional Note*, DN 1523. AFRC Institute of Engineering Research, Silsoe, UK, 1989.

[2] NSW Farmers, Diesel versus electric pumps, 2014.

[3] D. L. Martin, T. W. Dorn, S. R. Melvin, A. J. Corr, and W. L. Kranz, Evaluating energy use for pumping irrigation water, *Proc. Proceedings of the 2011 Central Plains irrigation conference*, Burlington, Colorado, February 22-23, Colorado State University. Libraries.

[4] M. Mahdavian, and N. Wattanapongsakorn, Optimizing greenhouse lighting for advanced agriculture based on real time electricity market price, *Mathematical Problems in Engineering*, 2017.

[5] *Ministry of Energy,* Accessed 20 February 2021; https://www.moe.gov.ir.

[6] *National Iranian Gas Company*, Accessed 20 February 2021; http://www.nigc.ir.

سال دهم، شماره دوم، پاییز و زمستان 1402، ص ص 77- 89
فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
jrenew.ir
مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: 01/09/11
تاریخ پذیرش: 01/12/07

مدلسازی و تحلیل فنی - اقتصادی یک سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP) بر پایه موتور گازسوز جهت کاربرد برای یک گلخانه در شهر تهران

جاماسب پیرکندی[1*]، مرتضی حسین‌پور[2]، شبنم منصوری[3]

1- دانشیار، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران
2- استادیار، گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
3- کارشناس ارشد، گروه پژوهشی سیکل و مبدل های حرارتی، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
* تهران، صندوق پستی 3159916111، jpirkandi@mut.ac.ir

چکیده

تأمین انرژی الکتریکی، حرارتی و برودتی در گلخانه‌ها موضوع بسیار مهمی است. با توجه به راندمان پایین بیشتر سیستم‌های مرسوم در گلخانه‌ها، استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP) در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. هدف عمده این مقاله امکان‌سنجی فنی و اقتصادی تکنولوژی CCHP جهت کاربرد در یک گلخانه و برای شهر تهران است. در این پژوهش گلخانه خیاری با مساحت 1 هکتار که از دو سازه 0/5 هکتاری تشکیل شده، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. به منظور تحلیل فنی- اقتصادی سیستم استفاده شده، محاسبات برای چهار سناریو شامل سیستم پایه و مرسوم، CCHP با چیلر جذبی و فروش برق به شبکه، CCHP با چیلر جذبی و خودتأمین و CCHP با چیلر تراکمی و خودتأمین صورت پذیرفته است. با توجه به نتایج بدست آمده برای هر سناریو و همچنین مقایسه سناریوهای انتخابی، گلخانه در نظر گرفته شده جهت پیاده‌سازی سیستم CCHP اقتصادی نیست. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در صورت استفاده از سیستم CCHP با چیلر جذبی و فروش برق به شبکه، جهت اقتصادی شدن سیستم حداقل نرخ خرید برق از این واحدها باید 3223 ریال به ازای هر کیلووات ساعت باشد. در سیستم CCHP با چیلر جذبی و خودتأمین، چنانچه موقعیت گلخانه به نحوی باشد که نیاز به 176 کیلومتر خط انتقال باشد این سناریو اقتصادی می‌گردد.

کلیدواژگان: گلخانه، تحلیل فنی- اقتصادی، سیستم تولید همزمان، نرخ تورم، آنالیز حساسیت

Modeling and technical-economic analysis of the combined cooling, heat & power systems (CCHP) based on a gas engine for use in a greenhouse in Tehran

Jamasb Pirkandi[1*], Morteza Hosseinpour[2], Shabnam Mansoori[3]

1- Associate Professor, Faculty of Aerospace, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
2-Assisstant Professor, Renewable Energy Research Department, Niroo Research institute (NRI), Tehran, Iran.
3-Senior Researcher, Thermal Cycles and Heat Exchangers Research Department, Niroo Research institute (NRI), Tehran, Iran.
* P.O.B. 3159916111 Tehran, Iran, jpirkandi@mut.ac.ir

Received: 02 December 2022 Accepted: 6 February 2023

Abstract

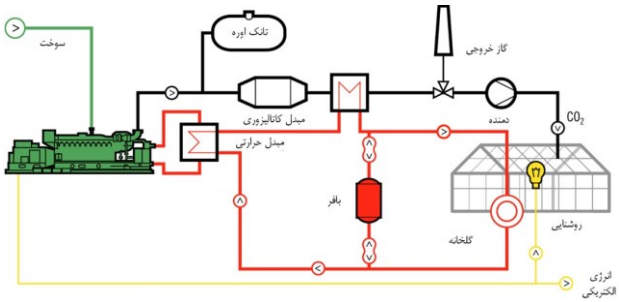
Providing electrical, thermal and cooling energy in greenhouses is a very important issue. Due to the low efficiency of most of the conventional systems in greenhouses, the use of simultaneous production of electricity, heat and cooling (CCHP) systems has been highly considered in recent years. The main purpose of this article is the technical and economic feasibility of CCHP technology for use in a greenhouse in Tehran. In this research, a cucumber greenhouse with an area of 1 hectare, which consists of two structures of 0.5 hectare, has been analyzed and investigated. In order to analyze the technical-economic system used, calculations for four scenarios including the basic and conventional system, CCHP with absorption chiller and selling electricity to the grid, CCHP with absorption chiller and self-supply and CCHP with compression chiller and self-supply accepted. According to the results obtained for each scenario as

well as the comparison of the selected scenarios, the greenhouse considered for the implementation of the CCHP system is not economical. The results of the research show that in case of using the CCHP system with absorption chiller and selling electricity to the grid, in order to make the system economical, the minimum rate of buying electricity from these units should be 3223 Rials per kilowatt hour. In the CCHP system with absorption chiller and self-supply, if the location of the greenhouse is such that 176 kilometers of transmission line is needed, this scenario becomes economical.

Keywords: greenhouse, Technical-economic analysis, CCHP, Inflation, Sensitivity analysis

1- مقدمه

تأمین انرژی الکتریکی، حرارتی و برودتی در گلخانه‌ها موضوع بسیار مهمی است. با توجه به راندمان پایین بیشتر سیستم‌های مرسوم در گلخانه‌ها، استفاده از سیستم‌های تولید انرژی جدید در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. در این میان سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP) سیستم جدیدی بوده و در سال‌های اخیر گلخانه‌های زیادی تمایل به استفاده از این سیستم‌های نوین دارند (شکل 1). سیستم‌های تولید همزمان انرژی به طور کلی یک فناوری مقرون به صرفه بوده و در گلخانه‌های مدرن به دلیل شدت نیاز به انرژی، یکی از بهترین کاربردهای این نوع فناوری محسوب می‌شوند. با توجه به اینکه در چنین مواردی هزینه تولید انرژی به میزان قابل توجهی تحت تأثیر هزینه انرژی قرار دارد، پتانسیل موجود در نیروگاه ترکیبی می‌تواند تا حد زیادی هزینه‌ها را کاهش دهد. این موضوع قبلاً در خیلی از کشورهای جهان مورد آزمایش قرار گرفته است. این سیستم‌ها در صورت ترکیب با چیلر جذبی می‌توانند به طور مؤثر انرژی خنک کننده مفیدی را جهت استفاده در روزهای گرم در گلخانه فراهم کند. چنین سیستم‌هایی می‌توانند مشکلات بهره‌وری در تأسیسات مکانیکی گلخانه‌هایی را که تحت تأثیر آب و هوای گرم تابستان هستند، کاهش دهند.



شکل 1 کاربرد سیستم تولید همزمان در گلخانه

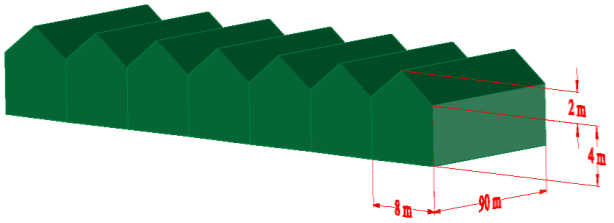
از جمله تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌توان به تحقیق بلی و همکاران [1] در سال 1989 اشاره کرد. آنها در این تحقیق به بررسی به‌کارگیری سیستم‌های CHP مقیاس کوچک در گلخانه‌ها پرداختند. دی‌ال‌کریتن و همکاران در سال 2001 یک گلخانه مجهز به سیستم CHP را مورد بررسی قرار دادند. مساحت این گلخانه 6790 مترمربع بوده و نوع محرک اولیه در آن توربین‌گاز است. در این پژوهش به بررسی جامع جنبه‌های فیزیکی و مهندسی تهویه و جریان هوا برای پشتیبانی از مطالعات حرارتی گسترده گلخانه پرداخته شده است [2]. ریتز در سال 2002 به نصب یک میکرو توربین گازی برای یک سیستم CHP در یک گلخانه جهت افزایش باروری محصولات پرداخت [3]. چوو و همکاران در سال 2004 یک گلخانه از دیدگاه ترمودینامیکی را مورد بررسی قرار دادند که مبتنی بر فرآیندهای انتقال حرارت اولیه بوده است. در این مقاله به بررسی عملکرد پمپ حرارتی به منظور نیازهای گرمایش و رطوبت گلخانه پرداخته شده و بر اساس یک الگوی اب و هوایی در بانکوک، عملکرد پمپ حرارتی در روز 27 درجه سانتی‌گراد و در شب 18 درجه سانتی گراد با رطوبت نسبی 40٪ مورد ارزیابی قرار گرفته است [4]. نوردن استروم و همکاران در سال 2004 به بررسی تأثیر سیستم‌های CHP بر میزان باروری محصولات گلخانه‌ای پرداختند. گوجه‌فرنگی یک محصول معمول مورداستفاده در کشورهای اسکاندیناوی است، جایی که گوجه‌فرنگی‌های محلی رشد می‌کنند و باید در گلخانه‌ها کشت شوند، در بیشتر قسمت‌های سال گرم می‌شوند [5]. راسلاویکوس و همکاران در سال 2011، به بررسی سیستم‌های تولید همزمان در صنایع کشاورزی پرداختند. در این مقاله به بررسی مزایای استفاده از سیستم‌های تولید همزمان کوچک پرداخته‌شده است. هدف این مقاله ارائه جنبه‌های فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی امکانات استفاده از بیودیزل، مخلوط‌های دیزل معمولی بیودیزل و روغن کلزا در تولید گرما و تولید برق برای صنایع گلخانه‌ای و کشاورزی است [6]. کامپرنول و همکاران در سال 2011 یک گلخانه مجهز به سیستم CHP را از دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی مورد بررسی قرار دادند. نوع محرک اولیه در این گلخانه موتور احتراق داخلی است. این تحقیق با استفاده از دو مورد تفصیلی سیستم تولید همزمان، فرصتهای اقتصادی و زیست محیطی را بررسی می‌کند. ارزش فعلی خالص برای بررسی امکان سنجی اقتصادی محاسبه می‌شود و صرفه جویی در مصرف انرژی اولیه، شاخص کاهش انتشار CO_2 و تراز انتشار مورد بررسی قرار می گیرد. نتایج نشان می‌دهد که یک سیستم CHP دارای دوام اقتصادی است و میزان انتشار CO_2 را کاهش می‌دهد [7]. مورتن و همکاران در سال 2012، به بررسی و امکان‌سنجی یک نیروگاه CHP با سوخت زیست‌توده برای گلخانه‌های تجاری پرداختند [8]. مهرپویا و همکاران در سال 2015 تحقیقی در زمینه طراحی بهینه از مجموعه انرژی خورشیدی و سیستم احتراق داخلی مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق طراحی بهینه از جمع کننده خورشیدی و سیستم پمپ حرارتی مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم مذکور باید به عنوان نمونه از گرمای یک گلخانه استفاده کند. هدف اصلی ما تجزیه و تحلیل سیستم از دیدگاه اقتصادی و فنی به طور همزمان است [9]. همایونی و همکاران در سال 2016 به تجزیه و تحلیل فنی و اقتصادی و زیست محیطی یک سیستم تولید همزمان CCHP برای تأمین بارهای یک گلخانه در ایران پرداخته‌اند. در این مقاله به بررسی عملکرد فنی و اقتصادی و زیست محیطی سیستم های انرژی خورشیدی برای تأمین نیازهای خنک کننده ، گرمایشی و توان یک گلخانه مستقل در ایران برای دستیابی به کشاورزی پایدار بر اساس یک روش بهینه سازی مورد بررسی قرار گرفت [10]. بوچ و همکاران در سال 2019 به ارائه یک کتابخانه جهت شبیه‌سازی سیستم آب و هوایی و انرژی در گلخانه‌ها پرداختند. در این مقاله

نتایج یک پروژه درحال‌توسعه برای توسعه گلخانه‌ها، یک کتابخانه باز برای شبیه‌سازی آب‌وهوای گلخانه‌ای و سیستم‌های انرژی ارائه‌شده است [11]. تاتارکی و همکاران در سال 2019 به بررسی سیستم‌های تولید همزمان در واحدهای گلخانه‌ای پرداختند [12]. گریزی و همکاران در سال 2020 به بررسی استفاده از انرژی خورشیدی برای گرمایش، سرمایش و رطوبت زنی در گلخانه‌های گوجه‌فرنگی در فرانسه پرداختند [13]. تاتارکی و همکاران در سال 2020 به بررسی اقتصادی تولید همزمان برای گلخانه ها در اروپا پرداختند. سیستم تولید همزمان یک فناوری مقرون به صرفه است و گلخانه‌های مدرن به دلیل شدت انرژی مصرفی در آنها، یکی از بهترین کاربردهای سیستم‌های تولید هم زمان محسوب می شوند. با توجه به اینکه در در این مطالعه، بررسی مقایسه ای هزینه انرژی گلخانه ای در همه کشورهای اروپایی با استفاده از سیستم CCHP ارائه شده است [14]. محمودی وهمکاران یک سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت را با جاذب دی اکسید کربن جهت کاربرد در گلخانه‌ای در شهر تهران مورد تحلیل فنی و اقتصادی قرار دادند [15]. بررسی تاریخچه کار نشان می‌دهد تحلیل فنی و اقتصادی سیستم‌های CCHP در گلخانه‌ها کمتر مورد توجه محققان بوده است. با توجه به اهمیت گلخانه‌ها و مصرف بالای انرژی الکتریکی، حرارتی و برودتی در آنها در این مقاله یک تحلیل فنی و اقتصادی برای یک گلخانه مشخص در شهر تهران انجام شده است.

در این مقاله یک بررسی در مورد هزینه انرژی گلخانه‌ها در شهر تهران از طریق استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP) ارائه شده است. با استفاده از داده‌های واقعی اقلیم تهران و با بررسی داده‌های هواشناسی روزانه در دسترس، قیمت واقعی برق و گاز طبیعی ثبت شده و ویژگی‌های فنی سیستم CCHP، نیازهای سالانه گرمایش و سرمایش گلخانه تعیین می شود. با فرض یک واحد تولید همزمان با موتور احتراق داخلی (ICE) به عنوان یک محرک اصلی و همچنین یک چیلر جذب تک اثر برای تولید برودت، هزینه انرژی به همراه هزینه سالانه گرمایش و سرمایش برای یک منطقه کشت واحد برآورد شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، نسبت جرقه (نسبت قیمت برق به گاز طبیعی) مهمترین پارامتر برای برآورد هزینه‌های گلخانه است. برای کشورهایی که این نسبت از 3 بزرگتر است، گلخانه‌ها حتی می‌توانند به جای هزینه های انرژی باعث ایجاد جریان اضافی پول شوند.

2- معرفی گلخانه مورد بررسی

برای تحقیق انجام شده یک گلخانه 1 هکتاری (10000 مترمربع) با 2 سازه 7 دهانه 8×90 متری در نظر گرفته شده است. شماتیک این گلخانه در شکل 2 نشان داده شده است. محصول تولید شده در این گلخانه خیار در نظر گرفته شده است. جهت استفاده مناسب از گلخانه طول گلخانه نسبت به جهت باد غالب منطقه عمود بوده و در عرض‌های پایین‌تر از 40 درجه در امتداد شمال-جنوب لحاظ شده تا حداکثر بهره از تابش خورشید گرفته شود. در نتیجه دهانه‌های ورودی گلخانه در راستای شمال-جنوب هستند.

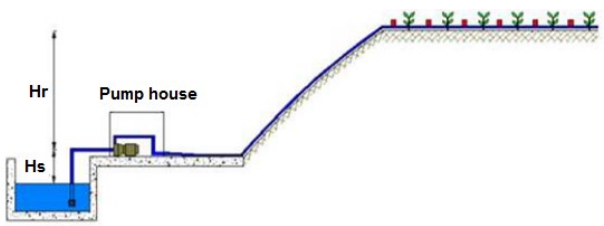


شکل 2 شماتیک گلخانه مورد بررسی و ابعاد آن

جهت تعیین شرایط طرح داخل گلخانه، دمای مطلوب برای رشد خیار 26 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی مناسب هم 75٪ لحاظ شده است. شرایط طرح خارج برای شهر تهران از اطلاعات اداره هواشناسی استخراج شده است. لازم به ذکر است که این اطلاعات تنها برای محاسبه بارهای حرارتی و برودتی و انتخاب تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرند. جهت محاسبه انرژی مصرفی گلخانه اطلاعات مورد نیاز آب و هوایی 8760 ساعته مورد نیاز است که این اطلاعات با فرمت epw و از سایت انرژی پلاس دریافت شده است. در این تحقیق در حالت پایه برای توزیع هوای گرم و سرد در گلخانه از دستگاه هواساز و برای تولید انرژی حرارتی و برودتی از دیگ و چیلر استفاده شده است.

3- محاسبه انرژی‌های مصرفی در گلخانه و انتخاب تجهیزات

برای محاسبات انرژی الکتریکی گلخانه، برق مورد نیاز پمپ چاه آب گلخانه و سیستم روشنایی آن محاسبه شده است. مصرف برق در پمپ‌های گلخانه یکی از پارامترهای مهم در محاسبات بار الکتریکی آن است. هزینه آبیاری یک گلخانه با توجه به میزان پمپاژ آب و هزینه استفاده از یک واحد آب تعیین می‌شود. هزینه پمپاژ آب آبیاری به نوع انرژی مصرفی برای تأمین انرژی واحد پمپاژ بستگی دارد (شکل 3). بررسی‌ها نشان می‌دهد در اغلب گلخانه‌ها (حدود 76٪) از برق و سوخت دیزل برای تأمین انرژی آبیاری استفاده می‌شود. به شرط دسترسی آسان به برق شبکه، تبدیل از پمپ‌های دیزل به الکتریکی باعث بهبود کارایی پمپاژ و کاهش هزینه‌ها می‌شود. بازده معمول برای پمپ‌های سانتریفیوژ الکتریکی بین 70 تا 80 درصد است، در حالی که پمپ‌های دیزل فقط 30 تا 40 درصد کارایی دارند. از دیگر مزایای پمپ‌های برقی می‌توان به نیازهای نگهداری کمتر، اثرات زیست محیطی کمتر و کنترل پمپ با سهولت بیشتری (مانند درایو های با سرعت متغیر) اشاره کرد. در این تحقیق با توجه به نیاز گلخانه و عمق چاه محاسبات پمپ گلخانه انجام شده است [16 و 17].



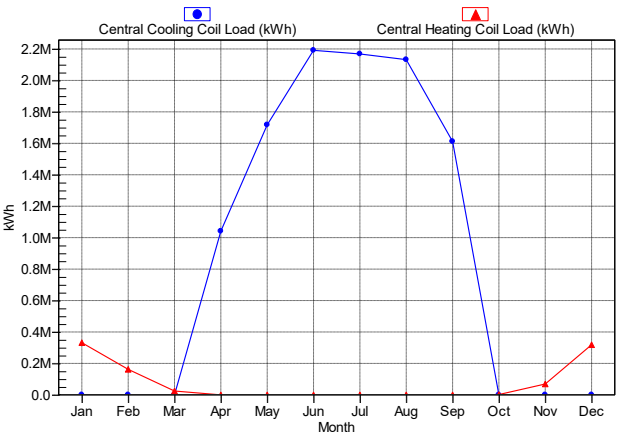
شکل 3 شماتیک نحوه تأمین آب توسط پمپ

از مصارف الکتریکی دیگر گلخانه سیستم روشنایی گلخانه است. روشنایی در گلخانه‌ها به دو دسته روشنایی عمومی و روشنایی جهت رشد گیاهان تقسیم‌بندی می‌شود. بررسی آماری گلخانه‌های موجود در ایران نشان می‌دهد

که با توجه به شدت تابش مناسب در ایران، در بیشتر گلخانه‌ها جهت کاهش هزینه‌های برق از نور طبیعی خورشید جهت رشد گیاهان استفاده می‌کنند. ساختار و بدنه بیشتر گلخانه‌ها در ایران طوری است که نور خورشید بتواند وارد گلخانه شده و باعث رشد گیاهان شود. از سوی دیگر استفاده از نور چراغ برای رشد گیاهان هزینه زیادی به بهره بردار تحمیل می‌کند. با توجه به موارد فوق استفاده از روشنایی جهت رشد گیاهان در ایران کاربرد چندانی نداشته و در نتیجه از بار الکتریکی ناشی از آن صرف نظر می‌گردد. اما بار الکتریکی روشنایی عمومی با توجه به مساحت گلخانه به سادگی قابل محاسبه است. طبق استاندارد برای فضایی مانند گلخانه شدت روشنایی حداقل بایستی برابر 100 لوکس (لومن بر متر مربع) باشد. با توجه به لامپ‌های جدید 1 وات به ازای هر متر مربع نیاز است. نکته مهم در محاسبه انرژی الکتریکی ناشی از روشنایی، برنامه زمانبندی روشنایی بوده که با توجه به طول روز و شب تهیه می‌شود [18]. محاسبات بارهای سرمایشی و گرمایشی گلخانه نیز از موارد مهم در انتخاب تجهیزات و تحلیل اقتصادی سیستم است. با توجه به شبیه‌سازی انجام شده در نرم‌افزار کریر نتایج مربوط به محاسبات بارهای حرارتی، برودتی و دبی هوای مورد نیاز گلخانه در جدول 1 ارائه شده است. میزان انرژی مورد نیاز گلخانه در ماه‌های مختلف سال نیز با نرم‌افزار انرژی پلاس محاسبه و نتایج آن در شکل 4 ارائه شده است.

جدول 1 بارهای حرارتی، برودتی و دبی هوای مورد نیاز گلخانه در شهر تهران

پارامتر	مقدار
بار حرارتی [kW]	1790.4
بار برودتی [kW]	5500.3
میزان دبی هوا [L/s]	387644



شکل 4 شبیه‌سازی انرژی حرارتی و برودتی مورد نیاز گلخانه در طول یک سال

4- قیمت حامل‌های انرژی

یکی از موارد مهم در تحلیل اقتصادی مشخص نمودن قیمت حامل‌های انرژی است. قیمت تعرفه برق در مصارف تولیدی (آب و کشاورزی) مطابق اعلام وزارت نیرو و طبق جدول اعلام شده لحاظ شده است [19]. از طرف دیگر طبق آخرین استعلام گرفته شده از دارندگان واحدهای CCHP، قیمت خرید هر کیلووات ساعت برق تولیدی واحدهای تولید همزمان برابر 2800 ریال است. لازم به ذکر است این نرخ به صورت فصلی با توجه به تغییرات نرخ ارز و سایر شرایط تغییر می‌کند [19]. تعرفه گازبها در بخش غیرخانگی از جداول مربوط به وزارت نیرو استخراج شده است [20]. طبق این جدول تعرفه گاز مصرفی گلخانه‌ها در فصول گرم و سرد سال به ترتیب برابر 1150 و 690 ریال به ازای هر متر مکعب است. قیمت گاز نیروگاه‌های تولید همزمان با توجه به اینکه برق تولیدی نیروگاه به شبکه فروخته شود و یا اینکه توسط تولیدکننده مصرف شود (مصرف کننده خودتأمین)، متفاوت است. در حالت اول یعنی فروش کامل برق تولیدی به شبکه، قیمت هر متر مکعب گاز شهری برابر 50 ریال و در حالت دوم یعنی مصرف برق تولید شده توسط خود تولید کننده برابر 500 ریال است [20].

5- معرفی حالت‌های مختلف انتخابی و تعیین هزینه‌های ثابت و جاری

در این تحقیق برای تحلیل فنی- اقتصادی گلخانه چهار حالت مختلف در نظر گرفته شده است.

حالت اول: CCHP با چیلر جذبی و فروش برق به شبکه

در این حالت سیستم CCHP طوری لحاظ شده است که انرژی حرارتی و برودتی گلخانه را تامین کرده و برق تولیدی خود را به شبکه بفروشد. در این حالت گلخانه برق مورد نیاز خود را از شبکه سراسری خریداری نموده و برق تولیدی توسط موتور سیستم CCHP طبق یک قرارداد به شبکه سراسری فروخته می‌شود. این حالت برای گلخانه‌هایی مناسب است که به شبکه برق سراسری دسترسی دارند. در جدول 2 تجهیزات مورد نیاز گلخانه 1 هکتاری برای این حالت محاسبه شده است. همچنین درآمدها و هزینه‌های این گلخانه در این حالت محاسبه و در جدول 3 ارائه شده است.

جدول 2 تجهیزات مورد استفاده در گلخانه 1 هکتاری شهر تهران برای سناریو CCHP با چیلر جذبی و فروش برق به شبکه

تجهیزات	ظرفیت محاسباتی	ظرفیت انتخابی	تعداد	قیمت کل (ریال)	توان مصرفی کل [kW]
چیلر جذبی آبگرم [Ton]	1564	400	4	160,000,000,000	16
برج خنک‌کن [Ton]	600	600	4	3,936,000,000	44
هواساز [CFM]	821,372	50,000	16	---	160
دیگ [kcal/h]	1,539,518	1,000,000	2	---	---
موتور [kW]	1567	500	4	242,219,800,000	---

جدول 3 درآمدها و هزینه‌های انرژی گلخانه 1 هکتاری شهر تهران برای سناریو CCHP با چیلر جذبی و فروش برق به شبکه

پارامتر	مقدار
درآمد فروش برق به شبکه (ریال)	49,056,000,000
صرفه‌جویی گاز سالیانه (ریال)	677,237,760
هزینه‌های برق سالیانه (ریال)	244,168,988
هزینه دیماند (ریال)	8,224,920
هزینه برق چیلر (ریال)	10,314,000
هزینه برق هواساز (ریال)	22,003,200

هزینه برق پمپ (ریال)	76,356
بهای قدرت (kW/ریال)	37386
بهای انرژی (kWh/ریال)	382
بهای قدرت پمپ آب (kW/ریال)	0
بهای انرژی پمپ آب (kWh/ریال)	151
هزینه گاز سالیانه (ریال)	1,984,659,811
هزینه گاز سالیانه موتور (ریال)	210,816,000
هزینه گاز ماهیانه چیلر (ریال)	295,640,635

حالت دوم: CCHP با چیلر جذبی و خودتأمین

این حالت اغلب برای گلخانه‌هایی لحاظ می‌شود که به شبکه سراسری برق دسترسی نداشته و باید برق خود را به صورت مستقل تامین نمایند. این گلخانه‌ها اغلب در مناطق دوردست قرار داشته و شبکه برق سراسری در آنجا وجود ندارد. در برخی مواقع نیز هزینه انتقال شبکه به این مناطق بالا بوده و مقرون به صرفه نیست. در این حالت علاوه بر بار گرمایش و سرمایش کل بار الکتریکی گلخانه باید توسط سیستم تولید همزمان تامین شود.

در جدول 4 تجهیزات مورد نیاز گلخانه 1 هکتاری در این حالت محاسبه شده است. همچنین درآمدها و هزینه‌های این گلخانه در این حالت محاسبه و در جدول 5 ارائه شده است.

جدول 4 تجهیزات مورد استفاده در گلخانه 1 هکتاری شهر تهران برای سناریو CCHP با چیلر جذبی و خودتأمین

تجهیزات	ظرفیت محاسباتی	ظرفیت انتخابی	تعداد	قیمت کل (ریال)	توان مصرفی کل [kW]
چیلر جذبی آبگرم [Ton]	1564	400	4	160,000,000,000	16
برج خنک‌کن [Ton]	600	600	4	3,936,000,000	44
هواساز [CFM]	821,372	50,000	16	---	160
دیگ [kcal/h]	1,539,518	1,000,000	2	---	---
موتور [kW]	1567	500	1	60,554,950,000	---

جدول 5 درآمدها و هزینه‌های انرژی گلخانه 1 هکتاری شهر تهران برای سناریو CCHP با چیلر جذبی و خودتأمین

پارامتر	مقدار
درآمد فروش برق به شبکه (ریال)	0
صرفه‌جویی گاز سالیانه (ریال)	169,309,440
هزینه‌های برق سالیانه (ریال)	0
هزینه گاز سالیانه (ریال)	2,403,505,421
هزینه گاز سالیانه موتور (ریال)	527,040,000
هزینه گاز ماهیانه چیلر (ریال)	312,744,237

حالت سوم: CCHP با چیلر تراکمی و خودتأمین

این حالت برای زمانی لحاظ شده که در گلخانه نمی‌توان از چیلر جذبی استفاده کرد. مرطوب بودن هوای منطقه، بالا بودن گرد و غبار در هوا، کم بودن آب و نامناسب بودن آب منطقه از جمله دلایلی است که نمی‌توان از چیلر جذبی و برج خنک کن استفاده نمود. در این گونه مواقع اغلب از چیلرهای تراکمی هواخنک استفاده می‌شود. مشکل بزرگ چیلرهای هوای خنک مصرف برق بالای آنها بوده و سیستم تولید همزمان باید علاوه بر تامین برق مورد نیاز گلخانه (روشنایی، پمپ و ...) باید برق مورد نیاز چیلر را هم تامین کند. در جدول 6 تجهیزات مورد نیاز گلخانه در این حالت محاسبه شده است. همچنین درآمدها و هزینه‌های گلخانه در این حالت محاسبه و در جدول 7 ارائه شده است.

جدول 6 تجهیزات مورد استفاده در گلخانه 1 هکتاری شهر تهران برای سناریو CCHP با چیلر تراکمی و خودتأمین

تجهیزات	ظرفیت محاسباتی	ظرفیت انتخابی	تعداد	قیمت کل (ریال)	توان مصرفی کل [kW]
چیلر تراکمی هواخنک [Ton]	1564	400	4	160,000,000,000	1310
هواساز [CFM]	821,372	50,000	16	---	160
دیگ [kcal/h]	1,539,518	1,000,000	2	---	---
موتور [kW]	1567	500	4	242,219,800,000	---

جدول 7 درآمدها و هزینه‌های انرژی گلخانه 1 هکتاری شهر تهران برای سناریو CCHP با چیلر تراکمی و خودتأمین

پارامتر	مقدار
درآمد فروش برق به شبکه (ریال)	0
صرفه‌جویی گاز سالیانه (ریال)	677,237,760
هزینه‌های برق سالیانه (ریال)	0
هزینه گاز سالیانه (ریال)	2,108,160,000

حالت چهارم: حالت پایه

در این تحقیق برای حالت پایه سیستم سرمایش تبخیری (ایرواشر) به همراه سیستم گرمایش مرکزی لحاظ شده است. در جدول 8 تجهیزات مورد نیاز گلخانه برای حالت پایه محاسبه شده است. درآمدها و هزینه‌های گلخانه در این حالت محاسبه و در جدول 9 ارائه شده است.

جدول 8 تجهیزات مورد استفاده در گلخانه 1 هکتاری شهر تهران برای سناریو پایه

تجهیزات	ظرفیت محاسباتی	ظرفیت انتخابی	تعداد	قیمت کل (ریال)	توان مصرفی کل [kW]
ایرواشر [CFM]	821,372	50,000	16	---	160
دیگ [kcal/h]	1,539,518	1,000,000	2	---	---

جدول 9 درآمدها و هزینه‌های انرژی گلخانه 1 هکتاری شهر تهران برای سناریو پایه

پارامتر	مقدار

درآمد فروش برق به شبکه (ریال)	0
صرفه‌جویی گاز سالیانه (ریال)	0
هزینه‌های برق سالیانه (ریال)	168,826,028
هزینه دیماند (ریال)	5,981,760
هزینه برق ایرواشر (ریال)	22,003,200
هزینه برق پمپ (ریال)	76,356
بهای قدرت (kW/ریال)	37386
بهای انرژی (kWh/ریال)	382
بهای قدرت پمپ آب (kW/ریال)	0
بهای انرژی پمپ آب (kWh/ریال)	151
هزینه گاز سالیانه (ریال)	861,502,890

6- نتایج تحلیل اقتصادی

در این بخش نتایج تحلیل اقتصادی برای سه سناریو در نظر گرفته شده در شهر تهران ارائه شده و سپس آنالیز حساسیت بر اساس پارامترهای مختلف بررسی شده است.

6-1- تحلیل سیستم CCHP با چیلر جذبی با فروش برق به شبکه

در این سناریو علاوه بر هزینه‌های ثابت ذکر شده در بخش قبل، هزینه لوله‌کشی و نصب معادل ٪1 هزینه‌های ثابت فرض شده و با توجه به عدم نیاز به برق اضطراری، هزینه آن از هزینه‌های ثابت کسر گردیده است. همچنین هزینه‌های متغیر این سناریو شامل هزینه حقوق و دستمزد، هزینه تعمیر و نگهداری و استهلاک، هزینه‌های پیش‌بینی نشده و بیمه است. حقوق و دستمزد با فرض 2 نفر نیروی کار محاسبه شده است. هزینه تعمیر و نگهداری و استهلاک با توجه به مراجع برابر ٪2/5 هزینه‌های ثابت فرض گردیده است [19]. در نهایت هزینه‌های پیش‌بینی نشده و بیمه به ترتیب برابر ٪5 حقوق و دستمزد و تعمیر و نگهداری و استهلاک و ٪0/2 هزینه‌های ثابت در نظر گرفته شده است. طبق نتایج بدست آمده نرخ بازده داخلی این سناریو ٪16/9 بوده و ارزش خالص فعلی 70892- میلیون ریال است. در نتیجه با توجه به اینکه نرخ بازده داخلی کمتر از نرخ تنزیل فرض شده (20%) محاسبه شده، لذا این سناریو با توجه به شرایط کنونی و مفروضات در نظر گرفته شده، اقتصادی نیست.

به منظور پیشنهاد بسته‌های حمایتی و تصمیم‌گیری در خصوص تعرفه‌های سیستم‌های CCHP، آنالیز حساسیت بر اساس پارامترهای مختلف انجام شده که در ادامه مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. در حال حاضر نرخ خرید برق از واحدهای CCHP به ازای هر کیلووات ساعت، 2800 ریال است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که با تغییر این نرخ، نرخ بازده داخلی محاسبه شده است. در نرخ 3223 ریال به ازای هر کیلووات ساعت، نرخ بازده داخلی ٪20 می‌گردد. در نتیجه به منظور حمایت از این سناریو، حداقل نرخ خرید برق از واحدهای CCHP، 3223 ریال به ازای هر کیلووات ساعت پیشنهاد می‌شود. به منظور محاسبه هزینه‌ها و درآمدهای متغیر پس از سال پایه، از نرخ تورم استفاده شده است. نرخ تورم در این پژوهش ٪15 در نظر گرفته شده است.

در نتایج این تحقیق با تغییر این نرخ، نرخ بازده داخلی محاسبه شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش تورم این سناریو اقتصادی‌تر می‌شود، چرا که جریان نقدی سرمایه‌گذاری افزایش می‌یابد. اگر تورم برابر ٪18/5 باشد، نرخ بازده داخلی ٪20 می‌گردد در نتیجه با ثابت بودن تمامی متغیرها و تنها افزایش تورم به ٪18/5، این سناریو اقتصادی می‌شود. در نهایت در جدول 10 به صورت همزمان آنالیز حساسیت بر اساس نرخ فروش برق به شبکه و نرخ تورم انجام شده است. طبق محاسبات انجام شده، سمت پایین و چپ این جدول (مقادیر نرخ فروش برق به شبکه و نرخ تورم بیشتر) بهترین شرایط از لحاظ اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در این سناریو است.

جدول 10 آنالیز حساسیت دو متغیره بر اساس نرخ فروش برق به شبکه و نرخ تورم سناریو CCHP با چیلر جذبی و فروش برق به شبکه شهر تهران

IRR [%]

نرخ فروش برق به شبکه (ریال)	تورم														
	٪10	٪11	٪12	٪13	٪14	٪15	٪16	٪17	٪18	٪19	٪20	٪25	٪30	٪35	٪40
2300	٪8.4	٪9.3	٪10.2	٪11.0	٪11.9	٪12.8	٪13.6	٪14.5	٪15.4	٪16.2	٪17.1	٪21.4	٪25.7	٪29.9	٪34.2
2400	٪9.3	٪10.2	٪11.0	٪11.9	٪12.8	٪13.7	٪14.5	٪15.4	٪16.3	٪17.1	٪18.0	٪22.3	٪26.6	٪30.9	٪35.2
2500	٪10.1	٪11.0	٪11.9	٪12.8	٪13.6	٪14.5	٪15.4	٪16.3	٪17.1	٪18.0	٪18.9	٪23.2	٪27.5	٪31.8	٪36.1
2600	٪10.9	٪11.8	٪12.7	٪13.6	٪14.5	٪15.3	٪16.2	٪17.1	٪18.0	٪18.8	٪19.7	٪24.1	٪28.4	٪32.7	٪37.1
2700	٪11.7	٪12.6	٪13.5	٪14.4	٪15.2	٪16.1	٪17.0	٪17.9	٪18.8	٪19.6	٪20.5	٪24.9	٪29.3	٪33.6	٪38.0
2800	٪12.5	٪13.4	٪14.2	٪15.1	٪16.0	٪16.9	٪17.8	٪18.7	٪19.6	٪20.4	٪21.3	٪25.7	٪30.1	٪34.5	٪38.8
2900	٪13.2	٪14.1	٪15.0	٪15.9	٪16.8	٪17.7	٪18.5	٪19.4	٪20.3	٪21.2	٪22.1	٪26.5	٪30.9	٪35.3	٪39.7
3000	٪13.9	٪14.8	٪15.7	٪16.6	٪17.5	٪18.4	٪19.3	٪20.2	٪21.1	٪21.9	٪22.8	٪27.3	٪31.7	٪36.1	٪40.5
3100	٪14.6	٪15.5	٪16.4	٪17.3	٪18.2	٪19.1	٪20.0	٪20.9	٪21.8	٪22.7	٪23.6	٪28.0	٪32.5	٪36.9	٪41.3

3200	٪15.3	٪16.2	٪17.1	٪18.0	٪18.9	٪19.8	٪20.7	٪21.6	٪22.5	٪23.4	٪24.3	٪28.7	٪33.2	٪37.6	٪42.1
3300	٪16.0	٪16.9	٪17.8	٪18.7	٪19.6	٪20.5	٪21.4	٪22.3	٪23.2	٪24.1	٪25.0	٪29.5	٪33.9	٪38.4	٪42.8
3400	٪16.6	٪17.5	٪18.4	٪19.3	٪20.3	٪21.2	٪22.1	٪23.0	٪23.9	٪24.8	٪25.7	٪30.2	٪34.6	٪39.1	٪43.6
3500	٪17.3	٪18.2	٪19.1	٪20.0	٪20.9	٪21.8	٪22.7	٪23.6	٪24.5	٪25.4	٪26.3	٪30.9	٪35.3	٪39.8	٪44.3
3600	٪17.9	٪18.8	٪19.7	٪20.6	٪21.6	٪22.5	٪23.4	٪24.3	٪25.2	٪26.1	٪27.0	٪31.5	٪36.0	٪40.5	٪45.0
3700	٪18.5	٪19.4	٪20.4	٪21.3	٪22.2	٪23.1	٪24.0	٪24.9	٪25.8	٪26.7	٪27.6	٪32.2	٪36.7	٪41.2	٪45.7

6-2- تحلیل سیستم CCHP با چیلر جذبی و خودتأمین

در سناریوهای خودتأمین علاوه بر هزینه‌ها و درآمدهای ثابت اشاره شده در سناریو فروش برق به شبکه، بدلیل عدم نیاز به انتقال برق، درآمد ثابتی بدین منظور محاسبه شده است. طبق استعلام صورت پذیرفته، چنانچه محل تأسیس گلخانه، خط kv 20 نداشته باشد به ازای هر کیلومتر، 175 میلیون تومان هزینه احداث خط انتقال صرفه‌جویی می‌شود. با توجه به معلوم نبودن موقعیت گلخانه، ابتدا خط مورد نیاز 50 کیلومتر فرض شده و با آنالیز حساسیت مقادیر دیگر نیز بررسی شده است. طبق نتایج بدست آمده نرخ بازده داخلی این سناریو قابل محاسبه نبوده (تمام جریان‌های درآمدی سال‌های مختلف منفی است) و ارزش خالص فعلی 220872- میلیون ریال است. در نتیجه این سناریو با توجه به شرایط کنونی و مفروضات در نظر گرفته شده، اقتصادی نیست.

به منظور پیشنهاد بسته‌های حمایتی و تصمیم‌گیری در خصوص احداث سیستم‌های CCHP در مکان‌های مختلف، آنالیز حساسیت بر اساس پارامترهای مختلف انجام شده که در ادامه مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. همانطور که پیش از این بیان شد موقعیت گلخانه مجهز به سیستم CCHP به نحوی فرض شده است که نیاز به 50 کیلومتر خط باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که چنانچه موقعیت گلخانه به نحوی باشد که نیاز به 176 کیلومتر خط انتقال باشد ارزش خالص فعلی صفر شده و این سناریو اقتصادی می‌گردد. به منظور محاسبه هزینه‌ها و درآمدهای متغیر پس از سال پایه، از نرخ تورم استفاده شده است. نرخ تورم در این پژوهش ٪15 در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که با کاهش تورم این سناریو اقتصادی‌تر می‌شود، چرا که جریان نقدی سرمایه‌گذاری که در این سناریو عددی منفی است کاهش می‌یابد. در نهایت در جدول 11 به صورت همزمان آنالیز حساسیت بر اساس موقعیت گلخانه و نرخ تورم انجام شده است. طبق محاسبات انجام شده، سمت پایین و راست این جدول (موقعیت گلخانه دورتر و نرخ تورم کمتر) بهترین شرایط از لحاظ اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در این سناریو است.

6-3- تحلیل سیستم CCHP با چیلر تراکمی و خودتأمین

طبق نتایج بدست آمده نرخ بازده داخلی این سناریو قابل محاسبه نبوده (تمام جریان‌های درآمدی سال‌های مختلف منفی است) و ارزش خالص فعلی 440180- میلیون ریال است. در نتیجه این سناریو با توجه به شرایط کنونی و مفروضات در نظر گرفته شده، اقتصادی نیست. همانطور که پیش از این بیان شد موقعیت گلخانه مجهز به سیستم CCHP به نحوی فرض شده است که نیاز به 50 کیلومتر خط باشد. به منظور محاسبه هزینه‌ها و درآمدهای متغیر پس از سال پایه، از نرخ تورم استفاده شده است. نرخ تورم در این پژوهش ٪15 در نظر گرفته شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که با کاهش تورم این سناریو اقتصادی‌تر می‌شود، چرا که جریان نقدی سرمایه‌گذاری که در این سناریو عددی منفی است کاهش می‌یابد. از سوی دیگر نتایج تحقیق نشان می‌دهد چنانچه موقعیت گلخانه به نحوی باشد که نیاز به 302 km خط انتقال باشد ارزش خالص فعلی صفر شده و این سناریو اقتصادی می‌گردد. در جدول 12 به صورت همزمان آنالیز حساسیت بر اساس موقعیت گلخانه و نرخ تورم انجام شده است. طبق محاسبات انجام شده، سمت پایین و راست این جدول (مقادیر موقعیت گلخانه دورتر و نرخ تورم کمتر) بهترین شرایط از لحاظ اقتصادی برای سرمایه‌گذاری در این سناریو است. به طور کلی استفاده از این حالت فقط برای مناطقی مناسب است که امکان استفاده از چیلر جذبی وجود ندارد (مانند مناطق مرطوب، کم آب، با هوای دارای گرد و غبار و مناطق دارای آب با املاح بالا). در شهر تهران با آب و هوای گرم و خشک استفاده از این حالت توصیه نمی‌شود، زیرا چیلر جذبی و برج خنک‌کن در شهر تهران قابل استفاده می‌باشند. لازم به ذکر است که دلیل عمده انتخاب این حالت و تحلیل آن کم آبی سال‌های اخیر تهران است. با توجه به بحران آب و کم آبی در سال‌های اخیر تمایل به استفاده از چیلرهای تراکمی هوا خنک در تهران رشد زیادی داشته و اکثر ساختمان‌ها از این نوع چیلرها استفاده می‌کنند. لذا پیش‌بینی می‌شود این حالت انتخابی نیز در سال‌های آینده مورد توجه سرمایه‌گذاران حوزه CCHP قرار گرفته و در ساختمان‌ها استفاده شود.

جدول 11 آنالیز حساسیت دو متغیره بر اساس موقعیت گلخانه و نرخ تورم سناریو CCHP با چیلر جذبی و خودتأمین شهر تهران

NPV (م.ر)														
انتقال برق [km]	تورم ٪10	٪11	٪12	٪13	٪14	٪15	٪16	٪17	٪18	٪19	٪20	٪25	٪30	٪35	٪40
10	-270010	-273621	-277491	-281642	-286094	-290872	-296001	-301509	-307425	-313781	-320612	-363282	-424727	-513310	-640909
20	-252510	-256121	-259991	-264142	-268594	-273372	-278501	-284009	-289925	-296281	-303112	-345782	-407227	-495810	-623409
30	-235010	-238621	-242491	-246642	-251094	-255872	-261001	-266509	-272425	-278781	-285612	-328282	-389727	-478310	-605909

40	-217510	-221121	-224991	-229142	-233594	-238372	-243501	-249009	-254925	-261281	-268112	-310782	-372227	-460810	-588409
50	-200010	-203621	-207491	-211642	-216094	-220872	-226001	-231509	-237425	-243781	-250612	-293282	-354727	-443310	-570909
60	-182510	-186121	-189991	-194142	-198594	-203372	-208501	-214009	-219925	-226281	-233112	-275782	-337227	-425810	-553409
70	-165010	-168621	-172491	-176642	-181094	-185872	-191001	-196509	-202425	-208781	-215612	-258282	-319727	-408310	-535909
80	-147510	-151121	-154991	-159142	-163594	-168372	-173501	-179009	-184925	-191281	-198112	-240782	-302227	-390810	-518409
90	-130010	-133621	-137491	-141642	-146094	-150872	-156001	-161509	-167425	-173781	-180612	-223282	-284727	-373310	-500909
100	-112510	-116121	-119991	-124142	-128594	-133372	-138501	-144009	-149925	-156281	-163112	-205782	-267227	-355810	-483409

جدول 12 آنالیز حساسیت دو متغیره بر اساس موقعیت گلخانه و نرخ تورم سناریو CCHP با چیلر تراکمی و خودتأمین شهر تهران

NPV (م.ر)																
انتقال برق [km]	تورم															
	٪10	٪11	٪12	٪13	٪14	٪15	٪16	٪17	٪18	٪19	٪20	٪25	٪30	٪35	٪40
10	-480257	-485436	-490988	-496941	-503327	-510180	-517537	-525437	-533922	-543040	-552837	-614042	-702176	-829234	-1012256
20	-462757	-467936	-473488	-479441	-485827	-492680	-500037	-507937	-516422	-525540	-535337	-596542	-684676	-811734	-994756
30	-445257	-450436	-455988	-461941	-468327	-475180	-482537	-490437	-498922	-508040	-517837	-579042	-667176	-794234	-977256
40	-427757	-432936	-438488	-444441	-450827	-457680	-465037	-472937	-481422	-490540	-500337	-561542	-649676	-776734	-959756
50	-410257	-415436	-420988	-426941	-433327	-440180	-447537	-455437	-463922	-473040	-482837	-544042	-632176	-759234	-942256
60	-392757	-397936	-403488	-409441	-415827	-422680	-430037	-437937	-446422	-455540	-465337	-526542	-614676	-741734	-924756
70	-375257	-380436	-385988	-391941	-398327	-405180	-412537	-420437	-428922	-438040	-447837	-509042	-597176	-724234	-907256
80	-357757	-362936	-368488	-374441	-380827	-387680	-395037	-402937	-411422	-420540	-430337	-491542	-579676	-706734	-889756
90	-340257	-345436	-350988	-356941	-363327	-370180	-377537	-385437	-393922	-403040	-412837	-474042	-562176	-689234	-872256
100	-322757	-327936	-333488	-339441	-345827	-352680	-360037	-367937	-376422	-385540	-395337	-456542	-544676	-671734	-854756

7- جمع بندی

با توجه به نتایج بدست امده از این تحقیق جمع بندی نهایی این مقاله در سه بخش زیر ارائه شده است:

در صورت استفاده از سیستم CCHP با چیلر جذبی با فروش برق به شبکه نرخ بازده داخلی ٪16/9 بوده و ارزش خالص فعلی 70892- میلیون ریال است. در نتیجه با توجه به اینکه نرخ بازده داخلی کمتر از نرخ تنزیل فرض شده (٪20) محاسبه شده، لذا این حالت با توجه به شرایط کنونی و مفروضات در نظر گرفته شده، اقتصادی نیست. بررسی نتایج نشان می‌دهد به منظور حمایت از این حالت، حداقل نرخ خرید برق از واحدهای CCHP، 3223 ریال به ازای هر کیلووات ساعت پیشنهاد می‌شود. نتایج نشان می‌دهد با ثابت بودن تمامی متغیرها و تنها افزایش تورم به ٪18/5، این سناریو اقتصادی می‌شود.

طبق نتایج بدست آمده نرخ بازده داخلی سیستم CCHP با چیلر جذبی و خودتأمین قابل محاسبه نبوده (تمام جریان‌های درآمدی سال‌های مختلف منفی است) و ارزش خالص فعلی 220872- میلیون ریال است. در نتیجه این سناریو با توجه به شرایط کنونی و مفروضات در نظر گرفته شده، اقتصادی نیست. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که در این سیستم چنانچه موقعیت گلخانه به نحوی باشد که نیاز به 176 کیلومتر خط انتقال باشد ارزش خالص فعلی صفر شده و این سناریو اقتصادی می‌گردد.

طبق نتایج بدست آمده نرخ بازده داخلی سیستم CCHP با چیلر تراکمی و خودتأمین قابل محاسبه نبوده (تمام جریان‌های درآمدی سال‌های مختلف منفی است) و ارزش خالص فعلی 440180- میلیون ریال است. در نتیجه این سناریو با توجه به شرایط کنونی و مفروضات در نظر گرفته شده، اقتصادی نیست. بررسی نتایج نشان می‌دهد که با کاهش تورم این سناریو اقتصادی‌تر می‌شود، چرا که جریان نقدی سرمایه‌گذاری که در این سناریو عددی منفی است کاهش می‌یابد. از سوی دیگر نتایج تحقیق نشان می‌دهد چنانچه موقعیت گلخانه به نحوی باشد که نیاز به 302 km خط انتقال باشد ارزش خالص فعلی صفر شده و این سناریو اقتصادی می‌گردد.

8- تقدیر و تشکر

بدینوسیله از حمایت‌های مالی و معنوی شرکت توانیر و پژوهشگاه نیرو در انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم.

9- مراجع

[1] B. J. Bailey, R. G. Ellis, The potential for using combined heat and power (CHP) in greenhouses, *Divisional Note*, DN 1523. AFRC Institute of Engineering Research, Silsoe, UK, 1989.
[2] D. L. Critten, B. J. Bailey, A review of greenhouse engineering developments during the 1990s, *Agricultural and forest Meteorology*, Vol. 112, No. 1, pp. 1-22, 2002.
[3] J. Rietz, Evaluation of CO2 fertilization of a Greenhouse with Flue Gases from a Micro turbine, Svenskt Gastekniskt Center, 2002.
[4] S. K. Chou, K. J. Chua, J. C. Ho, and C. L. Ooi, On the study of an energy-efficient greenhouse for heating, cooling and dehumidification applications, *Applied Energy*, Vol. 77, No. 4, pp. 355–373, 2004.
[5] E. Nordenström, G. Guest, M. Fröling, lca of local bio-chp fuelled greenhouses versus Mediterranean open field tomatoes for consumption in northern Scandinavia, *Linnaeus ECO-TECH,* 2010.
[6] L. Raslavičius, A. Straksas, Motor biofuel-powered CHP plants-A step towards sustainable development of rural lithuania, *Technological and Economic Development*, Vol. 17, No. 1, pp. 189–205, 2011.
[7] T. Compernolle, N. Witters, S. V. Passel, and T. Thewys, Analyzing a self-managed CHP system for greenhouse cultivation as a profitable way to reduce CO2-emissions, *Energy*, Vol. 36, No. 4, pp. 1940–1947, 2011.
[8] O. R. Moreton and P. N. Rowley, The feasibility of biomass CHP as an energy and CO2 source for commercial glasshouses, *Applied Energy*, Vol. 96, pp. 339–346, 2012.
[9] M. Mehrpooya, H. Hemmatabady, and M. H. Ahmadi, Optimization of performance of Combined Solar Collector-Geothermal Heat Pump Systems to supply thermal load needed for heating greenhouses, *Energy Conversion and Management*, Vol. 97, pp. 382–392, 2015.
[10] F. Homayouni, R. Roshandel, and A. A. Hamidi, Techno-economic and environmental analysis of an integrated standalone hybrid solar hydrogen system to supply CCHP loads of a greenhouse in Iran, *International Journal of Green Energy*, Vol. 14, No. 3, pp. 295–309, 2016.
[11] Q. Altes-Buch, S. Quoilin, and V. Lemort, Greenhouses: A Modelica Library for the Simulation of Greenhouse Climate and Energy Systems, *Proceedings of the 13th International Modelica Conference*, Regensburg, Germany, 2019.
[12] K. G. Tataraki, K. C. Kavvadias, and Z. B. Maroulis, Combined cooling heating and power systems in greenhouses. Grassroots and retrofit design, *Energy*, Vol. 189, p.p. 116283, 2019.
[13] Grisey, A., C. Levaillant, D. Martin, and V. Stauffer, Using solar energy to heat, cool and dehumidify tomato greenhouses in France: a feasibility study, *In International Symposium on Advanced Technologies and Management for Innovative Greenhouses*, pp. 731-738. 2019.
[14] K. Tataraki, E. Giannini, K. Kavvadias, and Z. Maroulis, Cogeneration economics for greenhouses in Europe, *Energies*, Vol. 13, No. 13, 2020.
[15] A. M. Nasrabadi, O. Malaei, M. Moghimi, Sh. Sadeghi and S. M. Hosseinalipour, Deep learning optimization of a combined CCHP and greenhouse for CO2 capturing, case study of Tehran, Energy Conversion and management, Vol. 267, No. 1, 2022.
[16] NSW Farmers, Diesel versus electric pumps, 2014.
[17] D. L. Martin, T. W. Dorn, S. R. Melvin, A. J. Corr, and W. L. Kranz, Evaluating energy use for pumping irrigation water, *Proc. Proceedings of the 2011 Central Plains irrigation conference*, Burlington, Colorado, February 22-23, Colorado State University. Libraries.
[18] M. Mahdavian, and N. Wattanapongsakorn, Optimizing greenhouse lighting for advanced agriculture based on real time electricity market price, *Mathematical Problems in Engineering*, 2017.
[19] *Ministry of Energy,* Accessed 20 February 2021; https://www.moe.gov.ir.
[20] *National Iranian Gas Company*, Accessed 20 February 2021; http://www.nigc.ir.