



Islamic Azad University , Shiraz Branch

نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها  
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis

sanad.iau.ir/journal/jcdsa



# Dynamic modeling of clean electricity generation based on transient simulation method and response surface methodology

Abbas Motallebi<sup>1</sup>, seyed Ahmad Shayanniya<sup>2\*</sup>, Mehdi Amirmiandargh<sup>3</sup>, Ebrahim Niknaghsh<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Industrial Management, Firozko Branch, Islamic Azad University, Firozko, Iran

[motallebi4saipa@gmail.com](mailto:motallebi4saipa@gmail.com)

<sup>2</sup> Department of Industrial Management, Firozko Branch, Islamic Azad University, Firozko, Iran

[sheibat@yahoo.com](mailto:sheibat@yahoo.com)

<sup>3</sup> Department of Mathematics, Firozko Branch, Islamic Azad University, Firozko, Iran

[miandargh@iaufb.ac.ir](mailto:milandargh@iaufb.ac.ir)

<sup>4</sup> Department of Industrial Management, Firozko Branch, Islamic Azad University, Firozko, Iran

[niknaghsh@yahoo.com](mailto:niknaghsh@yahoo.com)

**Abstract:** This article examines the simulation, optimization and dynamic modeling of a multi-source energy production system. This system includes solar panels and CCHP devices as the main energy production equipment and the target functions also include: total electricity consumption, total gas consumption, CCHP fuel consumption as well as return on investment, as the economic and energy response of the system. Further analysis of the dynamic results of the system includes: temperature changes, efficiency and average daily electricity produced by solar panels, average daily absorbed energy in solar collectors, hourly changes in electricity demand, electricity produced by solar panels and electricity produced by CCHP, the hourly changes in electricity demand, the total electricity produced and the hourly changes in gas consumption demand of the system and the complex will be investigated throughout the year. The results show that the utility distribution in the optimization section is 0.735. This number shows that the system is in a suitable and ideal state and the return on investment can be justified with 1.64 years. Also, even though the amount of solar radiation is higher in the hot months of the year, but due to the increase in the temperature of the solar cell, the efficiency of the solar panel decreases. These systems are also able to use solar energy to provide part of the heating needs of the complex's hot water system. The design and use of the combined optimal system of CCHP and solar panels allow the complex to fully and sustainably supply its electricity needs provide and even sell the excess amount of electricity to the public power grid and use it as a source of additional income.

**Keywords:** Simulation, dynamic modeling, response surface, transient simulation.

JCDSA, Vol. 2, No. 1, Spring 2024

Received: 2024-02-26

Online ISSN: 2981-1295

Accepted: 2024-06-09

Journal Homepage: <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcdsa>

Published: 2024-06-16

## CITATION

Motallebi, A., et. al., "Dynamic modeling of clean electricity generation based on transient simulation method and response surface methodology", Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA), Vol. 2, No. 1, pp. 1-15, 2024.

DOI: 00.00000/0000

## COPYRIGHTS



©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

\* Corresponding author

## Extended Abstract

### Introduction

Photovoltaic solar cells (PV) have emerged as the primary technology for producing green electricity. This innovation uses direct sunlight to generate electricity and its installation flexibility has led to significant investment in PV panels. Despite the many advantages, these cells are hampered by the decrease in efficiency caused by the increase in cell temperature. In this way, researchers have conducted extensive research on possible solutions with the aim of increasing the performance of photovoltaic cells using different techniques. This review provides a thorough analysis of cooling techniques for photovoltaic panels. It includes both passive and active cooling methods, including air cooling, phase change materials, and various approaches. Within each category, detailed subcategories such as evaporative cooling, water immersion, floating systems, water pipes, cooling channels, water sprinklers, jet impingement, geothermal cooling, and natural convection transfer are explored with PV designs. Also, forced displacement using cooling ducts, heat sinks and air collectors, along with the integration of phase change materials (PCM), nanofluids, radiant cooling, thermoelectric methods, heat pipes, heat pumps and other techniques. covers innovative Each of these approaches is shown with specific schematics and has been fully discussed and compared, the results show that with the decrease in the temperature of the solar panels, we see an increase in efficiency.

### Methodology

This paper examines the simulation, optimization and dynamic modeling of a multi-source energy production system. At first, the model is implemented using TRANSIS software; In the following, using Design Expert software, the optimal model is executed again in TRANSIS software and its dynamic results are analyzed. This system includes solar panels and CCHP device as the main energy production equipment. The objective functions include total electricity consumption, total gas consumption, CCHP fuel consumption as well as return on investment as the economic and energy response of the system. In the continuation of the analysis of the dynamic results of the system including: changes in temperature, efficiency and average daily electricity production of solar panels, average daily absorbed energy in solar collectors, average daily changes in electricity production, exhaust heat and fuel consumption in CCHP, hourly changes in electricity demand, Electricity produced by solar panels and electricity produced by CCHP, hourly changes in electricity demand, total electricity produced, and hourly changes in system and complex gas consumption demand will be investigated throughout the year.

In order to obtain the best state of energy, environmental and economic efficiency of the reviewed model, the response surface test design method is used. Also, the impact of changes in the effective factors of the combined

system was studied on the target and the specified energy, environmental and economic responses. Factors are independent variables for making accurate decisions in the discussion of the design of the combined system under investigation. On the other hand, the responses show the energy, environmental and economic performance indicators of the combined system under the influence of the factors selected for optimization. A response surface is a statistical method used to optimize a specific response, where the response is influenced by multiple factors.

The aim of this study is to optimize the combined system by considering energy, environmental and economic aspects, that is, more than one answer should be optimized. For this purpose, a method called utility function is used. In this method, each response is converted into a specific utility function. The studied utility function changes between zero and one values; That is, for the worst case, the numerical value of the utility function is zero. While the utility function is equal to a state indicator with ideal conditions.

### Results and discussion

To calculate the best combination of selected variables, the method of experiment design and response level optimization was used. Table (5) shows the values predicted by the response level for the variables in such a way as to achieve the optimal system. Also, the values of each goal for optimal conditions are specified in Table (6). The combined utility of 0.724 was obtained for the optimal solution, which is close to the ideal of  $CD=1$ . Figure (2), which shows the contours, shows the effects of changing the solar panel area factors and the CCHP power on the energy-economic responses. This contour plot is a flat curve that shows how these changes affect energy-economic responses based on different values of solar panel area and CCHP power. In other words, this graph shows that at each point of the graph, the energy-economic response value obtained for that point is The results of the simulation using the response surface methodology showed that the area of the photovoltaic panels in the optimal state is equal to 11770 square meters and the optimal CCHP power is equal to 1986 kW. Also, in optimal conditions, the system performs best; The combined utility, which is equal to 0.724, indicates that the performance of the optimal system is close to the ideal state.

### Conclusion

In the results, it was observed that the simultaneous production system using photovoltaic panels and CCHP can be a suitable solution for the production of electrical and thermal energy, taking into account the needs of production and office halls. This system provides the ability to adjust and optimize fuel consumption and reduce energy costs. The simulation results show that the studied hybrid system is capable of producing electrical and thermal energy throughout the year, according to the weather conditions of the study area.





# مدل سازی دینامیکی تولید برق پاک مبتنی بر روش شبیه سازی گذرا و روش شناسی سطح پاسخ

عباس مطلبی<sup>۱</sup>، سید احمد شایان نیا<sup>۲\*</sup>، مهدی امیر میاندرق<sup>۳</sup>، ابراهیم نیک نقش<sup>۴</sup>

۱- گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران ([motallebi4saipa@gmail.com](mailto:motallebi4saipa@gmail.com))

۲- گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران ([sheibat@yahoo.com](mailto:sheibat@yahoo.com))

۳- گروه ریاضی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران ([miandargh@iaufb.ac.ir](mailto:miandargh@iaufb.ac.ir))

۴- گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران ([niknaghsh@yahoo.com](mailto:niknaghsh@yahoo.com))

**چکیده:** این مقاله شبیه سازی، بهینه سازی و مدل سازی دینامیکی یک سیستم چندمنبعی تولید انرژی را مورد بررسی قرار می دهد. این سیستم شامل پنل های خورشیدی و دستگاه تولید همزمان برق، گرما و سرما (CCHP) به عنوان تجهیزات اصلی تولید انرژی و توابع هدف نیز شامل: کل مصرف برق، مصرف کل گاز، مصرف سوخت CCHP و همچنین بازگشت سرمایه به عنوان پاسخ اقتصادی و انرژی سیستم می باشد. در ادامه تحلیل نتایج دینامیکی سیستم شامل: تغییرات دما، بازدهی و متوسط روزانه برق تولیدی پنل های خورشیدی، انرژی جذب شده متوسط روزانه در کلکتورهای خورشیدی، تغییرات ساعتی تقاضای برق، برق تولید شده توسط پنل های خورشیدی و برق تولید شده توسط CCHP، تغییرات ساعتی تقاضای برق، کل برق تولید شده و تغییرات ساعتی تقاضای مصرف گاز سیستم و مجموعه در طول سال بررسی خواهد شد، نتایج نشان می دهد که تابع مطلوبیت در بخش بهینه سازی ۰.۷۳۵ می باشد که این عدد نشان می دهد سیستم در حالت مناسب و ایدآل بوده و بازگشت سرمایه نیز با ۱.۶۴ سال قابل توجیه می باشد. همچنین با وجود اینکه در ماه های گرم سال میزان تشعشع خورشید بیشتر است، اما به دلیل افزایش دمای سلول خورشیدی، بازدهی پنل خورشیدی کاهش می یابد. همچنین این سیستم ها قادر به استفاده از انرژی خورشید برای تأمین بخشی از نیازهای گرمایشی سیستم آب گرم مجموعه نیز هستند. طراحی و استفاده از سیستم بهینه ترکیبی CCHP و پنل های خورشیدی به مجموعه امکان می دهد تا به طور کامل و پایدار برق مورد نیاز خود را تأمین کند و حتی میزان اضافی از برق را به شبکه برق عمومی فروخته و از آن به عنوان منبع درآمد اضافی بهره برداری کند.

**واژه های کلیدی:** شبیه سازی، مدل سازی دینامیکی، سطح پاسخ، شبیه سازی گذری

DOI: 00.00000/0000

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۰۷

خنک کننده غیرفعال و فعال، از جمله خنک کننده آب و هوا، مواد تغییر فاز و رویکردهای مختلف است. در هر دسته، زیرمجموعه های دقیقی مانند سرمایش تبخیری، غوطه وری در آب، سیستم های شناور، لوله های آب، کانال های خنک کننده، پاشش کننده های آب، برخورد جت، خنک کننده زمین گرمایی، و انتقال همرفت طبیعی با طراحی های PV بررسی می شود. همچنین جابجایی اجباری را با استفاده از مجراهای خنک کننده، سینک های حرارتی و کلکتورهای هوا، در کنار ادغام مواد تغییر فاز (PCM<sup>۳</sup>)، نانوسیالات، خنک کننده تابشی، روش های ترمالکترونیک، لوله های حرارتی، پمپ های حرارتی و سایر تکنیک های نوآورانه پوشش می دهد. هر یک از این رویکردها با شماتیک های خاص نشان داده شده و به طور کامل مورد بحث و مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد با کاهش دمای پنل های خورشیدی شاهد افزایش

## ۱- مقدمه

سلول های فتوولتائیک خورشیدی (PV<sup>۲</sup>) به عنوان فناوری اولیه برای تولید برق سبز ظاهر شده اند. این نوآوری از نور مستقیم خورشید برای تولید برق استفاده می کند و انعطاف پذیری نصب آن باعث سرمایه گذاری قابل توجهی در پانل های PV شده است. علیرغم مزایای متعدد، این سلول ها با کاهش کارایی ناشی از افزایش دمای سلول مواجه می شوند. به این ترتیب، محققان تحقیقات گسترده ای را در مورد راه حل های ممکن با هدف افزایش عملکرد سلول های فتوولتائیک انجام داده اند. این تحقیق، تجزیه و تحلیل کاملی از تکنیک های خنک کننده برای پانل های فتوولتائیک ارائه می دهد. این روش شامل هر دو روش

\* نویسنده مسئول

<sup>2</sup> Photovoltaics

<sup>3</sup> Phase-change material



کارایی هستیم [۱]. کارایی پنل‌های فتوولتائیک خورشیدی زمانی که دمای آنها در شرایط عادی عملیاتی افزایش می‌یابد، کاهش می‌یابد و در نتیجه توان خروجی بسیار کاهش می‌یابد. این پدیده به ویژه در مناطقی با پتانسیل فتوولتائیک بالا که در آن تابش و دمای محیط نیز زیاد است، مرتبط است. برای غلبه بر این مسئله، یک سیستم خنک‌کننده فشرده برای پنل‌های فتوولتائیک تجاری مبتنی بر سرمایه‌گذاری زمین گرمایی کم‌آنتالپی پیشنهاد شده است. گرمای بیش از حد از پنل خورشیدی توسط یک سیستم خنک‌کننده حلقه نزدیک تک‌فاز تخلیه می‌شود که از یک هیت‌سینک طبیعی زیرزمینی که در دمای ثابت و پایین است بهره می‌برد. یک نمونه اولیه که یک مکانیسم ردیابی خورشید تک‌محور را ادغام می‌کند، در ژوئن ۲۰۲۲ در آکالا دهنارس، مادرید، اسپانیا در شرایط بیرونی مونتاژ و آزمایش شده است. همانطور که به طور تجربی نشان داده شده است، با دبی مایع خنک‌کننده ۱.۸ لیتر در دقیقه در هر متر مربع از سطح پنل، سیستم خنک‌کننده دمای پنل خنک‌شده را تا  $20^{\circ}\text{C}$  کاهش می‌دهد، که منجر به بهبود واقعی کارایی پنل تا ۱۳.۸٪ شد. در نهایت، یک تحلیل حساسیت از افزایش توان خالص و انرژی اضافی خالص تولید شده توسط پنل خنک‌شده ارائه شده است [۲].

در مطالعه‌ای، چهار مدل نصب سیستم‌های ترکیبی فتوولتائیک - حرارتی (PVT<sup>۱</sup>) و سایر دستگاه‌های ساخته شده در برنامه شبیه‌سازی سیستم‌های گذرا با استفاده از نرم‌افزار ترنسیس<sup>۲</sup> تجزیه و تحلیل می‌شود. ایده این مطالعه در رویکرد بلندمدت به بهره‌برداری از پنل‌های PVT در شرایط اقلیمی انتخاب شده نهفته است. نتایج نشان داد که نوع سلول مورد استفاده ممکن است تولید انرژی الکتریکی سالانه از PVT را حتی تا ۷٪ کاهش دهد. از سوی دیگر از جنبه بلند مدت تشدید فرآیند دریافت گرما از PVT با استفاده از پمپ حرارتی، باعث افزایش ۶٪ این تولید نسبت به مدل پایه شد [۳]. در مطالعه‌ای دیگر یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت فعال با یک گیرنده لوله جاذب داخلی در شهر السماوه عراق ساخته و مورد آزمایش قرار دادند. کلکتور خورشیدی پیشنهادی از یک لوله مسی صاف با قطر داخلی و خارجی به ترتیب ۹.۵ و ۱۲ میلی‌متر و طول کل ۱۰۰۰ میلی‌متر استفاده شده است. یک مدل ترنسیس از یک کلکتور صفحه تخت ادغام شده با یک لوله جاذب با استفاده از داده‌های تجربی توسعه، شبیه‌سازی و اعتبارسنجی شد. نتایج نشان داد که دمای خروجی کلکتور خورشیدی از ۵۲ تا ۶۱ درجه سانتیگراد با میانگین ۵۸ درجه سانتیگراد متغیر است. کارایی کلکتور خورشیدی پیشنهادی بین ۴۵ تا ۶۷٪ با میانگین ۵۸٪ متغیر است [۴]. عملکرد یک PTC<sup>۳</sup> برای ماه‌های مختلف شهر تهران با استفاده از تحلیل‌های انرژی، انرژی، برون اقتصادی و برون محیطی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که PTC بیشترین بازده انرژی (۷۳.۶٪) در ماه جولای و بالاترین کارایی اکسرژی (۲۰.۱۱٪) در ژانویه را داشته است. از تجزیه

و تحلیل‌های انرژی اقتصادی و انرژی محیطی مشخص شد که کلکتور خورشیدی در ماه ژوئن دارای کمترین هزینه به ازای هر واحد اکسرژی مفید تولید شده ( $70.17 \text{ GJ}/\text{\$}$ )، بالاترین امتیاز به دلیل صرفه‌جویی در تولید دی‌اکسید کربن ( $0.0193 \text{ \$}$  در ساعت) بوده است. نتایج نشان می‌دهد که کارایی انرژی و هزینه کل PTC بهینه‌سازی شده (برای ژانویه که حداکثر بازده اکسرژی را داشت) به ترتیب ۲۶.۳۸٪ و ۰.۶۱ دلار در ساعت است. بهبود ۶.۲۷٪ کارایی اکسرژی و ۲۰.۳۶٪ در هزینه کل سیستم را نشان می‌دهد. سیستم‌های خنک‌کننده حرارتی خورشیدی برای کاربردهای مسکونی یک جایگزین امیدوارکننده برای چیلرهای تراکمی الکتریکی هستند [۵].

سیستم‌های تولید همزمان به دلیل کارایی بالا، هزینه کم و سازگاری با شبکه به طور فزاینده‌ای در ساختمان‌های مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تحقیق شبیه‌سازی دینامیکی یک سیستم جدید تولید همزمان خورشیدی یکپارچه با ساختمان هوشمند با استفاده از نرم‌افزار ترنسیس برای تامین نیاز برق تجهیزات سیستم و برق، گرمایش، سرمایش و آب شیرین مورد نیاز یک ساختمان مسکونی معمولی در ایران را پیشنهاد می‌کند. این سیستم مجهز به پنل‌های فتوولتائیک، کلکتورهای لوله تخلیه، چیلر جذبی دو اثره، واحد نمک زدایی آب اسمز معکوس و توربین میکرو گاز به عنوان سیستم پشتیبان می‌باشد. استفاده از سنسورهای دمای فصل و کنترلرهای دیفرانسیل به نظارت و کنترل نرخ انرژی در بخش‌های مختلف سیستم و ساختمان با مقایسه دمای بیرون و رطوبت نسبی با شرایط آسایش به روشی هوشمند کمک می‌کند. عملکرد سیستم از دیدگاه انرژی، انرژی، انرژی، هوایی ایران را پوشش می‌دهند، ارزیابی و مقایسه می‌شود. در طول یک سال در این سیستم به ترتیب ۱۰۱ کیلووات ساعت و ۱۳.۷ کیلووات ساعت است. همچنین، توان مازاد تولید شده برای جبران برخی از هزینه‌های سربار سیستم به شبکه فروخته می‌شود. نتیجه بهینه‌سازی سه هدفه نشان می‌دهد که مقادیر بازده انرژی، انتشار  $\text{CO}_2$  و هزینه محصول واحد این سیستم در بهترین نقطه به ترتیب ۴۴.۹، ۰.۱۵۸ تن/MWh و  $12.26 \text{ MWh}/\text{\$}$  در استان تهران است. بر اساس نتایج، شاخص‌های عملکرد سیستم در مقایسه با فناوری‌های مشابه موجود در ادبیات بهبود یافته است [۶]. در تحقیق انجام شده مدل‌سازی و شبیه‌سازی یک سیستم هیبریدی فتوولتائیک/حرارتی خورشیدی برای ۵ کیلووات بر ثانیه با استفاده از ترنسیس برای انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی برای کاربردهای آب گرم خانگی بررسی شده است. پارامترهای برجسته مورد استفاده برای تعیین کارایی الکتریکی، کارایی حرارتی، کارایی حرارتی کلی، کارایی حرارتی الکتریکی و کارایی انرژی عبارتند از تابش خورشیدی، ولتاژ، جریان، دمای محیط، نرخ جریان جرمی آب، مساحت ماژول پنل فتوولتائیک و غیره. نتایج نشان داد که سیستم هیبریدی خورشیدی برای نرخ جریان آب بهینه ۲۵ کیلوگرم در ساعت

<sup>1</sup> Photovoltaic-thermal (PVT)

<sup>2</sup> TRNSYS

<sup>3</sup> Positive Temperature Coefficient



انتقال انرژی از سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های تجدیدپذیر، یک حوزه نسبتاً جدید است. عربستان سعودی یکی از تولیدکنندگان بزرگ میوه خرما است که مقدار زیادی ضایعات نخل خرما تولید می‌کند. استفاده مناسب از این زباله‌ها در عربستان سعودی وجود ندارد، روش سطح پاسخ<sup>۴</sup> برای طراحی تجربی، بهینه‌سازی، و اثرات فردی و تعاملی پارامترها بر روی ترکیبات  $H_2$  و  $CO$  برای یافتن مقادیر بهینه آنها به کار گرفته شد. دما موثرترین عامل برای ترکیب  $H_2$  است و از ۶ تا ۱۸٪ حجمی متغیر است که در مقایسه با دبی هوا و اندازه ذرات خوراک بیشتر است. الگوی مشابهی از عوامل تأثیرگذار برای ترکیب  $CO$  مشاهده شد که از ۸٪ تا ۲۰٪ متغیر است. غنی‌سازی  $H_2$  و  $CO$  به دلیل فعال شدن واکنش‌های گرماگیر در دمای بالا است [۱۱]. یکی از عوامل ضروری برای انتخاب فرآیند خشک کردن، مصرف انرژی است. این مطالعه با هدف بهینه‌سازی درمان خشک کردن کپر با استفاده از همرفت، پنجره انکساری و خشک کردن خلاء همراه با پیش‌تیمار اولتراسونیک با رویکرد مقایسه‌ای بین شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش سطح پاسخ انجام شد. برای این منظور، تأثیر دمای خشک کردن (۵۰، ۶۰، ۷۰ درجه سانتی‌گراد)، زمان فراصوت (۰، ۲۰، ۴۰ دقیقه) و روش خشک کردن بر مقدار انرژی بررسی شد. مقادیر بهینه، دمای خشک کردن-زمان فراصوت را تعیین کرد که SEC انرژی را به حداقل می‌رساند. ۵۰ درجه سانتی‌گراد-۳۵.۵ دقیقه، ۷۰ درجه سانتی‌گراد-۴۰ دقیقه و ۷۰ درجه سانتی‌گراد-۲۴ دقیقه به ترتیب برای رفتار مدل با ضریب همبستگی برای آموزش (۰/۹۷۶)، تست (۰/۹۷۱) و اعتبارسنجی (۰/۹۷۲) مشهود است که مناسب بودن بالای مدل را برای بهینه‌سازی مصرف انرژی ویژه نشان می‌دهد [۱۲].

هر ساله تعداد قابل توجهی از سازه‌های بتن مسلح از خوردگی ناشی از یون‌های تهاجمی رنج می‌برند که یک مسئله مهم در دوام و کاهش مقاومت سازه‌ها ایجاد می‌کند. بنابراین، شناسایی سهم هر یون در نابودی بتن بسیار مهم است. این مطالعه از روش سطح پاسخ برای بررسی اثرات جفت یون‌ها و مقادیر مختلف و سهم مربوطه به درجه خوردگی ساختار بتن یک برج خنک‌کننده با خوردگی‌های شدید ناشی از حملات یونی استفاده کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که یون‌های کلرید و سولفات بیشترین تأثیر را در تخریب بتن داشتند و بیشترین تأثیر منفی را بر فرسودگی بتن مسلح داشتند. در مقابل، یون‌های منیزیم و کلسیم کمترین سهم را در خوردگی بتن مسلح داشتند [۱۳].

مبدل حرارتی سیم‌پیچ دابل هلیکس که عملکرد انتقال حرارت بالایی دارد، به طور فزاینده‌ای در سیستم‌های انتقال حرارت مورد استفاده قرار گرفته است. در این مقاله، یک مدل عددی سه بعدی برای شبیه‌سازی عملکرد انتقال حرارت سیم پیچ دوتایی مارپیچ ایجاد شده است. سپس از روش سطح پاسخ برای ایجاد مدل‌های سطح پاسخ پارامترهای ورودی (پیچ سیم داخلی، گام سیم پیچ خارجی، قطر مارپیچ داخلی، قطر مارپیچ خارجی و قطر سیم پیچ) استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد در مقایسه با طرح اولیه، افت فشار ۱۹.۹۸٪ کاهش

تجزیه و تحلیل می‌شود. کارایی الکتریکی، کارایی حرارتی، کارایی حرارتی کلی، کارایی حرارتی معادل، کارایی انرژی به ترتیب ۳۴، ۶۰، ۳۵ و ۱۳٪ است. میانگین دمای مخزن ۵۰ درجه است [۷].

یک مدل کامل ترنسیس برای مقایسه پیکربندی با ذخیره‌سازی گرم (با ظرفیت معمولی ۴۰ لیتر بر متر مربع سطح کلکتور خورشیدی) و پیکربندی با هر دو انبار گرم و سرد توسعه داده شده است. نتایج نشان داد مناسب‌ترین پیکربندی برای ناحیه کلکتور خورشیدی بسیار معقول است. با افزایش سطح کلکتور، مزایای یک انبار سرد از بین می‌رود. افزایش سطح کلکتور باعث افزایش دمای انبار گرم می‌شود که منجر به تلفات حرارتی بالاتر هم در کلکتور و هم در مخزن می‌شود. هنگامی که حجم ذخیره‌سازی در یک مخزن متمرکز می‌شود، این اثرات کاهش می‌یابد. تأثیر سایر متغیرها بر پیکربندی بهینه نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد [۸]. این مقاله مقایسه چندین سیستم گرمایشی/اسرامیشی نیروگاه مرکزی خورشیدی، حرارتی، تولید همزمان و حرارتی را ارائه می‌کند که در یک آپارتمان معمولی متوسط، واقع در کلگری، آلبرتا، کانادا اجرا شده است. ترنسیس برای مدل‌سازی سیستم و پیش‌بینی مصرف انرژی اولیه و ثانویه، انتشار گازهای گلخانه‌ای<sup>۱</sup> و هزینه‌های آب و برق سالانه سیستم‌های مختلف و در مقایسه با حالت پایه استفاده می‌شود. بالاترین هزینه سالانه آب و برق و صرفه‌جویی در انتشار گازهای گلخانه‌ای با بهره‌برداری از یک دستگاه تولید همزمان در اولویت در یک نیروگاه حرارتی خورشیدی<sup>۲</sup>، تولید همزمان با پمپ حرارتی جذبی، پیش‌بینی کاهش ۲۱٪ هزینه برق سالانه و کاهش ۱۶٪ در انتشار گازهای گلخانه‌ای به دست آمد. با این حال، سیستم مصرف انرژی ثانویه بالاتری دارد. بهره‌برداری از کلکتورهای حرارتی خورشیدی در اولویت نسبت به واحد تولید همزمان در همان نیروگاه مرکزی، بیشترین صرفه‌جویی در انرژی اولیه و ثانویه را به دست آورد و ۱۶٪ و ۱۸٪ صرفه‌جویی نسبت به حالت پایه داشت. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ۱۶٪ با هر دو استراتژی عملیاتی پیش‌بینی شد [۹].

این مقاله نتایج را در مورد شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و کنترل سیستم انرژی خورشیدی هیبریدی برای تأمین انرژی یک نیروگاه نمک‌زدایی ارائه می‌کند. هدف اصلی طراحی یک سیستم انرژی پاک برای پاس‌خگویی به بار الکتریکی مورد نظر کارخانه نمک‌زدایی با کسر تجدیدپذیر بالا، هزینه کم انرژی و انتشار گاز دی‌اکسید کربن کم است. نتایج نشان می‌دهد که سیستم برق خورشیدی شبکه‌ای/اینورتر بهترین عملکرد را در مقایسه با ژنراتور/دیزل/باتری/اینورتر ارائه می‌دهد. کل انرژی سیستم خورشیدی متصل به شبکه هیبریدی برای پاس‌خگویی به بار AC کارخانه نمک‌زدایی تقریباً بدون کمبود برق و توان اضافی استفاده می‌شود. سیستم قدرت هیبریدی پیشنهادی برای نیروگاه نمک‌زدایی پایدار، از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست است: کسر انرژی تجدیدپذیر بالا (۴۷.۳٪)، توان اضافی کم (۰.۱۵٪)، هزینه کم انرژی (۹۰ \$/MWh) و گاز  $CO_2$  کم. انتشار (۲۶۴.۲۵ کیلوگرم  $CO_2$ /MWh) است [۱۰].

<sup>3</sup> carbon dioxide

<sup>4</sup> Response surface method



<sup>1</sup> Greenhouse Gases

<sup>2</sup> Solar thermal power station

می‌یابد، اتلاف انرژی ۸.۷٪ کاهش می‌یابد، و ضریب انتقال حرارت کلی ۵.۳۴٪ افزایش می‌یابد [۱۴]. سیستم BIM<sup>۱</sup> روشی است که به معماران اجازه می‌دهد تا طراحی خود را به صورت دیجیتالی شبیه‌سازی کرده و تمام اطلاعات مربوط به یک پروژه معماری را مدیریت کنند. در پایداری، سه جنبه اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به طور کامل با یکدیگر در تعامل هستند و اکثر محققان پایداری را در این سه جنبه اصلی پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی بررسی می‌کنند. بنابراین در این تحقیق چهار هدف را بررسی کرده‌ایم که ابتدا با استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان تاثیر جهت‌گیری ساختمان بر کاهش مصرف انرژی را ارزیابی کرده و بهترین جهت را مشخص می‌کند. سپس با استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به بررسی تاثیر قرارگیری نورگیرها و بازشوها بر کاهش مصرف انرژی می‌پردازیم. در نهایت به بررسی تاثیر استفاده از نماهای سبز و هوشمندی ساختمان بر مصرف انرژی ساختمان می‌پردازیم. در نهایت با مقایسه نتایج به دست آمده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت بهترین حالتها مشخص می‌شود [۱۵].

ویژگی‌های انتقال حرارت و مصرف انرژی مهمترین پارامترهای عملکرد صفحه سرد برای مدیریت حرارتی بسته باتری لیتیوم یون خودروی الکتریکی است. در این کار، به منظور پرداختن به موضوع بهینه‌سازی چندهدفه صفحه سرد چندکاناله تحت جریان ضربانی متناوب، روش‌شناسی سطح پاسخ نتایج نشان می‌دهد که عبارت خطی بیشترین تاثیر را بر روی پارامترها دارد. با توجه به راه‌حل بهینه پارتو به‌دست‌آمده، توابع هدف بهینه برابر با  $W, W m^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1} 394.7012$  و  $A = 0.1086$  و متغیرهای طراحی مربوطه  $vin = 0.02392 m/s$ ،  $e = 3.1846$  و  $0.1778$  هستند [۱۶]. ساختمان سبز مفهومی در توسعه پایدار است که هدف آن کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن از ساختمان‌ها است. در این مطالعه سعی شده است یک سیستم HVAC<sup>۲</sup> سبز جدید طراحی و معرفی شود که مصرف انرژی و تولید کربن ساختمان‌ها را کاهش می‌دهد. نتایج نشان داد که سیستم خنک‌کننده خورشیدی یک انتخاب عالی برای تامین نیازهای خنک‌کننده در آب و هوای گرم است. با اتصال این نوع سیستم خنک‌کننده با بخاری‌های سوخت زیستی، سیستم تهویه مطبوع پایدار می‌تواند ساختمان‌های سبز<sup>۳</sup> را حتی در آب و هوای سرد یا خنک توسعه دهد. افزودن تولیدکنندگان برق سبز مانند پنل‌های فتوولتائیک به این سیستم و ساختمان موفقیت‌آمیز بود. حداکثر انرژی سبز تولیدی در ساختمان‌ها ۱۷/۹ مگاوات ساعت در سال محاسبه شد [۱۷]. برج‌های خورشیدی از هلیوستات برای هدایت نور خورشید به یک گیرنده استفاده می‌کنند. هنگامی که تابش خورشیدی متمرکز به گرما

تبدیل می‌شود، می‌تواند یک توربین بخار متصل به یک ژنراتور برق را به حرکت درآورد که برق تولید می‌کند. هر دو نرم افزار ترنسسیس برای چنین هدفی استفاده می‌شوند. نیروگاه مورد نظر از دو بخش یک چرخه خورشیدی با نمک مذاب به عنوان سیال عامل و یک چرخه رانکین با سیال کاری آب برای تولید برق تشکیل شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که نیروگاه خورشیدی بیشترین تولید برق را در ماه‌های ژوئن و جولای دارد. کارایی در این دو ماه برای نانوسیال نمک مذاب ۲۵٪ و برای نمک مذاب ۲۴٪ است. علاوه بر این، استفاده از نانوسیال نمک مذاب می‌تواند انتقال حرارت در گیرنده خورشیدی را بهبود بخشد و در مقایسه با استفاده از نمک مذاب، برق بیشتری در نیروگاه تولید کند. علاوه بر این، استفاده از دو پیش گرم‌کن به جای یک، کارایی چرخه را تا ۳٪ افزایش می‌دهد [۱۸].

این مقاله عمدتاً مهندسی عملی در مورد شبیه‌سازی سیستم پمپ حرارتی هوا-خاک در یک ساختمان اداری در شن یانگ، چین را بررسی می‌کند. این سیستم در فصل زمستان از منبع هوا به عنوان منبع اصلی گرما و منبع خاک به عنوان منبع گرمای کمکی برای گرمایش استفاده می‌کند، در تابستان فقط از پمپ حرارتی منبع خاک برای سرد کردن استفاده می‌کند. این مقاله شبیه‌سازی هوای سیستم پمپ حرارتی خاک و مقایسه با یک منبع حرارتی را تحلیل مهندسی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد از نظر مصرف انرژی، مصرف انرژی سالانه سیستم پمپ حرارتی دو منبع حرارتی ۲۵۹۶۲.۲۳ کیلووات ساعت است. مصرف انرژی سالانه سیستم پمپ حرارتی تک منبع خاک ۴۵۵۷۳.۷۸ کیلووات ساعت است که در حدود ۴۳.۰۳٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌کند [۱۹]. این مطالعه تاثیر ارتفاع زمین، فاصله ماژول، ارتفاع و زاویه شیب را بر خروجی انرژی سالانه یک سیستم فتوولتائیک مسکونیدر مقیاس کوچک بررسی می‌کند. برای بررسی این سیستم از روش سطح پاسخ ادغام شده با ابزار شبیه‌سازی پی وی سیستم استفاده شده‌است. دو سهم قابل توجه در این مطالعه نشان داده‌شد: یک تحلیل پارامتری که تاثیر چندین پارامتر را بر تولید انرژی سالانه ارزیابی می‌کند و یک تحلیل آماری دقیق که از سطح پاسخ با بهینه‌سازی استفاده می‌کند. برای طرح آزمایشی از طرح مرکب مرکزی با ۳۰ اجرا استفاده شد، یافته‌ها نشان می‌دهد که ارتفاع زمین، فاصله ماژول‌ها و زاویه شیب ماژول به طور قابل توجهی بر تولید انرژی سالانه تأثیر می‌گذارد. تجزیه و تحلیل بهینه‌سازی نشان می‌دهد که بالاترین خروجی انرژی سالانه سیستم زمانی به دست می‌آید که ارتفاع زمین روی ۰.۸۲ تنظیم شود، فاصله ماژول ۸.۹۵ متر، ارتفاع ماژول ۱.۳۵ متر و زاویه شیب ماژول ۳۵.۷ اینچ باشد [۲۰].

<sup>3</sup> Green Building

<sup>1</sup> Building Information Modeling

<sup>2</sup> Heating, Ventilation, and Air Conditioning

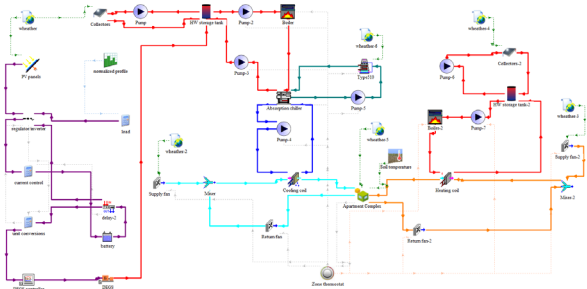


جدول (۱): برخی از تحقیقات انجام شده در خصوص موضوع

ردیف	نویسندگان	سال انتشار	موضوع	نتایج
۱	جعفریان و همکاران	۲۰۲۰	تجزیه و تحلیل انرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم ترکیبی خنک‌کننده، گرما، برق و آب همراه با کلکتورهای فتوولتائیک/حرارتی و سیستم‌های اسمز معکوس	این مطالعه با استفاده از روش‌شناسی سطح پاسخ <sup>۱</sup> (RSM) بهترین راه‌اندازی یک سیستم ترکیبی خنک‌کننده، گرمایش، برق و آب <sup>۲</sup> جدید را برای مناطق ساحلی ارائه می‌کند، نتایج برای شرایط آب و هوایی و الگوهای مصرف دبی و بارسلون (به عنوان دو مطالعه موردی) نشان می‌دهد که مصرف کل برق و گاز سیستم را می‌توان به ترتیب ۷۲.۳٪ و ۶۴.۶٪ نسبت به سیستم پایه کاهش داد.
۲	رحیمی و همکاران	۲۰۲۴	بررسی عملکرد یک سیستم انرژی تجدیدپذیر مستقل با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM): تجزیه و تحلیل E <sub>4</sub> و بهینه‌سازی چند هدفه	این مطالعه با هدف شناسایی و ارائه یافته‌های جدید در زمینه سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ترکیبی متناسب با عملیات خارج از شبکه از طریق یک بررسی عددی-تجربی انجام شد، پارامترهای بهینه‌شناسایی شده شامل تنظیم زمان ۱۲:۳۵ بعد از ظهر، چگالی جریان 0.693 A/cm <sup>2</sup> ، دمای آب ورودی 326.2 K و فشار ورودی توربین ORC در حدود ۵۸۰ کیلو پاسکال است. این پارامترها به نتایج چشمگیر E <sub>4</sub> منجر می‌شوند: ۵۰.۹٪ کارایی انرژی، ۵۴.۷٪ کارایی انرژی، ۰.۵۳ دلار هزینه انرژی و شاخص پایداری ۲.۱.
۳	مانیا و همکاران	۲۰۲۲	مطالعه تجربی و عددی برای توسعه مدل ترنسیس برای یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت فعال با یک گیرنده لوله سرپانتین داخلی	در این مطالعه، یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت فعال (FPSC) با یک گیرنده لوله جاذب داخلی در شهر السماوه عراق (عرض جغرافیایی ۳۱/۱۹ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵/۱۷ درجه شرقی) ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که دمای خروجی کلکتور خورشیدی از ۵۲ تا ۶۱ درجه سانتیگراد با میانگین ۵۸ درجه سانتیگراد متغیر است. کارایی کلکتور خورشیدی پیشنهادی بین ۴۵ تا ۶۷٪ با میانگین ۵۸٪ متغیر است.
۴	قربانی و همکاران	۲۰۱۹	توسعه یک سیستم تولید همزمان نوآورانه برای تولید آب شیرین و انرژی توسط انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از سیستم ذخیره انرژی حرارتی	در این مقاله از دیش کلکتورهای خورشیدی همراه با ذخیره مواد تغییر فاز برای تامین انرژی حرارتی مورد نیاز یک نیروگاه بخار با ظرفیت خالص تولید ۱۰۶۳ مگاوات استفاده شده است. نتایج نشان داد کارایی انرژی کل سازه یکپارچه ۵۲/۲۳٪ است و بیشترین سهم تخریب انرژی در بین تجهیزات مربوط به مبدل‌های حرارتی و کلکتورها به ترتیب ۴۶/۸۳٪ و ۴۰/۹۳٪ است، در ضمن مصرف برق ۴۶٪ کاهش داشته است.
۵	جهانگیر و همکاران	۲۰۲۲	بررسی انرژی در ساختمان‌هایی که از چیلر جذب خورشیدی همراه با بخاری‌های سوخت زیستی و سیستم‌های گرمایش/سرمایش خورشیدی در آب و هوای مختلف استفاده می‌کنند.	این سیستم از چیلرهای جذبی خورشیدی برای تامین نیازهای سرمایشی ساختمان‌ها استفاده می‌کند. علاوه بر این، دیگ‌های بخار با سوخت زیستی (بیوگاز) نیز برای تامین نیازهای گرمایشی اضافه می‌شوند. نتایج مدل‌سازی این سیستم HVAC سبز برای ۱۰ اقلیم مختلف حاکی از مزایای قابل توجه این سیستم نسبت به سیستم‌های سنتی است. سیستم تهویه مطبوع سبز می‌تواند حداکثر ۵۰ مگاوات ساعت انرژی در یک ساختمان چهار طبقه را ذخیره کند. در صورت تجهیز ساختمان مذکور به این سیستم جدید تهویه مطبوع، حداکثر ۳۱ تن کربن صرفه‌جویی و حداکثر انرژی سبز تولیدی در ساختمان‌ها ۱۷/۹ مگاوات ساعت در سال محاسبه شد.
۶	سید محمدی و همکاران	۲۰۲۴	تجزیه و تحلیل E <sub>4</sub> و بهینه‌سازی سه هدفه یک سیستم جدید نسل چهارم خورشیدی برای یک ساختمان مسکونی هوشمند در اقلیم‌های مختلف ایران	این تحقیق شبیه‌سازی دینامیکی یک سیستم جدید تولید همزمان خورشیدی یکپارچه با ساختمان هوشمند با استفاده از نرم‌افزار ترنسیس برای تامین نیاز برق تجهیزات سیستم و برق، گرمایش، سرمایش و آب شیرین مورد نیاز یک ساختمان مسکونی معمولی در ایران را پیشنهاد می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که سیستم می‌تواند تمامی نیازهای انرژی ساختمان را برآورده کند و به‌طور میانگین میزان تولید ساعتی انرژی سرمایشی و گرمایشی در طول یک سال در این سیستم به ترتیب ۱۰۱ کیلووات ساعت و ۱۳۷ کیلووات ساعت است. همچنین، توان مازاد تولید شده برای جبران برخی از هزینه‌های سربار سیستم به شبکه فروخته می‌شود.
۷	چاو و همکاران	۲۰۲۳	تجزیه و تحلیل انرژی، انرژی، انرژی، صرفه‌جویی در انرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی یک سیستم خنک‌کننده، گرمایش و توان ترکیبی (CCHP) تحت استراتژی‌های عملیاتی مختلف: شبیه‌سازی گذرا	عملکرد سیستم CCHP تحت استراتژی‌های عملیاتی مختلف به صورت پویا توسط نرم افزار ترنسیس از انرژی، اکسرژی، صرفه‌جویی در انرژی، اقتصاد و محیط زیست شبیه‌سازی و تحلیل می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که میانگین COP و L <sub>WHP</sub> به ترتیب ۲۲.۶۹٪ و ۴.۷۵٪ بیشتر از COP رتبه‌بندی شده است همچنین کارایی انرژی و بازده انرژی سیستم در حالت FEL در تابستان ۱۹.۹۶٪ و ۴۱.۹۰٪ و در زمستان ۲۵.۱۳٪ و ۵۹.۳۶٪ می‌باشد.

<sup>1</sup> Response surface methodology (RSM)<sup>2</sup> Combined Cooling, Heat, Power, and Water generation (CCHPW)

## ۲- اهداف مطالعه



شکل (۱): پیاده‌سازی پنل فتوولتائیک و دی‌لزتراتور در ترنسیس

### ۳-۱- معادلات حاکم بر بهینه‌سازی سیستم

برای به‌دست آوردن بهترین وضعیت کارایی انرژی، زیست‌محیطی و اقتصادی مدل بررسی شده، از روش طراحی آزمایش سطح پاسخ استفاده می‌شود. همچنین، تاثیر تغییرات فاکتورهای موثر سیستم ترکیبی مورد بررسی بر روی هدف و پاسخ‌های مشخص شده انرژی، زیست‌محیطی و اقتصادی مورد مطالعه قرار گرفت. فاکتورها، متغیرهای مستقلی برای تصمیم‌گیری دقیق در بحث طراحی سیستم ترکیبی مورد تحقیق هستند. از طرفی، پاسخ‌ها شاخص‌های انرژی، زیست‌محیطی و اقتصادی عملکرد سیستم ترکیبی را تحت تاثیر فاکتورهای انتخاب شده برای بهینه‌سازی نشان می‌دهند. سطح پاسخ یک روش آماری است که برای بهینه‌سازی یک پاسخ خاص، در جایی که پاسخ تحت تاثیر فاکتورهای متعددی باشد، استفاده می‌شود [۲۱]. بر اساس فاکتورهای انتخابی، سطح پاسخ مجموعه‌ای از آزمایشات و یا شبیه‌سازی‌های کامپیوتری را طراحی و پیشنهاد می‌کند که پاسخ‌ها باید در آن نقاط ارزیابی و شبیه‌سازی شوند. سطح پاسخ یک معادله درجه دوم برای پیش‌بینی رابطه بین هدف‌های انرژی، زیست‌محیطی و اقتصادی انتخاب شده و فاکتورهای مستقل بهینه‌سازی تشکیل می‌دهد، که مطابق معادله زیر استفاده می‌شود:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{N_f} \beta_i z_i + \sum_{i=1}^{N_f} \beta_{ii} z_i^2 + \sum_{i < j=2}^{N_f} \sum \beta_{ij} z_i z_j \quad (1)$$

که در آن،  $y$  پاسخ انرژی-اقتصادی در نظر گرفته شده،  $Z$  عامل انتخابی برای بهینه‌کردن،  $i$  و  $j$  شمارنده تعداد فاکتورهای مستقل و  $N_f$  تعداد فاکتورها است. علاوه بر این،  $\beta$  ها ضرایب مجهول استفاده شده هستند که با معادلات و تحلیل رگرسیون به دست می‌آیند [۲۱].

### ۳-۱-۱- بهینه‌سازی چند پاسخی

هدف این مطالعه بهینه‌سازی سیستم ترکیبی با در نظر گرفتن جنبه‌های انرژی، زیست‌محیطی و اقتصادی می‌باشد، یعنی باید بیش از یک پاسخ بهینه شود. برای این هدف از روشی به اسم تابع مطلوبیت<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. در این روش، هر پاسخ به یک تابع مطلوبیت خاص تبدیل می‌گردد. تابع مطلوبیت مورد مطالعه بین مقادیر صفر و یک

این مقاله شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و مدل‌سازی دینامیکی یک سیستم چند منبعی تولید انرژی را مورد بررسی قرار می‌دهد. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ترنسیس مدل پیاده‌سازی می‌شود؛ در ادامه با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت مدل بهینه و سپس مجدداً در نرم‌افزار ترنسیس اجرا و نتایج دینامیکی آن تحلیل می‌شود. این سیستم شامل پنل‌های خورشیدی و دستگاه CCHP به‌عنوان تجهیزات اصلی تولید انرژی است. توابع هدف شامل کل مصرف برق، مصرف کل گاز، مصرف سوخت CCHP و همچنین بازگشت سرمایه به عنوان پاسخ اقتصادی و انرژی سیستم می‌باشد. در ادامه تحلیل نتایج دینامیکی سیستم شامل: تغییرات دما، بازدهی و متوسط روزانه برق تولیدی پنل‌های خورشیدی، انرژی جذب شده متوسط روزانه در کلکتورهای خورشیدی، تغییرات متوسط روزانه برق تولیدی، گرمای اگزاست و مصرف سوخت در CCHP، تغییرات ساعتی تقاضای برق، برق تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی و برق تولید شده توسط CCHP، تغییرات ساعتی تقاضای برق، کل برق تولید شده و تغییرات ساعتی تقاضای مصرف گاز سیستم و مجموعه در طول سال بررسی خواهد شد. جداول (۲-۳) اطلاعات ساعت کاری و تعداد نفرات حاضر در محل و اطلاعات ساختمان‌های تولیدی و اداری در پروژه مورد بررسی را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است محل پروژه در شهر تهران و فعالیت شرکت در زمینه تولید بدنه خودرو می‌باشد. اطلاعات ارائه شده در این دو جدول از طرف واحدهای مهندسی، منابع انسانی و انرژی شرکت سایپا پرس ارسال شده است.

### ۳- پیاده‌سازی مدل

جهت شبیه‌سازی سیستم تولید انرژی ترکیبی با محوریت انرژی‌های تجدیدپذیر از نرم‌افزار ترنسیس استفاده شده است. شکل (۱) که برگرفته از نرم‌افزار ترنسیس می‌باشد، نحوه پیاده‌سازی را نشان می‌دهد.

جدول (۲): اطلاعات ساعت حضور و تعداد افراد

شیفت	ساعت کارکرد	تعداد نفرات	محل فعالیت
یک	۷ الی ۱۶	۴۰۰	تولیدی و ستادی
دو	۱۶ الی ۲۴	۱۷۰	تولیدی
سه	۲۴ الی ۷	۱۶۰	تولیدی

جدول (۳): اطلاعات مصرف انرژی ساختمان‌ها

نام ساختمان	کاربری	متراز (متر مربع)	تعداد نفرات شاغل در محل	میزان مصرف برق (KW)
سالن تولید	پرسکاری	۱۷۰۰۰	۳۰۰	۱۵۰۰
ساختمان اداری	ستادی	۱۱۰۰	۳۰	۳۰۰

<sup>۱</sup> Desirability function





پایین نیز صفر است. بنابراین برای پنل‌های فتوولتائیک به عنوان عامل اول، بازه ۰ تا ۲۴۰۰۰ متر مربع و برای توان دیزل ژنراتور به عنوان عامل دوم، بازه ۰ تا ۳۰۰۰ کیلو وات که بیشترین حد مصرف برق کل می باشد در نظر گرفته شده است [۲۲]. برای عامل‌ها و متغیرها، در نرم‌افزار دیزاین اکسپرت روش طراحی آزمایش و روش سطح پاسخ، تعداد  $N_{exp} = 13$  آزمایش همراه با طراحی مرکب مرکزی  $2^{[23]}$  پیشنهاد شده است. در ضمن طراحی آزمایش  $3^3$  و محاسبات سطح پاسخ با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت [۲۴] انجام شد. هدف از بهینه‌سازی، کمینه‌سازی هر پنج پاسخ (تابع هدف) در نظر گرفته شده به صورت همزمان است [۲۵].

#### ۴- نتایج بهینه‌سازی و شبیه‌سازی دینامیکی

برای محاسبه بهترین ترکیب متغیرهای انتخاب شده، روش طراحی آزمایش و بهینه‌سازی سطح پاسخ استفاده شد. جدول (۵) مقادیر پیش‌بینی شده توسط سطح پاسخ برای متغیرها را به گونه‌ای که به سیستم بهینه دست پیدا کنیم، نشان می‌دهد. همچنین، مقادیر هر هدف برای شرایط بهینه در جدول (۶) مشخص شده است. مطلوبیت ترکیبی  $0.724$  برای جواب بهینه، که نزدیک به ایده‌آل  $CD = 1$  است، به دست آمد.

شکل (۲) که کانتورها را نشان می‌دهد، اثرات تغییر عوامل مساحت پنل‌های خورشیدی و توان CCHP را بر پاسخ‌های انرژی-اقتصادی نشان می‌دهد. این نمودار کانتورها، منحنی‌های همسطحی است که براساس مقادیر مختلف مساحت پنل‌های خورشیدی و توان CCHP، نشان می‌دهد که چگونه این تغییرات بر پاسخ‌های انرژی-اقتصادی تأثیر می‌گذارند. به عبارت دیگر، این نمودار نشان می‌دهد که در هر نقطه از نمودار، مقدار پاسخ انرژی-اقتصادی به دست آمده برای آن نقطه است. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از روش‌شناسی سطح پاسخ نشان داد که مساحت پنل‌های فتوولتائیک در حالت بهینه برابر با  $11770$  مترمربع و توان CCHP بهینه برابر با  $1986$  کیلووات است. همچنین، در شرایط بهینه، سیستم بهترین عملکرد را دارد؛ مطلوبیت ترکیبی که برابر با  $0.724$  است، نشان می‌دهد که عملکرد سیستم بهینه نزدیک به حالت ایده‌آل است. از نظر مصرف انرژی، سیستم بهینه به مصرف کل برق  $1079120$  کیلووات، کل مصرف گاز  $375371$  مترمکعب، کل مصرف سوخت دیزل  $2466476$  لیتر و دوره بازگشت سرمایه  $1.61$  سال دست پیدا می‌کند. با توجه به شکل (۲)، می‌توان نقاط بهینه را شناسایی کرده و تغییرات مساحت پنل‌ها و توان CCHP را به گونه‌ای انجام داد که مقادیر پاسخ انرژی-اقتصادی به حداکثر برسند. بنابراین، با بررسی شکل (۶) و تحلیل کانتورها، می‌توان نتیجه گرفت که بهینه‌سازی عوامل مساحت پنل‌های خورشیدی و توان CCHP می‌تواند بهبود قابل توجهی در پاسخ‌های انرژی-اقتصادی داشته باشد.

تغییر می‌کند؛ یعنی برای بدترین حالت، مقدار عددی تابع مطلوبیت صفر است. درحالی‌که تابع مطلوبیت برابر با یک نشان‌دهنده حالتی با شرایط ایده‌آل می باشد. بعد از این، توابع مطلوبیت پاسخ‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند و مطلوبیت ترکیبی  $1$  (CD) به دست می‌آید که مطلوبیت کلی پژوهش بر این اساس، CD به شرح (۲) محاسبه می‌شود:

$$CD = (de_1 \times de_2 \times \dots \times de_{N_r})^{\frac{1}{N_r}} = \left( \prod_{i=1}^{N_r} de_i \right)^{\frac{1}{N_r}} \quad (2)$$

که  $de_i$  مطلوبیت پاسخ  $i$  ام و  $N_r$  تعداد پاسخ‌ها است. لازم ذکر است که مقصود بهینه‌سازی چند هدفه، به حداکثر رساندن مطلوبیت ترکیبی است.

#### ۳-۱-۲- مصرف برق

مصرف برق توسط انواع تجهیزات مصرف‌کننده نظیر انواع الکتروموتورها و موتورهای پرسی و یا فعالیت‌های جوشکاری در طول سال، مشخص می‌شود، که از (۳) به دست می‌آید:

$$AEC = \frac{\sum_{i=1}^{N_t} (PC_{pump} \cdot f_{pump} + PC_{fan} \cdot f_{fan} + PC_{HW} \cdot f_{HW} + PC_{DW} \cdot f_{DW})}{3600} \quad (3)$$

که  $N_t$  تعداد قدم‌های زمانی در حل عددی برای کل مدت زمان شبیه‌سازی است.  $PC$  مصرف انرژی است.  $f$  ضریبی از وضعیت روشن یا خاموش بودن هر یک از اجزاء است؛ زمانیکه وسیله مصرف‌کننده روشن باشد  $f$  برابر یک و زمانی که خاموش باشد،  $f$  برابر صفر است.

#### ۳-۱-۳- کل مصرف گاز طبیعی

یک دیگ کمکی با سوخت مصرفی گاز طبیعی، برای پشتیبانی کردن از چرخه‌ی خورشیدی و به منظور بازیابی آبگرم، استفاده شده است. برای افزایش دمای سیال عامل تا یک دمای مشخص ( $T_{set}$ )، مصرف سالانه گاز طبیعی (ANGC) از (۴) به دست می‌آید:

$$ANGC = \frac{\sum_{i=1}^{N_t} (\dot{m}_f c_f (T_{set} - T_{f,in}) \cdot f_{boiler})}{\eta_{boiler} LHV} \quad (4)$$

که  $\eta_{boiler}$  بازده دیگ و  $LHV$  ارزش حرارتی پایینی گاز طبیعی مصرفی است.

#### ۳-۲- عامل‌ها و پاسخ‌های در نظر گرفته شده برای

#### بهینه‌سازی

دو عامل مساحت پنل‌های فتوولتائیک و توان CCHP متغیرهای اصلی طراحی سیستم است. دامنه تغییرات متغیرها در جدول (۴) مشخص شده است. حداکثر فضای در دسترس جهت نصب پنل‌های خورشیدی  $24000$  متر مربع است؛ به همین دلیل حد بالا  $24000$  متر مربع در نظر گرفته شده است؛ همچنین وقتی هیچ پنلی در مدار نباشد

<sup>2</sup> Central composite design

<sup>3</sup> Design of experiment (DOE)



<sup>1</sup> Composite desirability (CD)

جدول (۴): دامنه تغییرات متغیرهای در نظر گرفته شده

در روش‌شناسی سطح پاسخ

واحد	دامنه تغییرات	عامل
m <sup>2</sup>	۰ - ۲۴۰۰۰	مساحت پنل‌های خورشیدی
kW	۰ - ۳۰۰۰	توان دیزل ژنراتور

جدول (۵): اهداف در نظر گرفته شده در روش‌شناسی سطح پاسخ

Response	Name	Field
R1	Net electricity consumption	energy
R2	Total natural gas consumption	energy
R3	Total diesel consumption	energy
R4	Payback period	economic

جدول (۶): مقادیر بهینه به دست آمده برای متغیرهای انتخاب شده در روش‌شناسی سطح پاسخ

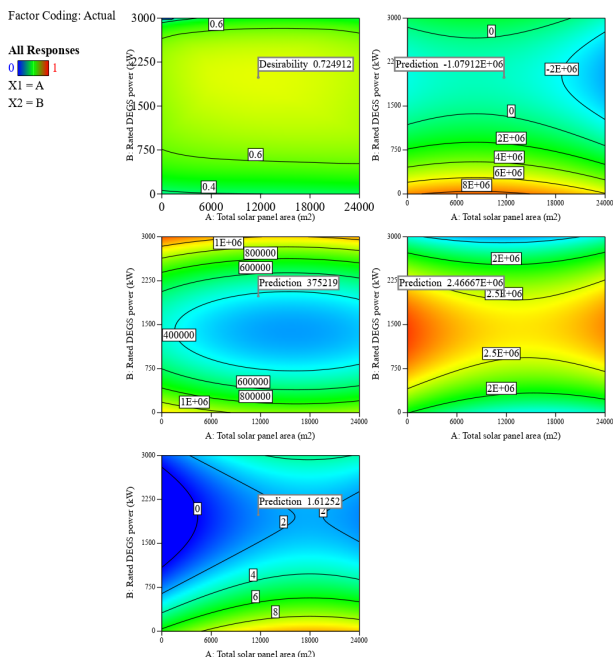
واحد	مقدار بهینه	عامل
m <sup>2</sup>	۱۱۷۷۰	مساحت پنل‌های خورشیدی
kW	۹۸۴	توان دیزل ژنراتور

جدول (۷): مقادیر به دست آمده برای هدف‌ها

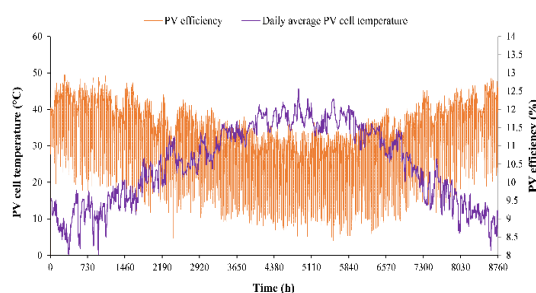
در سیستم روش‌شناسی سطح پاسخ

واحد	نتایج بهینه	پاسخ‌ها	جنبه‌های انرژی-اقتصادی
kWh	-۱۰۷۹۱۲۰	مصرف کل برق	انرژی
m <sup>3</sup>	۳۷۵۳۷۱	کل مصرف گاز	
L	۲۴۶۶۴۷۶	کل مصرف سوخت دیزل	
سال	۱.۶۱	دوره بازگشت سرمایه (PBP)	اقتصادی

با توجه به شکل (۴)، که تغییرات متوسط روزانه برق تولیدی در پنل‌های خورشیدی در طول سال را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که در فصول سرد سال، میزان نوسانات برق تولیدی پنل‌ها بسیار بیشتر از نوسانات در فصل‌های گرم است. در فصول سرد سال، میزان تولید برق پنل‌ها بین ۱۰ تا ۳۰۰ کیلووات متغیر است. اما در فصل‌های گرم سال، میزان تولید برق بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلووات نوسان می‌کند که نشان می‌دهد، میزان تولید برق در این فصل‌ها پیوسته‌تر است و تداوم بیشتری دارد. این میزان بالاتر تولید برق در فصل‌های گرم می‌تواند به دلیل دریافت میزان تشعشع خورشیدی بیشتر و افزایش زمان تابش خورشید در این فصول باشد. همچنین، با توجه به شکل (۵)، که نشان‌دهنده انرژی جذب شده متوسط روزانه در کلکتورهای خورشیدی با مساحت ۱۰۰ متر مربع (برای پیش‌گرمایش آب) است، مشاهده می‌شود که در طول سال، کلکتورهای خورشیدی توانسته‌اند میزانی بین ۳۰ تا ۷۰ کیلووات انرژی را جذب کنند. این انرژی جذب شده می‌تواند در گرم کردن آب مورد استفاده در سیستم پیش‌گرمایش به بویلر کمک کند.



شکل (۲): کانتورهای اثرات تغییر عامل‌های مساحت پنل‌های خورشیدی و توان CCHP روی پاسخ‌های انرژی-اقتصادی



شکل (۳): تغییرات دما و بازدهی پنل‌های خورشیدی در طول سال

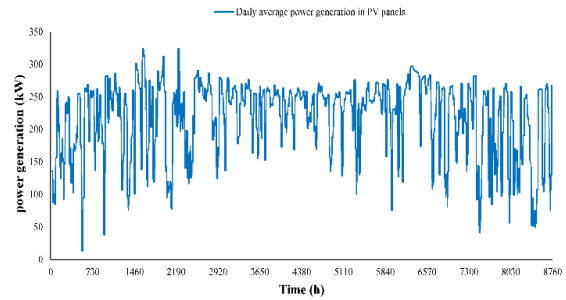
### ۴-۱- نتایج دینامیکی

در این بخش نتایج دینامیکی مختلف به صورت ساعتی در طول سال گزارش شده‌است. بر اساس تحلیل شکل (۳)، می‌توان به ارتباط عکس بین دمای سلول خورشیدی و بازدهی پنل خورشیدی در طول سال پی برد. در شبیه‌سازی انجام شده، دو بازه زمانی از ساعت ۰ تا ۲۱۹۰ و از ساعت ۶۵۷۰ تا ۸۷۶۰ در نظر گرفته شده است. این بازه‌ها به ترتیب ماه‌های سرد و گرم سال را نمایش می‌دهند. در ماه‌های سرد سال، به دلیل دمای محیط پایین‌تر، دمای سلول خورشیدی کاهش می‌یابد و در نتیجه بازدهی پنل خورشیدی بیشتر است. این بازه‌ها شامل ساعاتی از ساعت ۰ تا ۲۱۹۰ و از ساعت ۶۵۷۰ تا ۸۷۶۰ می‌شوند. در این بازه‌ها، بازدهی پنل خورشیدی در حدود ۲۵ تا ۴۸٪ نوسان می‌کند. از ساعت ۲۱۹۰ تا ۶۵۷۰، که ماه‌های گرم سال را شامل می‌شود، دمای سلول خورشیدی بین ۳۰ تا حدود ۴۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است. در این بازه زمانی، بازدهی پنل خورشیدی کاهش می‌یابد و بین ۸ تا حدود ۳۰٪ تغییر می‌کند.

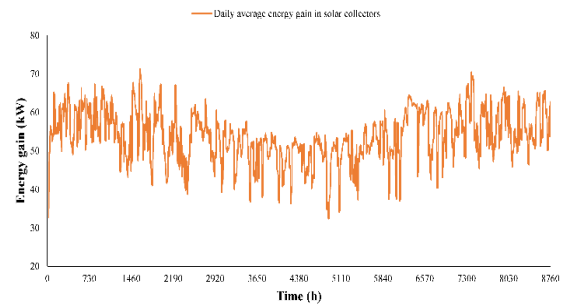


این میزان انرژی جذب شده توسط کلکتورهای خورشیدی نشان می‌دهد که این سیستم‌ها قادر به استفاده از انرژی خورشید برای تأمین بخشی از نیازهای گرمایشی سیستم آب گرم مجموعه هستند. با استفاده از این روش، می‌توان به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با آنها کمک کرد. شکل (۶) تغییرات متوسط روزانه برق تولیدی در CCHP در طول سال را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در طول سال، متوسط تولید روزانه برق در CCHP تغییر می‌کند. مشاهده می‌شود که در فصول گرم سال، میزان برق تولیدی دیزل ژنراتور کمتر از فصول سرد سال است. دلیل این امر این است که در فصول گرم سال، به دلیل تشعشع خورشیدی بیشتر و تعداد روزهای ابری کمتر، پنل‌های خورشیدی توانسته‌اند بیشترین میزان برق را تولید کنند و نیاز مجموعه را تأمین کنند. این به این معنی است که در فصول گرم سال، نیاز به پشتیبانی تولید برق از طریق CCHP کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، در این فصول کمتر به کار گرفته می‌شوند زیرا تولید برق از پنل‌های خورشیدی برای تأمین نیاز مجموعه کافی است. شکل (۷) تغییرات ساعتی گرمای اگزاست CCHP و مصرف سوخت در طول سال را نشان می‌دهد. با توجه به توضیحات ارائه شده، شکل (۸) تغییرات ساعتی گرمای اگزاست CCHP و مصرف سوخت آن در این سیستم در طول سال را نمایش می‌دهد. مشاهده می‌شود که در فصول گرم سال، میزان سوخت مصرفی CCHP کمتر است و به طبع آن، میزان گرمای دریافتی از اگزاست دیزل ژنراتور نیز کمتر است. دلیل این امر این است که در فصول گرم سال، نیاز به گرمایی که توسط CCHP تأمین می‌شود، کاهش می‌یابد. به دلیل اینکه در این فصول دمای هوا افزایش می‌یابد و نیاز به گرمایی اضافی کاهش می‌یابد. در نتیجه، سیستم CCHP کمتر به کار گرفته می‌شود و مصرف سوخت آن کاهش می‌یابد. از طرفی میزان تولید برق پنل‌های خورشیدی نیز در فصل گرم بیشتر است. بنابراین میزان مصرف سوخت CCHP هم کاهش داشته است چون نیاز کمتری به سیستم پشتیبان وجود داشته است.

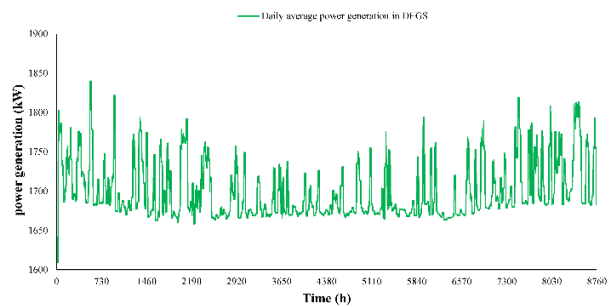
شکل (۹) تغییرات ساعتی تقاضای برق، برق تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی و برق تولید شده توسط دیزل ژنراتور در طول سال را نشان می‌دهد. از تحلیل این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که سیستم بهینه ترکیبی طراحی شده برای مجموعه نه تنها قادر به تأمین کل برق مورد نیاز مجموعه است، بلکه میزان اضافی از برق نیز برای فروش به شبکه باقی می‌ماند. در نمودار، میزان برق تولید شده توسط CCHP و پنل‌های خورشیدی در برخی اوقات بیشتر از تقاضای برق مجموعه است. این به این معنی است که در این زمان‌ها، سیستم توانایی تأمین برق مورد نیاز مجموعه را دارد و حتی میزان اضافی از برق تولید می‌شود که می‌تواند به شبکه برق عمومی فروخته شود. از مزیت‌های استفاده از سیستم بهینه ترکیبی CCHP و پنل‌های خورشیدی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:



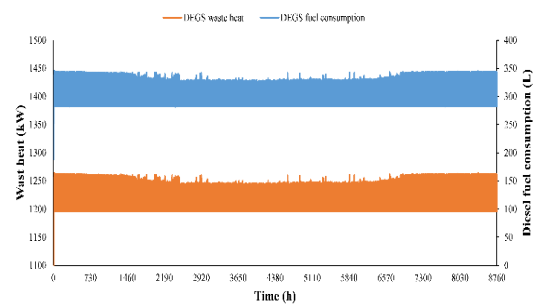
شکل (۴): تغییرات متوسط روزانه برق تولیدی در پنل‌ها در طول سال



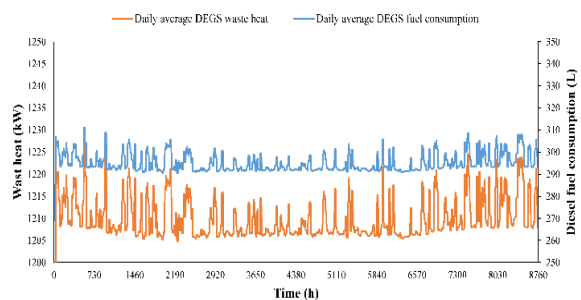
شکل (۵): انرژی جذب شده متوسط روزانه در کلکتورهای خورشیدی (مساحت کلکتور: ۱۰۰ متر مربع)



شکل (۶): تغییرات متوسط روزانه برق در CCHP در طول سال



شکل (۷): تغییرات ساعتی گرمای اگزاست CCHP و مصرف سوخت در طول سال



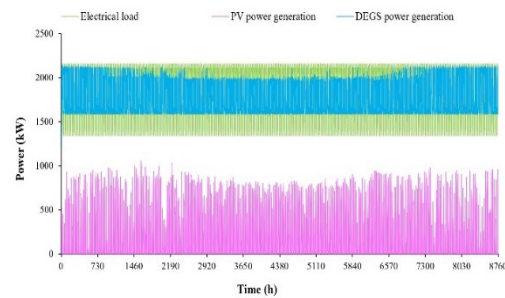
شکل (۸): تغییرات متوسط روزانه گرمای اگزاست CCHP و مصرف سوخت در طول سال

اضافی استفاده کرد. برق تولیدی از برق مصرفی مجموعه کمتر است و این میزان به شبکه فروخته می‌شود.

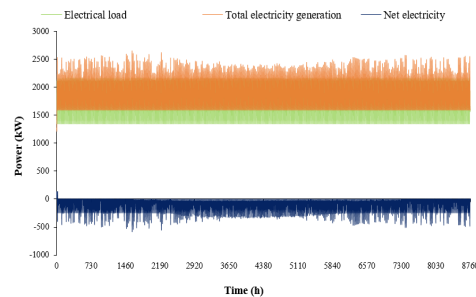
شکل (۱۱) تغییرات ساعتی تقاضای مصرف گاز سیستم و مجموعه، معادل مترمکعب گاز حاصل از انرژی جذب شده از طریق کلکتورهای خورشیدی و معادل مترمکعب گاز حاصل از انرژی اگزاست CCHP را نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که مصرف گاز در ماه‌های سرد سال بیشتر از سایر ماه‌ها است. در فصل سرما، نیاز به گرمایش بیشتر است و در نتیجه مصرف گاز افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، در فصل تابستان که هوا گرم‌تر است، نیاز به گرمایش کاهش می‌یابد و بنابراین مصرف گاز نیز کاهش می‌یابد. در نمودار، مشاهده می‌شود که میزان گرمای اتلافی که از اگزاست CCHP تولید می‌شود، در طول سال تقریباً ثابت است. این یعنی CCHP برای تأمین گرما در طول سال به صورت پایدار عمل می‌کند و برای مصرف گاز به شدت وابسته به فصل نیست. از این رو، بهبود کارایی CCHP و استفاده از انرژی اگزاست در تولید گرما، می‌تواند به کاهش مصرف گاز در مجموعه کمک کند. در عین حال، میزان گرمای جذب شده توسط کلکتورهای خورشیدی در تابستان بیشتر از زمستان است.

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

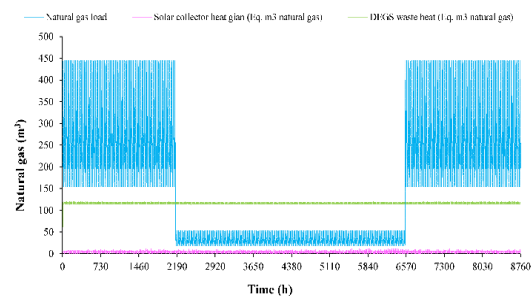
در نتایج مشاهده شد که سیستم تولید همزمان استفاده از پنل‌های فتوولتائیک و CCHP می‌تواند یک راهکار مناسب برای تولید انرژی الکتریکی و حرارتی با در نظر گرفتن نیازهای سالن‌های تولیدی و اداری باشد. این سیستم قابلیت تنظیم و بهینه‌سازی مصرف سوخت و کاهش هزینه‌های انرژی را فراهم می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که سیستم ترکیبی مورد مطالعه با توجه به شرایط آب و هوایی محل مطالعه، قادر به تولید انرژی الکتریکی و حرارتی در طول سال است. با استفاده از روش سطح پاسخ نشان داده شد که مساحت پنل‌های فتوولتائیک در حالت بهینه برابر با ۱۱۷۷۰ مترمربع و توان CCHP بهینه برابر با ۱۹۸۶ کیلووات است. همچنین، در شرایط بهینه، سیستم بهترین عملکرد را دارد؛ مطلوبیت ترکیبی که برابر با ۰.۷۲۴ است، نشان می‌دهد که عملکرد سیستم بهینه نزدیک به حالت ایده‌آل است. از نظر مصرف انرژی، سیستم بهینه به مصرف کل برق ۱۰۷۹۱۲۰ کیلووات، کل مصرف گاز ۳۷۵۳۷۱ مترمکعب، کل مصرف سوخت CCHP ۲۴۶۶۴۷۶ لیتر و دوره بازگشت سرمایه ۱.۶۱ سال دست پیدا می‌کند. در بخش تغییرات دما و بازدهی پنل‌های خورشیدی در طول سال در این بازه زمانی، بازدهی پنل خورشیدی کاهش می‌یابد و بین ۸٪ تا حدود ۳۰٪ تغییر می‌کند. این نشان می‌دهد که با وجود اینکه در ماه‌های گرم سال میزان تشعشع خورشید کمتر است، اما به دلیل افزایش دمای سلول خورشیدی، بازدهی پنل خورشیدی کاهش می‌یابد. با توجه به تحلیل فوق، می‌توان نتیجه گرفت که بازدهی پنل خورشیدی به دمای سلول خورشیدی وابسته است و با افزایش دما، بازدهی کاهش می‌یابد. همچنین در طول سال، دمای سلول خورشیدی و متغیرهای محیطی دیگر تأثیر قابل توجهی بر عملکرد آن دارند. این نشان می‌دهد که با



شکل (۹): تغییرات ساعتی تقاضای برق، برق تولیدی توسط پنل‌های خورشیدی و برق تولید شده توسط CCHP در طول سال



شکل (۱۰): تغییرات ساعتی تقاضای برق، کل برق تولید شده (مجموع برق پنل‌های خورشیدی و برق تولید شده توسط CCHP) و مصرف کل برق (تفاضل تقاضای برق و کل برق تولیدی) در طول سال



شکل (۱۱): تغییرات ساعتی تقاضای مصرف گاز سیستم و مجموعه، معادل مترمکعب گاز حاصل از انرژی جذب شده از طریق کلکتورهای خورشیدی و معادل مترمکعب گاز حاصل از انرژی اگزاست دیزل

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر: با استفاده همزمان از CCHP و پنل‌های خورشیدی، مجموعه از منابع انرژی تجدیدپذیر بهره‌برداری می‌کند. این کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی را نشان می‌دهد و به حفظ محیط زیست کمک می‌کند.

تأمین برق پایدار: سیستم بهینه ترکیبی توانایی تأمین برق پایدار را دارد. با توجه به نمودار، مجموعه قادر است در همه زمان‌ها، حتی در ساعات‌های بار پایین، برق مورد نیاز را تأمین کند.

کاهش هزینه‌های سوخت: استفاده از پنل‌های خورشیدی در ساعات‌های بار پایین میزان مصرف سوخت CCHP را کاهش می‌دهد. این بهبود در بهره‌وری سیستم باعث کاهش هزینه‌های سوخت و مدت بازگشت سرمایه سیستم می‌شود.

فروش برق اضافی: در زمان‌هایی که تولید برق توسط CCHP و پنل‌های خورشیدی بیشتر از تقاضای برق مجموعه است، می‌توان این اضافه برق را به شبکه برق عمومی فروخت و به عنوان یک منبع درآمد



برق عمومی فروخته و از آن به عنوان منبع درآمد اضافی بهره‌برداری کند. این نتیجه نشان می‌دهد که سیستم بهینه ترکیبی CCHP و پنل‌های خورشیدی از مزایای اقتصادی، محیط زیستی و پایداری برخوردار است و می‌تواند به عنوان یک راه حل مناسب برای تأمین برق در مجموعه‌های صنعتی و تجاری مورد استفاده قرار گیرد.

تغییرات ساعتی تقاضای مصرف گاز سیستم و مجموعه، معادل متر مکعب گاز حاصل از انرژی جذب شده از طریق کلکتورهای خورشیدی و معادل متر مکعب گاز حاصل از انرژی اگزاست CCHP، نشان می‌دهد که با استفاده از سیستم کلکتورهای خورشیدی و CCHP به عنوان منابع انرژی تجدیدپذیر در این مجموعه، مزایایی مانند کاهش هزینه‌ها و استفاده بهینه از فضا را به مجموعه ارائه می‌دهد. با توجه به تغییرات فصلی در مصرف گاز و تأمین انرژی از کلکتورهای خورشیدی و CCHP، میزان مصرف گاز در فصول سرد سال کاهش می‌یابد و در فصل تابستان به حداقل می‌رسد. این بهبود کارایی انرژی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی می‌تواند به حمایت از محیط زیست و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند.

همانطور که در بخش‌های قبلی ذکر شد، طراحی دقیق سیستم‌های CCHP به گونه‌ای که همه پارامترها در حالت بهینه خود باشند بسیار مهم است. از این رو در این پژوهش نیز از یک روش بهینه‌سازی برای دستیابی به بهترین طراحی ممکن در نرم افزار ترنسیس استفاده شد. در این پژوهش از روش طراحی آزمایش به کمک روش سطح پاسخ یا RSM استفاده شده و در نهایت خروجی نرم‌افزار ترنسیس موارد دینامیکی پژوهش را پیاده‌سازی می‌کند. در نتایج این پژوهش، مشاهده شد که سیستم تولید همزمان کوپل شده با استفاده از پنل‌های خورشیدی و CCHP می‌تواند یک راهکار مناسب برای تولید همزمان انرژی الکتریکی و حرارتی با در نظر گرفتن نیازهای ساختمان‌ها باشد. این سیستم قابلیت تنظیم و بهینه‌سازی مصرف سوخت و کاهش هزینه‌های انرژی را فراهم می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که سیستم ترکیبی مورد بررسی با توجه به شرایط آب و هوایی محل مطالعه، قادر به تولید انرژی الکتریکی و حرارتی در طول سال است. همچنین، با اضافه کردن یک چیلر جذبی، سیستم قادر به تأمین نیازهای سرمایشی ساختمان نیز می‌باشد. این سیستم از نظر عملکرد، بهینه‌سازی مصرف سوخت و تولید همزمان انرژی الکتریکی و حرارتی، عملکرد قابل قبولی دارد. با توجه به نتایج این تحقیق، سیستم ترکیبی پیشنهاد شده می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب در صنعت و ساختمان‌ها برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، این سیستم می‌تواند به کاهش آلودگی محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند. در نتیجه، استفاده از سیستم تولید همزمان کوپل شده با پنل‌های خورشیدی و CCHP به عنوان یک راهکار پایدار و اقتصادی برای تأمین انرژی الکتریکی و حرارتی با در نظر گرفتن نیازهای ساختمان‌ها و شرایط آب و هوایی محل مطالعه، توصیه می‌شود.

در تحقیق انجام شده موارد ذیل مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن در مقایسه با سایر پژوهش‌ها مشخص شده است:

وجود اینکه در ماه‌های سرد سال میزان تشعشع دریافتی از خورشید کمتر از ماه‌های گرم سال است، اما به دلیل پایین‌تر بودن دمای سلول خورشیدی در فصل سرد، بازدهی پنل‌ها به مراتب بیشتر بوده‌است.

از تغییرات متوسط روزانه برق تولیدی در پنل‌ها در طول سال مشاهده می‌شود که در فصول سرد سال، میزان نوسانات برق تولیدی پنل‌ها بسیار بیشتر از نوسانات در فصل‌های گرم است. این نتیجه می‌تواند به دلیل تغییرات دما و شدت نور خورشید در طول فصول سال باشد. در فصل‌های سرد، به دلیل کاهش شدت تشعشع خورشیدی، عملکرد پنل‌های خورشیدی کاهش می‌یابد و بنابراین میزان تولید برق نیز کاهش می‌یابد. این تغییرات دما و نور در فصل‌های سرد سال می‌تواند به دلیل آسمان ابری و کاهش زمان تابش خورشید در این فصول باشد، در نتیجه، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات فصلی و نوسانات در شدت نور و دما، تأثیر قابل توجهی بر تولید برق پنل‌های خورشیدی دارند. این نتایج می‌تواند در توسعه و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های خورشیدی مورد استفاده قرار گیرند و برای برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر منابع انرژی خورشیدی مورد استفاده قرار گیرند.

تغییرات متوسط روزانه برق تولیدی در CCHP در طول سال در فصول سرد سال، احتمالاً به دلیل کاهش تشعشع خورشیدی و افزایش تعداد روزهای ابری است، که تولید برق از پنل‌های خورشیدی کاهش می‌یابد و نیاز به پشتیبانی تولید برق از طریق CCHP افزایش می‌یابد. در نتیجه، در فصول سرد سال، CCHP بیشتر به کار گرفته می‌شوند تا نیاز به برق مجموعه را تأمین کنند. به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهند که استفاده از پنل‌های خورشیدی در فصول گرم سال می‌تواند به کاهش نیاز به پشتیبانی تولید برق از طریق CCHP و در نتیجه کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با آنها کمک کند. تغییرات ساعتی گرمای اگزاست CCHP و مصرف سوخت آن در طول سال و تغییرات متوسط روزانه گرمای اگزاست CCHP و مصرف سوخت دیزل در طول سال، منجر به کاهش مصرف سوخت در CCHP در فصول گرم سال می‌شود که می‌تواند به دلیل استفاده بیشتر از پنل‌های خورشیدی برای تأمین نیازهای گرمایشی باشد. از آنجا که در این فصول تشعشع خورشیدی بیشتر است، پنل‌های خورشیدی می‌توانند بیشترین میزان انرژی را تولید کنند و نیاز به استفاده از CCHP کمتر می‌شود. به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهند که در فصول گرم سال، میزان مصرف سوخت و نیاز به گرمای CCHP کاهش می‌یابد. این می‌تواند به کاهش هزینه‌های سوخت و انتشار آلاینده‌های مرتبط با سوخت‌های فسیلی کمک کند. همچنین، استفاده از پنل‌های خورشیدی در این فصول می‌تواند به استفاده بهینه از منابع انرژی تجدیدپذیر و کاهش تأثیرات محیط زیستی مرتبط با مصرف سوخت‌های فسیلی کمک کند.

از تحلیل تغییرات ساعتی تقاضای برق، برق تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی و برق تولید شده توسط CCHP در طول سال می‌توان نتیجه گرفت که طراحی و استفاده از سیستم بهینه ترکیبی CCHP و پنل‌های خورشیدی به مجموعه امکان می‌دهد تا به طور کامل و پایدار برق مورد نیاز خود را تأمین کند و حتی میزان اضافی از برق را به شبکه

- در تحقیق حاضر، آنالیز حساسیت انجام شده است تا تأثیر عوامل مساحت پنل‌های خورشیدی و توان CCHP بر تابع مطلوبیت سیستم را بررسی کند. به عبارت دیگر، این تحلیل به ما این امکان را می‌دهد که درک بهتری از تأثیر تغییرات در این دو عامل بر عملکرد بهینه سیستم پیدا کنیم. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تابع مطلوبیت (CD) برابر با ۰.۷۲۵ است. این نشان می‌دهد که با ترکیب بهینه از دو عامل، سیستم به یک حالت بهینه می‌رسد و مقدار تابع مطلوبیت به ۰.۷۲۵ نزدیک می‌شود. این مقدار نزدیک به بیشترین مقدار ممکن تابع مطلوبیت (۱) است در تحقیق‌های مشابه پیشینه تحقیق تابع مطلوبیت‌های مختلفی از ۰.۶۴، ۰.۵۶، ۰.۸۲ ارائه شده است؛ لیکن تابع مطلوبیت بالای ۰.۷ دارای حالت بهینه بوده و نشان‌دهنده این مورد می‌باشد که سیستم در حالت بهینه طراحی شده است. در ضمن تابع مطلوبیت به‌دست آمده بر اساس موقعیت جغرافیای و ظرفیت در نظر گرفته شده بر اساس تجهیزات موجود به‌دست آمده است.

- در تحقیق حاضر، تأثیر عوامل مساحت پنل‌های خورشیدی و توان CCHP بر مصرف کل برق بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش توان CCHP از ۰ تا ۳۰۰۰ کیلووات، مصرف کل برق از حدود ۷۰۰۰۰۰۰ کیلووات ساعت در سال به تقریباً ۲۵۰۰۰۰۰ کیلووات ساعت در سال کاهش می‌یابد. این مورد نشان می‌دهد سیستم تولید برق بیشتر از نیاز مصرفی مجموعه تولید شده و بخشی از برق تولیدی به شبکه برق عرضه می‌گردد. این کاهش حدود ۶۴٪ بوده و در تحقیق‌های دیگری که در بخش پیشینه تحقیق اشاره شده این مقدار در عددهای مختلف نظیر ۱۰٪، ۳۵٪، ۶۰٪ نیز مشاهده شده است. لازم به توضیح می‌باشد در تحقیق انجام شده با توجه به موقعیت جغرافیایی و ظرفیت در نظر گرفته شده و همچنین آنالیز حساسیت انجام شده بهینه‌ترین حالت را طراحی و کاهش ۶۴٪ را به‌دنبال داشته است.

- در نتایج حاصل از پژوهش، تأثیر تغییرات عوامل مساحت پنل‌های خورشیدی و توان CCHP بر کل مصرف گاز سیستم و مجموعه مورد بررسی قرار گرفته است. با افزایش توان CCHP از ۰ تا حدود ۱۶۰۰ کیلووات، مصرف کل گاز با کاهش ۷۷.۱٪، معادل ۱۳۰۹۹۸۵ مترمکعب در سال به تقریباً ۳۰۰۰۰۰ مترمکعب در سال کاهش داده شد. این کاهش در مصرف گاز به دلیل استفاده از گرمای خروجی در CCHP و افزایش دمای آب مخزن ذخیره آب گرم می‌باشد. با افزایش دما، نیاز به استفاده از بویلر در سیستم کمتر می‌شود و بویلر کمتری برای تأمین گرمای مورد نیاز مورد استفاده قرار می‌گیرد در بخش پیشینه تحقیق این کاهش با اعدادی ۴۶.۸۳٪، ۶۰٪ مشاهده شده ولیکن در تحقیق انجام شده با توجه به موقعیت جغرافیایی و ظرفیت در نظر گرفته شده این مقدار ۷۷.۱٪ شده است که نشان می‌دهد سیستم در شرایط بسیار مناسبی طراحی شده است.

- همچنین تأثیر تغییرات عوامل مساحت پنل‌های خورشیدی و توان CCHP بر مصرف سوخت دیزل مورد بررسی قرار گرفته است. می‌توان از نتایج شبیه‌سازی به این نتیجه رسید که تغییرات مصرف گاز و مصرف سوخت دیزل در CCHP روندی بر عکس یکدیگر دارند. در واقع، کاهش

همزمان مصرف گاز و سوخت در CCHP امکان‌پذیر نیست و روند آن‌ها عکس یکدیگر است. نتایج نشان می‌دهد که باید تصمیم‌گیری درباره استفاده بیشتر از کدام سوخت صورت گیرد. بسته به کمبود گاز طبیعی در کشور و کاهش فشار در شبکه، می‌توان تمرکز را بر روی افزایش توان CCHP تا ۱۶۰۰ کیلووات قرار داد. در این صورت، مصرف گاز کمتری رخ می‌دهد، اما مصرف سوخت CCHP بیشتر است. با استفاده از بهینه‌سازی با استفاده از روش RSM، نقطه بهینه در مساحت پنل‌ها با اندازه ۱۱۷۱۶.۸۹ مترمربع و توان CCHP با اندازه ۱۹۸۶.۶۹ کیلووات مشخص شده است. در این نقطه بهینه، مصرف کلی سوخت دیزل برابر با ۲۴۶۶۴۷۶.۴ لیتر در سال است، در پژوهش‌های دیگری که در پیشینه تحقیق اشاره شده این مقدار در بازه ۱ میلیون تا ۴ میلیون متغیر می‌باشد، ولیکن در تحقیق انجام شده با توجه به موقعیت جغرافیایی و ظرفیت در نظر گرفته شده بهینه‌ترین حالت را طراحی و میزان سوخت مورد نیاز حدود ۲.۵ میلیون لیتر محاسبه شده است.

- همچنین، نصب سیستم‌های خنک‌کننده و اطمینان از تهویه مناسب می‌تواند به کاهش اثرات گرما بر کارایی پنل خورشیدی کمک کند. در پیشینه تحقیق مشخص شد که با استفاده از تکنیک خنک نمودن پنل‌های خورشیدی با روش‌های مختلف تأثیر بسزایی در افزایش کارایی از ۶٪ تا ۸۲.۶٪ انجام شده است. ابتدا از تکنیک استفاده از اسپری آب بر روی پنل‌های خورشیدی استفاده شده است که در این روش ۷.۶٪ تا ۲۳٪ را به‌دنبال داشته است. مورد بعدی اضافه نمودن نانو سیال جهت بالا بردن کارایی تأثیر ۲۴٪ را نشان می‌دهد. در بخش دیگر با استفاده از فن‌های خنک‌کننده بازده پنل‌ها با افزایش ۳.۳۵٪ تا ۱۰.۵٪ را به‌دنبال داشته است. با توجه به تحقیق کاربردی انجام شده مشخص است که تأثیر دما بر روی کارایی مستقیم بوده و در تحقیق انجام شده بین ۷ تا ۳۰٪ متغیر می‌باشد که این نتایج با توجه به موقعیت جغرافیایی و ظرفیت طراحی در حالت ایده‌آل محاسبه شده است.

همچنین در ژوئن ۲۰۲۲ در آکالا دهنارس اسپانیا در شرایط بیرونی آزمایشی مبنی بر خنک کردن پنل و تأثیر دما بر کارایی انجام شد. دبی مایع خنک‌کننده ۳ لیتر در دقیقه (۱.۸ لیتر در دقیقه در هر متر مربع پنل خورشیدی) است. در نتیجه، پنل خورشیدی خنک می‌شود و دما به  $1 \pm 20^\circ\text{C}$  با میانگین روزانه  $15 \pm 1^\circ\text{C}$  کاهش می‌یابد. به دلیل خنک شدن خورشید، بازده پانل به طور قابل توجهی تا  $0.8 \pm 13.8\%$  افزایش یافته است. همانطور که در نتایج تحقیق به‌دست آمده مقدار تأثیر دما بر روی افزایش کارایی ۸٪ تا ۳۰٪ به‌دست آمده که در حالت بهینه می‌باشد. با توجه به تحلیل‌های انجام شده، استفاده از سیستم کلکتورهای خورشیدی و CCHP به عنوان منابع انرژی مجدداً تأیید می‌کند که این روش‌ها می‌توانند به کاهش مصرف گاز و بهره‌وری انرژی در مجموعه کمک کنند.

## مراجع

- [1] M. A. Obalanlege, J. Xu, C. N. Markides, and Y. Mahmoudi, "Techno-economic analysis of a hybrid photovoltaic-thermal solar-assisted heat pump system for domestic hot water and power generation," *Renewable Energy*, vol. 196, pp. 720-736, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.044>.



- intermittent pulsating flow by RSM and NSGA-II for thermal management of electric vehicle lithium-ion battery pack”, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.129085
- [17] M. H. Jahangir, A. Kargarzadehand F. Javanshir, “Energy investigation in buildings applying a solar adsorption chiller coupled with biofuel heaters and solar heating/cooling systems in different climates”, vol. 8, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.10.428.
- [18] N. H. Abu-Hamdeh, “Numerical investigation of molten salt/SiO<sub>2</sub> nano-fluid in the solar power plant cycle and examining different arrangements of shell and tube heat exchangers and plate heat exchangers in these cycles”, vol. 124, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.JTICE.2021.05.018.
- [19] H. Wang, “Simulation and Analysis of Air-Ground Dual source Heat Pump Operating Efficiency☆”, vol. 121, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.PROENG.2015.09.052.
- [20] A. Radwan, A. Mdallal, S. Haridy, M. A. Abdelkareem, A. H. Alamiand A. Olabi, “Optimizing the annual energy yield of a residential bifacial photovoltaic system using response surface methodology”, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.renene.2023.119914.
- [21] G. A. Lujan-Moreno, G. A. Lujan-Moreno, P. Howard, O. Rojasand D. C. Montgomery, “Design of experiments and response surface methodology to tune machine learning hyperparameters, with a random forest case-study”, vol. 109, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.ESWA.2018.05.024.
- [22] G. C. Derringer and R. C. Suich, “Simultaneous Optimization of Several Response Variables”, vol. 12, no. 4, Oct. 1980, doi: 10.1080/00224065.1980.11980968.
- [23] Y. Li, L. Luand H. Yang, “Energy and economic performance analysis of an open cycle solar desiccant dehumidification air-conditioning system for application in Hong Kong”, vol. 84, no. 12, Dec. 2010, doi: 10.1016/J.SOLENER.2010.09.006.
- [24] W. A. Jensen, “Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments 4th edition”, vol. 49, no. 2, Nov. 2017, doi: 10.1080/00224065.2017.11917988.
- [25] Varghese, E., & Hemavathi, M. (2023). Design Expert Software for RSM and ME: Overview, Design Generation and Analysis.
- [2] D. Lopez-Pascual, I. Valiente-Blanco, O. Manzano-Narro, M. Fernandez-Munoz, and E. Diez-Jimenez, “Experimental characterization of a geothermal cooling system for enhancement of the efficiency of solar photovoltaic panels,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 756–763, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.154>.
- [3] S. Pater, “Long-Term Performance Analysis Using TRNSYS Software of Hybrid Systems with PV-T,” *Energies*, vol. 14, no. 21, p. 6921, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/en14216921>.
- [4] A. Al-Manea, R. Al-Rbaihat, H. T. Kadhim, A. Alahmer, T. Yusafand K. Egab, “Experimental and Numerical Study to Develop TRANSYS Model for an Active Flat Plate Solar Collector with an Internally Serpentine Tube Receiver”, vol. 15, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.ijft.2022.100189.
- [5] M. H. Nasr Esfahani, A. Hajizadeh Aghdamand A. H. Refahi, “Energy, exergy, exergoeconomic, exergoenvironmental (4E) assessment, sensitivity analysis and multi-objective optimization of a PTC –tehran climate data case study”, vol. 415, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137821.
- [6] B. Saadmohammadi and B. Sajadi, “4E analysis and tri-objective optimization of a novel solar 4th cogeneration system for a smart residential building in various climates of Iran”, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2024.118177.
- [7] R. Geetha, M. M. Vijayalakshmiand E. Natarajan, “Modeling and Simulation Assessment of Solar Photovoltaic/Thermal Hybrid Liquid System Using TRNSYS”, Nov. 2015, doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.813-814.700.
- [8] N. Molero-Villar, J. M. Cejudo-López, F. Dominguez-Muñozand A. Carrillo-Andres, “A comparison of solar absorption system configurations”, vol. 86, no. 1, Jan. 2012, doi: 10.1016/J.SOLENER.2011.09.027.
- [9] M. Kegel, J. Tamasauskasand R. Sunye, “Solar Thermal Trigenation System in a Canadian Climate Multi-unit Residential Building”, vol. 48, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2014.02.101.
- [10] C. Ghenai, A. Merabet, T. Salamehand E. C. Pigem, “Grid-tied and stand-alone hybrid solar power system for desalination plant”, vol. 435, Oct. 2017, doi: 10.1016/J.DESAL.2017.10.044.
- [11] A. M. Ali, “Process optimization and economic evaluation of air gasification of Saudi Arabian date palm fronds for H<sub>2</sub>-rich syngas using response surface methodology”, vol. 316, May 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2022.123359.
- [12] H. Demir, “Optimization of Caper Drying Using Response Surface Methodology and Artificial Neural Networks for Energy Efficiency Characteristics”, vol. 16, no. 4, Feb. 2023, doi: 10.3390/en16041687.
- [13] A. Khaloo, M. Vasheghaniand J. Sedeghi, “Contribution of water-soluble ions in the corrosion of reinforced concrete cooling towers using the response surface method”, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.cscem.2024.e02966.
- [14] J. Huang, “Multi-objective optimization of a double helical coil heat exchanger using response surface method and genetic algorithm”, May 2024, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2024.108927.
- [15] Samami, H., Naghibi Irvani, S., Arash Sohrabi, S., Gheitarani, N., & Dehghan, S. (2024). Evaluation and Optimization of Building Greening Methods in Four Different Climates Using Building Information Modeling (BIM). *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 13(1), pp-27.
- [16] W. Zuo, D. Li, Q. Li, Q. Cheng, K. Zhouand J. E, “Multi-objective optimization of multi-channel cold plate under

