

# بهینه سازی یک سیستم چند منبعی مبتنی بر روش شبیه سازی گذرا و روش شناسی سطح پاسخ با محوریت انرژی های تجدید پذیر

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

<sup>۱</sup>گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

<sup>۲</sup>گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

<sup>۳</sup>گروه ریاضی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

<sup>۴</sup>گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

\*ایمیل نویسنده مسئول: sheibat@yahoo.com

## چکیده

هدف این مطالعه بهینه سازی یک سیستم چند منبعی با محوریت انرژی های تجدید پذیر با روش شبیه سازی گذرا و روش شناسی سطح پاسخ می باشد، در ابتدا دو عامل مستقل یعنی پنل های فتوولتائیک و دستگاه cchp بعنوان متغیر های طراحی و در ادامه ۷ تابع هدف شامل: مصرف کل برق، مصرف کل گاز، کل مصرف سوخت cchp، هزینه نگهداری و تعمیرات، هزینه توقفات خطوط تولیدی، میزان کاهش آلاینده های زیست محیطی و همچنین، بازگشت سرمایه بعنوان پاسخ اقتصادی برای بهینه سازی توسط روش شبیه سازی گذری و روش طراحی آزمایش (سطح پاسخ) مورد بررسی قرار می گیرد، نتایج نشان می دهد بهینه سازی به روش طراحی آزمایش در نقطه بهینه در مساحت پنل فتوولتائیک ۵/۱۶۱۴۳ مترمربع و در توان cchp ۲۹/۲۳۲۸ کیلووات رخ میدهد که بازگشت سرمایه آن ۲/۲۹ سال است همچنین اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی تابع مطلوبیت به حالت بهینه و مقدار ۰/۷۲۹ رسیده است، مفهوم این مقدار یعنی ترکیب متغیرهای انتخاب شده در بهینه سازی در بهترین حالت سیستم بهینه به مقدار تابع مطلوبیت ۰/۷۲۹ می رسد که عددی بسیار نزدیک بیشترین مقدار ممکن یعنی حالت ایده آل تابع مطلوبیت ۱ می باشد، در ضمن پیشنهاد می شود در مطالعات آینده از منابع انرژی دیگر نظیر باد و زمین گرمایی و همچنین با روش های الگوریتم های هوش مصنوعی بررسی گردد.

واژگان کلیدی: انرژی های تجدید پذیر، بهینه سازی، سیستم های گذری، بهینه سازی چند پاسخی، طراحی آزمایش

## Introduction:

According to Article 8 of the approvals of the Supreme Energy Council of the country, all executive bodies subject to Article (5) of the Civil Service Law are required to provide five percent (5%) of their annual electricity needs through the construction of renewable power plants, and this amount at the end of the fourth year reach at least twenty percent (20%), at the same time, due to the restrictions on electricity consumption in the hot season of the year and power cuts in industries, the use of energy production equipment has become very important, and organizations are required to use of these equipments, in this research, optimization of the combined system consisting of solar photovoltaic panels and diesel generator as two independent decision variables and 7 responses or optimization objective function including system electricity consumption, system gas consumption, diesel fuel consumption, The reduction of environmental pollutants, the cost of maintenance and repairs, the cost of stopping production lines and also the return on investment are investigated as dependent variables of the research, an optimization method is used to achieve the best possible design in Transis software, in addition to finding To best combine the selected factors in the system, the response level method is used, the main purpose of the response level is to estimate and predict the effect of independent variables on the dependent variable. The results show that the effect of the change in the area of solar panels to produce electricity and the power of the diesel generator on the utility function has been selected to the optimal state, its value is 0.740, and it means that the combination of variables planned in the optimization section in The best optimal state has been reached, whose number is close to the highest possible value in the ideal state with a value of 1. Also, strategy 1, which includes the direct purchase of the total electricity demand from the grid and the direct sale of the total electricity produced by the system, is economically It seems more economical.

## Methodology:

The precise design of parallel systems including solar panels and distributed generation devices is very important so that all parameters are in their optimal state. Therefore, in this research, an optimization method is used to achieve the best possible design in Transis software. In this research, the experiment design method is used with the help of the response surface method, the response surface method is a statistical method that is used to investigate the interactions between independent variables in the processes and optimize them. The main purpose of the response level method is to estimate and predict the effect of independent variables on the dependent variable. For this purpose, mathematical models are used that describe the relationship between independent and dependent variables. In general, the system is first implemented in the Transis software, then the output obtained in the Design Expert software is performed using the response level design method. and again these outputs are entered into Transis software and model optimization is done.

According to the selected factors, the test design method (response level) designs and proposes a set of tests or simulations, which in the conducted research, 13 tests are performed, and these responses are a quadratic equation for pre The analysis of the relationship between the energy-economic responses will be chosen and will form the independent optimization factors that are used from equation 1:

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

y is the considered energy-economic response, z is the selected factor (factor) to optimize, i and j are the counters of the number of independent factors and N\_f is the number of factors. Also,  $\beta$ 's are unknown coefficients that will be obtained by regression analysis.

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

de\_i is the desirability of answer i and N\_r is the number of answers. It is necessary to explain that the purpose of multi-objective optimization is to maximize the combined utility.

The power consumption of power generation equipment, including pumps, compressed air compressors, production presses, welding equipment, determines the annual power consumption of the system. This is obtained through equation 3.

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

$N_t$  is the number of time steps in the numerical solution for the entire duration of the simulation. PC is energy consumption in kJ h<sup>-1</sup>, f is a coefficient that indicates the on or off status of each component. When the consumer device is on, f is equal to one and when it is off, f is equal to zero.

Considering that an auxiliary boiler with natural gas fuel has been used to support the solar system and to recover the desiccant wheel, in order to increase the temperature of the working fluid to a certain temperature ( $T_{set}$ ), the annual consumption of natural gas (ANGC) is obtained from equation 4 comes:

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

$\eta_{boiler}$  is the efficiency of the boiler and LHV is the lower calorific value of the consumed natural gas.

### Findings :

The response level method is used to obtain the best combination of the selected factors, the values predicted by the response level test design method for the factors in order to achieve the optimal system. The highest value of the utility function or CD is equal to 0.725. This result shows that by using the optimal combination of the mentioned factors, the system reaches an optimal state (optimal system) and the value of the utility function approaches 0.725.

By increasing the power of the diesel generator from 0 to 3000 kilowatts, the amount of total electricity consumption will decrease from about 7000000 kilowatt hours per year to about 2500000 kilowatt hours per year. In order to optimize the system, the test design method (response level) has been used. The most optimal point is in the area of solar panels equal to 16143.5 square meters and in cchp power equal to 2328.29 kilowatts. At this optimal point, the total electricity consumption is equal to -1327920 kWh per year.

Increasing the power of cchp from 0 to 1600 kW leads to a sharp reduction in gas consumption, in this model gas consumption is reduced by 77.4%, which is equivalent to 1310000 cubic meters per year and will reach about 300000 cubic meters per year.

Changes in gas consumption and cchp fuel consumption have opposite trends. In fact, it is not possible to reduce gas consumption and fuel consumption in CCHP at the same time, and their trends are opposite to each other.

The payback period is less effective with the increase in the area of solar panels. On the other hand, increasing the power of cchp up to about 2000 kW will lead to a sharp decrease in the payback period. Also, increasing the power of cchp to more than 2000 to 3000 kW will lead to The return on investment period will increase.

Due to the use of solar panels and cchp, the operation of energy production equipment is reduced and this will lead to a reduction in the time used in maintenance and repairs, as well as a reduction in the purchase of spare parts.

Due to power cuts in industries during peak times and the problems of lack of support for production lines due to the stoppage of production lines, with the implementation of the plan to use solar panels and cchp, production line stops will be zero.

### Discussion and Conclusion:

According to the simulation results of the multi-source system using the test design method (response surface), it showed that the solar panels and cchp in the optimal state are equal to 16143 square meters and 2328 kW, while the best performance is in optimal conditions. The optimal system has a total electricity consumption of 13,227,920 kilowatts, a total gas consumption of 559,488 cubic meters, a total diesel fuel consumption of 2,228,300 liters, an amount of environmental pollutants of 4,842

kilograms, and an investment return period of 2.29 years, maintenance and repair costs of \$1,813, and production line shutdown costs. It is 4891880 dollars.

From the analysis of the results, it can be concluded that the optimal combined system with cchp and solar panels is able to provide the total electricity required by the complex not only during peak hours (when the demand for electricity is high) but also during off-peak hours (when the demand for electricity is lower). is) is This system shows the ability to generate excess electricity at certain times that can be sold to the public power grid

مقاله در حال انتشار

# Optimization of a multi-source system based on transient simulation method and response surface methodology focusing on renewable energies

Abbas Motallebi<sup>1</sup>, Seyyed Ahmad Shayannia<sup>2\*</sup>, Mahdi Amir Miyandaragh<sup>3</sup> Ebrahim Niknaghsh<sup>4</sup>

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

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

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

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

\* Email of the responsible author : sheibat@yahoo.com

## Abstract:

The aim of this study is to optimize a multi-source system centered on renewable energies with transient simulation method and response surface methodology, at first two independent factors namely photovoltaic panels and cchp device as design variables and then 7 objective functions including: total electricity consumption, total gas consumption, total cchp fuel consumption, maintenance and repair costs, cost of production line shutdowns, reduction of environmental pollutants and also, return on investment as an economic response for optimization by transient simulation method and design method The test (response level) is examined, the results show that the optimization by the test design method occurs at the optimal point in the photovoltaic panel area of 16143/5 square meters and in the cchp power of 2328/29 kilowatts, the return on investment is 2/29 years. The area of solar panels and cchp power has reached the optimal state and the value of 0/729 on the Matelvoit function, the meaning of this value is that the combination of variables selected in the optimization in the best state of the optimal system reaches the value of the utility function of 0/729, which is a number very close to the maximum possible value, i.e. The ideal state is the utility function of 1. Meanwhile, it is suggested to investigate other energy sources such as wind and geothermal in future studies, as well as with the methods of artificial intelligence algorithms.

**Keywords:** Renewable energies, optimization, transient systems, multi-response optimization, experimental design

با توجه به ماده ۵ قانون مدیریت خدمات کشوری، صنایع با قدرت مصرف بیشتر از یک مگاوات موظفند معادل پنج درصد (۵٪) از برق مورد نیاز سالانه خود را از طریق احداث نیروگاههای تجدیدپذیر تأمین نمایند و این میزان در پایان سال پنجم حداقل به بیست درصد (۲۰٪) برسد، در ضمن با توجه به محدودیت های مصرف برق در فصل گرم سال، قطع برق صنایع و همچنین افزایش تعرفه های برق، استفاده از تجهیزات تولید انرژی تجدید پذیر و یا خودتامین از اهمیت بالایی برخوردار شده و سازمان ها جهت جلوگیری از توقفات خطوط تولیدی ملزم به استفاده از این تجهیزات شده اند و در صورت عدم اقدام سازمان دچار بحران خواهد شد، از این رو در تحقیق انجام شده که مربوط به یک شرکت تولیدی بدنه خودرو می باشد به تحلیل و بهینه سازی استفاده از تجهیزات تولید انرژی با محوریت انرژی های تجدید پذیر پرداخته شده است، در سالهای اخیر روند رو به رشد مصرف انرژی، موجب بحران انرژی در جهان گردیده است. مصرف روز افزون انرژی حاصل از سوختهای فسیلی اگر چه رشد سریع اقتصادی جوامع مختلف را به همراه داشته است، اما بواسطه انتشار آلاینده های حاصل از احتراق سوختهای فسیلی و افزایش دی اکسید کربن در اتمسفر و پیامد های ناشی از آن، جهان را با تغییرات تهدیدآمیزی روبرو کرده است، از سوی دیگر محدودیت منابع فسیلی و تجدید ناپذیر بودن این منابع موجب گردیده است تا سیاستگذاران و برنامه ریزان بخش انرژی با انجام مطالعات ساختاری، جایگزینی حامل های انرژی، حرکت به سوی سوختهای پاک را در رئوس برنامه های خود قرار دهند (فرناز امین صالحی و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۳۸۸)، صرف منابع تجدید ناپذیر مثل نفت، گاز و زغال سنگ به شدت در حال بالا رفتن است اما بالاخره زمانی می رسد که باید به دنبال منبع انرژی تجدیدپذیر مثل انرژی خورشیدی، بادی و یا زمین گرمایی برویم. مهم ترین فایده انرژی خورشیدی این است که هیچ آلودگی ای تولید نمی کند و یکی از تمیزترین منابع انرژی است. انرژی خورشیدی، منبع تجدید پذیر انرژی است، نیاز به نگهداری کمی دارد و استفاده از آن هم آسان است. در تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته، روش های مختلفی وجود دارد. معمول ترین و پرکاربردترین آن، تولید جریان الکتریسیته از انرژی خورشید به وسیله سلول های فتوولتائیک می باشد. به پدیده های که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم های محرک، الکتریسیته تولید کند پدیده فتوولتائیک<sup>۲</sup> و به هر سیستمی که از این پدیده استفاده کند سیستم فتوولتائیک گویند. در مطالعه ای چهار مدل نصب سیستم فتوولتائیک-حرارتی<sup>۳</sup> و سایر دستگاه های ساخته شده در برنامه شبیه سازی سیستم های گذرا با استفاده از نرم افزار ترنسیس<sup>۴</sup> تجزیه و تحلیل می شود. تازگی این مطالعه در رویکرد بلند مدت به بهره برداری از پانل های خورشیدی در شرایط اقلیمی انتخاب شده نهفته است، نتایج نشان داد که نوع سلول مورد استفاده ممکن است تولید انرژی الکتریکی سالانه از پنل های فتوولتائیک را حتی تا ۷ درصد کاهش دهد. از سوی دیگر در جنبه بلند مدت تشدید فرآیند دریافت گرما از سیستم فتوولتائیک-حرارتی با استفاده از پمپ حرارتی باعث افزایش ۶ درصدی این تولید نسبت به مدل پایه شد(هراندو و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۲۱). در مطالعه ای که در کشور نیجریه انجام شده است بررسی شده است که انرژی یکی از مولفه های ضروری برای رشد اجتماعی و اقتصادی جوامع شهری و روستایی در سراسر جهان است. با این حال، کمبود تامین انرژی یکی از مهم ترین چالش های پیش روی جوامع دورافتاده یا محلی می باشد. سیستم های تولید پراکنده مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر، منابع متعارف یا منابع ترکیبی راه حل های ممکن تولید انرژی برای این جوامع هستند. بنابراین، این مقاله بر ارائه یک سیستم تولید انرژی مبتنی بر فتوولتائیک و ژنراتورهای دیزلی برای کاربردهای مستقل متمرکز شده است. نتایج شبیه سازی نشان داد که ۶۰ کیلووات

<sup>۱</sup> AMINSALEHI

<sup>۲</sup> Photovoltaics

<sup>۳</sup> Photovoltaic-thermal system

<sup>۴</sup> TRNSYS

<sup>۵</sup> Herrando

پنل خورشیدی، به ترتیب ۸۴۹۲۷ و ۷۵۸۵۹ کیلووات ساعت، بدون و با اثر دما، با بار الکتریکی برآورده نشده مربوطه ۱۳/۸ و ۱۴/۲ درصد تولید می کند. نتیجه همچنین نشان داد که ترکیب دیزل ژنراتور و پنل های خورشیدی طراحی بهینه با بالاترین نفوذ انرژی تجدیدپذیر ۸۰/۷٪ و کمترین مصرف سوخت سالانه کل ۶۵۹۴ لیتر است. نتایج اقتصادی بیشتر مناسب بودن سیستم ترکیبی را با کمترین هزینه سوخت و هزینه متوسط انرژی به ترتیب ۲۱۹۹۳۴ دلار و ۰.۳۰۲ دلار در کیلووات ساعت تأیید می کند و کمترین انتشار آلاینده ها سالانه ۱۶۶۲۹/۶۵۲ کیلوگرم را دارد. همچنین در بررسی دیگری که در سه موضوع، حداکثر استخراج گرما، حداقل امپدانس مخزن و حداقل هزینه ساخت می باشد، با روش سطح پاسخ از سه جنبه مورد تحلیل قرار گرفته است: اول، یک مدل شبیه سازی عددی برای استخراج حرارت با استفاده از گسل های نفوذپذیری بالا، دوم، یک مدل جایگزین برای پاسخ سریع بهینه سازی سه هدفه پیشنهاد می شود تا حد زیادی بار محاسباتی عظیم در بهینه سازی مستقیم را کاهش دهد. سوم، یک گروه معقول از اجرای شبیه سازی با روش بهینه طراحی شده و مدل جایگزین، نتایج نشان می دهد که طراحی آزمایش و روش سطح پاسخ عملاً می تواند جایگزین شبیه سازی های عددی پیچیده در یک مدل جایگزین شود، بنابراین بار محاسباتی در بهینه سازی چند هدفه برای یک سیستم زمین گرمایی خطا را تا حد زیادی کاهش می دهد (ژیوی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۴). در مطالعه ای 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 میلی متر و طول کل ۱۰۰۰ میلی متر استفاده شده است. یک مدل ترنسیس از یک کلکتور صفحه تخت ادغام شده با یک لوله جاذب با استفاده از داده های تجربی توسعه، شبیه سازی و اعتبارسنجی شد. نتایج نشان داد که دمای خروجی کلکتور خورشیدی از ۵۲ تا ۶۱ درجه سانتیگراد با میانگین ۵۸ درجه سانتیگراد متغیر است. راندمان کلکتور خورشیدی پیشنهادی بین ۴۵ تا ۶۷ درصد با میانگین ۵۸ درصد متغیر است. به طور کلی، نتایج شبیه سازی مدل ترنسیس با داده های تجربی مطابقت بسیار خوبی دارد. میانگین اختلاف بین آزمایش ها و شبیه سازی ها برای اختلاف دما و راندمان کلکتور تقریباً ۰.۱٪ است (المانیا و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۲). در پژوهش دیگر انجام شده یک سیستم انرژی هوشمند نوآورانه مبتنی بر انرژی های هیبریدی خورشیدی زمین گرمایی در این کار پیشنهاد شده است و ارزیابی عملکرد گذرا و تجزیه و تحلیل فنی اقتصادی برای ارزیابی عملکرد دینامیکی آن با استفاده از نرم افزار ترنسیس ارائه می شود. سیستم پیشنهادی برای تامین نیازهای برق، گرمایش و سرمایش برای یک جامعه شهری کوچک به عنوان مطالعه موردی توسعه یافته است. نتایج نشان می دهد که این سیستم نه تنها تقاضای الکتریکی سالانه مورد بررسی را تامین می کند، بلکه مقدار قابل توجهی توان مازاد تولید می کند که می تواند برای جبران برخی هزینه های سیستم به شبکه برق فروخته شود. بیشترین و کمترین راندمان اکسرژی برای سیستم پیشنهادی به ترتیب در ماه های جولای و دسامبر با مقادیر ۵۵/۹٪ و ۲۲/۸٪ بدست آمد. همچنین بیشترین و کمترین مقدار هزینه محصول واحد سیستم برای ژانویه و جولای به ترتیب ۸/۳۸ و ۳۲/۷۷ کیلوژول به دست آمده است (یان کاو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۲). در پژوهش دیگری که در خصوص مصرف انرژی بررسی شده است نشان می دهد مصرف انرژی نقش مهمی در رشد و توسعه اقتصادی کشورها دارد، از طرفی افزایش رشد اقتصادی مستلزم انرژی بیشتر به عنوان نیروی محرکه تولید کالاها و خدمات است. ارتباط مصرف انرژی و رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج نشان می دهد مصرف انرژی تأثیر مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی دارد. بنابراین، اجرای سیاستهایی برای بهبود بهره وری انرژی، رشد اقتصادی را در اقتصادهای در حال توسعه افزایش میدهد (نادمی و همکاران<sup>۴</sup>، ۱۴۰۲). در مطالعه دیگری که در این زمینه و در کشور ایران انجام شده است نشان

<sup>۱</sup> Zhiwei

<sup>۲</sup> AlManea

<sup>۳</sup> Yan Cao

<sup>۴</sup> NADEMI

می دهد منطقه سیستان، با برخورداری از پتانسیلهایی در حوزه منابع تجدیدپذیر، فرصتهایی برای توسعه پایدار دارد، اهمیت و ضرورت سیاستگذاری مناسب در حوزه مدیریت منابع تجدیدپذیر منطقه سیستان، بررسی و تبیین شده است، نتایج نشان می دهد از جمله اثرات توسعه انرژی خورشیدی و بادی در این مناطق در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی می توان به بهبود دسترسی به امکانات ارتباطی، کاهش فقر، بهبود سلامتی ساکنان مناطق، افزایش رفاه انسانی، افزایش اشتغال و امنیت انرژی، برابری های جنسیتی، دسترسی به آب آشامیدنی سالم، توسعه دسترسی به شبکه برق سراسری و کاهش مهاجرت اشاره کرد. در بعد اقتصادی، کاهش هزینه های تولید برق، افزایش رشد اقتصادی و رونق بازار، کاهش هزینه های سرمایه گذاری توسعه این منبع انرژی تجدیدپذیر و افزایش جذب سرمایه گذاران خارجی، تحقق خواهد یافت (یعقوبی و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۴۰۲). در پژوهشی دیگری که در این زمینه انجام شده است، بررسی یک سیستم انرژی تجدیدپذیر ترکیبی<sup>۲</sup> و ادغام آن در ساختمان ها برای ایجاد ساختمان هایی با انرژی صفر انجام دادند، کاربرد انرژی تجدید پذیر ترکیبی در چهار مطالعه موردی مختلف تهران، یزد، تبریز و بندرعباس مورد توجه قرار گرفته است. سیستم انرژی در نرم افزار ترنسیس شبیه سازی شده است که یک نرم افزار قدرتمند شبیه سازی گذرا است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که بین ۳۵ تا ۴۹ درصد برق مورد نیاز ساختمان های هر شهر را می توان از طریق پنل های خورشیدی و توربین های بادی تولید کرد و بین ۷۰ تا ۸۸ درصد با ترکیب منابع تجدیدپذیر و هیدروژن قابل احتساب است. (ایزدی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۲). در مطالعه ای دیگر، یک شبکه انرژی در مقیاس جامعه با استفاده از نرم افزار ترنسیس (نرم افزار شبیه سازی سیستم گذرا) مدل سازی و شبیه سازی می شود تا تأثیرات سیستم های تولید همزمان انتخاب شده بر پارامترهای بحرانی را بررسی کند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که با تحلیل عوامل کلیدی، مدل تولید همزمان می تواند از نظر فنی و اقتصادی در محیط ایزوله امکان پذیر باشد. این مدل به طور موثر از نسبت گرما به توان اجزای جداگانه پیروی می کند و با عرضه برق اضافی کمتر، تقاضای انرژی را برآورده می کند. این مدل نسبت سهم انرژی تجدیدپذیر بالای ۲۳/۵ درصد را توصیف می کند و راندمان کلی بالایی را ارائه می دهد که حدود ۱۲/۶ درصد بیشتر از سیستم تولید گرما و برق جداگانه است که منجر به سطح انتشار کم می شود که ۳۴/۲ درصد کمتر از سیستم جداگانه تولید می شود (سینگ چی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۳). یکی از منابع بسیار کارآمد انرژی های تجدیدپذیر مبدل های حرارتی منبع زمینی است. همچنین، اثرات فاصله بین گمانه ها، ویژگی های خاک، ضریب هدایت حرارتی دوغاب و آرایش گمانه ها بر دمای سیال خروجی در مبدل های حرارتی منبع زمینی بررسی شده است. برای شبیه سازی چرخه های گرمایش و سرمایش یک ساختمان، مدل فعلی با پمپ حرارتی آب به هوا در نرم افزار ترنسیس بررسی شده است. نتایج مدل حاضر نشان می دهد که برای مجموعه ای متشکل از ۶ گمانه در آرایش مستطیلی، کاهش فاصله گمانه ها از ۷ متر به ۳ متر منجر به تغییرات ۲/۸ درصدی در دمای متوسط سیال خروجی می شود. همچنین بررسی ویژگی های خاک و دوغاب نشان می دهد که خواص خاک بر دمای سیال خروجی تأثیر غالب دارد. (علایی و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۲۱). در مطالعه ای دیگر، یک شبیه سازی توسط نرم افزار ترنسیس را برای ارزیابی عملکرد سیستم گرمایش آب خورشیدی مورد استفاده برای گلخانه ها با توجه به آب و هوای کشور تونس ارائه می کنند. در طول شبیه سازی، تمامی ترکیب های ممکن از دو کلکتور خورشیدی (سری و موازی) بررسی می شوند. پارامترهایی که بر سیستم ذخیره سازی تأثیر می گذارند، مانند نرخ جریان ورودی، حجم مخزن و سطح کلکتور نیز بررسی می شوند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که با افزایش حجم مخزن، دمای خروجی کلکتور کاهش می یابد. علاوه بر این، دبی بالا پدیده طبقه بندی را به حداقل می رساند و کارایی

<sup>۱</sup> YAGHOBI

<sup>۲</sup> Hybrid renewable system

<sup>۳</sup> Izadi

<sup>۴</sup> Sig Chai

<sup>۵</sup>Alaie



سیستم را افزایش می دهد. متوجه شدیم که کاهش دبی ورودی مبدل راه حل خوبی برای کاهش تلفات گرمایی است که می تواند دمای هوای داخل گلخانه را تا ۵ درجه سانتی گراد افزایش دهد و آن را برای کشاورزی گوچه فرنگی مناسب کند (آتار و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳). در تحقیق دیگر انجام شده در این زمینه اصلاح بخار متانول مبتنی بر رادارهای حرکت و نقشه برداری<sup>۲</sup> برای تولید هیدروژن یک فرآیند ترموشیمیایی محوری برای افزایش استفاده از انرژی سبز با انتشار کم کربن مورد بررسی قرار دادند، این مطالعه اولین بررسی جامع و بهینه سازی چندهدفه فرآیند رادارهای حرکت و نقشه برداری در یک راکتور پر از کاتالیزور خورشیدی را نشان می دهد. پیش بینی های روش سطح پاسخ پاسخ سطح شرایط بهینه را با ۱/۱۳ متر، سرعت فضای ساعتی گاز ۴۵/۲۴ و دمای ورودی ۵۰۷/۴ درجه کلین نشان می دهد. محاسبات عددی عملی بودن این شرایط را تأیید می کنند و تبدیل متانول واقعی ۰/۹۹۹۸ را به دست می دهند. تنها ۰/۱۷٪ از مقدار پیش بینی شده انحراف دارد. این کار بر امکان سنجی و کارایی مطالعه عملکرد بر اساس روش سطح پاسخ تأکید می کند (ژاوو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۴). در مطالعه ارائه شده با استفاده از مدل سازی ترمودینامیکی و اقتصادی و ابزارهای بهینه سازی چند هدفه، سیستم های چند نسلی نیرو، سرمایه، گرمایش و هیدروژن را در مناطق ساحلی مورد بررسی قرار داد. با استفاده از روش پاسخ سطح<sup>۴</sup>، بهینه سازی چندهدفه برای شناسایی منطقه ایده آل سیستم فتوولتائیک، راندمان توربین، نقطه پیچش اوپراتور، بازده پمپ و دمای ورودی توربین انجام شد. نرخ هزینه ایده آل و راندمان انرژی به ترتیب ۱/۲۹۹ دلار و ۱۹/۱۰۰٪ بود. امکان سنجی ماژول پیشنهادی در مناطق ساحلی سانفرانسیسکو (آمریکا)، دبی (آسیا)، بارسلونا (اروپا) و ملبورن (اقیانوسیه) مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت، اثربخشی سیستم در تامین نیازهای برق، سرمایه و گرمایش یک ساختمان دو طبقه دو واحدی در طول سال مورد ارزیابی قرار گرفت (عصاره و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۲۳). در کاربرد نانوسیال در سیستم های حرارتی فتوولتائیک به طور گسترده به عنوان یک راه حل موثر برای بهبود عملکرد خروجی شناخته اند. تازگی این مطالعه در بررسی شرایط عملیاتی بهینه هر خروجی سیستم فتوولتائیک با استفاده از بهینه سازی تک هدفه و بهینه سازی عملکرد کلی با استفاده از مطالعه چند هدفه است. یک آزمون تجربی برای اعتبار سنجی خروجی های مدل عددی انجام شد. پس از اعتبار سنجی مدل عددی، مدل ترنسپس برای غلظت حجمی ۰/۱۰٪ - ۰/۵۰٪ و جریان جرمی ۶۰-۱۲۰ کیلوگرم در ساعت بررسی شد. سپس داده های خروجی برای بهینه سازی عملکرد به نرم افزار دیزاین اکسپرت وارد شدند. طرح مرکب مرکزی به عنوان مناسب ترین گزینه طراحی فاکتوریل کسری در روش سطح پاسخ انتخاب شد (ماداس و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۲۳). در مطالعه ای دیگر کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در عین حفظ عملکرد بهبود یافته در موتور دیزل بررسی شد. سپس مخلوط آن با سوخت دیزل معمولی به طور جامع مورد بررسی قرار گرفت. هر دو روش سطح پاسخ و تکنیک های مدل سازی چندهدفه فازی برای پیش بینی عملکرد موتور و آلاینده های خروجی موتور دیزلی که با مخلوط های بیودیزل خوراک سوخت می شوند، استفاده شد. برای طراحی آزمایشی از روش سطح پاسخ مرکب مرکزی استفاده شد. نتایج بهینه سازی چند هدفه نشان می دهد که نسبت ترکیب ۲۴/۴۲ درصد، بار موتور ۶۴/۱ درصد و سرعت موتور ۲۶۱۶/۶ دور در دقیقه شرایط عملیاتی بهینه برای عملکرد و غلظت های مختلف انتشار بودند. این نتایج به صورت تجربی تایید شد و خطای نسبی در محدوده ۶/۶۷±٪ بود (شافای و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۲۳). در این مطالعه با هدف بهینه سازی پارامترهای فرآیند در آسیاب Ti-۶Al-۴V آلیاژ با پنج معیار اصلی یعنی میانگین نیروی برش، تنش برشی، انرژی ویژه برش، مصرف توان و متوسط زبری سطح انجام

<sup>۱</sup> Attar

<sup>۲</sup> Movement and mapping radars

<sup>۳</sup> Zhao

<sup>۴</sup> Response Surface Methodology

<sup>۵</sup> Assareh

<sup>۶</sup> Madas

<sup>۷</sup> Shafay

شده است. در مجموع ۲۶ آزمایش تجربی با تغییر پارامترهای فرآیند مانند سرعت برش متر بر دقیقه، نرخ تغذیه میلیمتر بر دقیقه و عمق برش میلی متر بر اساس طرح پاسخ سطح انجام شد. ماتریس روش سطح پاسخ تحت آزمایش خشک و فشار بالا. اهمیت معیار از طریق روش همبستگی بین معیاری برای تعیین وزن نسبی هر پاسخ استفاده شد. پس از ارزیابی، سرعت برش ۳۲ متر در دقیقه، سرعت تغذیه ۲۲ میلی متر در دقیقه و عمق برش ۰/۷۵ میلی متر به عنوان پارامترهای فرآیند بهینه انتخاب شدند (سولتانا و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۳). در این تحقیق مصرف انرژی در گلخانه ها و ساختمان های مسکونی مورد توجه فزاینده ای قرار داده شده است. با توجه به افزایش تقاضا برای استفاده کارآمد از انرژی و استانداردهای آسایش بالاتر، سهم ما به کاربرد گرمایش گلخانه با استفاده از منابع فراوان و جهانی تر و به راحتی قابل دسترسی خواهد بود. بنابراین، منابع مورد استفاده آب یا هوا هستند. هدف از این کار مدل سازی و شبیه سازی یک پمپ حرارتی بر روی ترنسیس است که به مطالعه پدیده های ترمودینامیکی اختصاص دارد. در اینجا با استفاده از تکنیک تهویه مطبوع و همچنین نتایج عددی شبیه سازی پمپ حرارتی مانند ضریب عملکرد، توان مصرفی و توان تحویلی با استفاده از منبع زمین گرمایی، توصیف ریاضی پمپ حرارتی بر روی مدل ترنسیس ارائه می شود (چارگویی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲). در تحقیق انجام شده سیستم خنک کننده جذبی با انرژی خورشیدی برای یک خانه در کشور امارات شبیه سازی و بهینه سازی نمودند، نرم افزار ترنسیس برای شبیه سازی خانه در شرایط واقعی در بدترین سناریوهای هفته استفاده شد. ضریب عملکرد سیستم پیشنهادی ۰/۷۳۹ به دست آمد. نتایج بهینه سازی نشان داد که عرض جغرافیایی امارات متحده عربی زاویه شیب بهینه برای لوله تخلیه شده است، در حالی که ۴۰ متر مربع و ۱ متر مکعب برای مساحت لوله تخلیه و حجم مخزن ذخیره آب گرم در کسری ۰/۷۳ خورشیدی بهینه هستند. علاوه بر این، نتایج تحلیل چرخه عمر نشان می دهد که سیستم خنک کننده جذبی با انرژی خورشیدی ۴۳/۲ درصد هزینه دارد، انرژی ۸/۵ درصد را مصرف می کند و ردپای کربن ۸/۷ درصد از هزینه، مصرف انرژی و تولید ردپای کربن را تولید می کند (سالامه و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۲). در پژوهش دیگر عملکرد یک سیستم فتوولتائیک را برای تقاضای گرمای یک ساختمان دو منطقه ای و تک خانواده کم انرژی در طول سال تجزیه و تحلیل می کنند. برای این منظور، یک مدل ساختمان در ترنسیس با استفاده از مدل ساختمان چند منطقه ای و ترنسیس در دو نوع گرمایش (داخلی - به عنوان مرجع و خارجی) ساخته شد. نتایج نشان می دهد که مقدار انرژی مورد نیاز در طول سال برای حفظ شرایط آسایش حرارتی (دمای اتاق ۲۰ درجه سانتیگراد) سیستم گرمایش داخلی در مدل ساختمان چند منطقه ای ۴۰ درصد کاهش مصرف برق را در بر داشت، به عنوان یک ساختمان مرجع، گرمایش به عنوان یک سیستم پنل خورشیدی با مخزن ذخیره و مبدل های حرارتی ۲۵۰ لیتر در روز بصورت میانگین در طول سال آبگرم تولید می کند (زابنیسکاگورا و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۲۲).

هدف از انجام تحقیق انجام شده بهینه سازی یک سیستم تولید انرژی با محوریت استفاده از انرژی های تجدید پذیر از روش شبیه سازی گذری و طراحی آزمایش به کمک روش سطح پاسخ می باشد. در ابتدا دو عامل مستقل، مساحت پنل های خورشیدی و توان <sup>۵</sup>echp استفاده شده به عنوان اصلی ترین متغیرهای طراحی سیستم و در ادامه ۷ پاسخ یا تابع هدف بهینه سازی انتخاب شد پاسخ های در نظر گرفته شده عبارتند از مصرف کل برق، کل مصرف گاز، کل مصرف سوخت دیزل، میزان تولید آلاینده های زیست محیطی، هزینه نگهداری و تعمیرات و هزینه توقفات خطوط تولیدی و همچنین بازگشت سرمایه به عنوان پاسخ اقتصادی برای بهینه سازی انتخاب شد، روش کار به این صورت می باشد که ابتدا سیستم در نرم افزار ترنسیس پیاده سازی می شود، سپس با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت از روش طراحی آزمایش به کمک

<sup>۱</sup> Sultana

<sup>۲</sup> Chargui

<sup>۳</sup> Salameh

<sup>۴</sup> ŻabnieńskaGóra

<sup>۵</sup> Combined Cooling Heat and Power

روش سطح پاسخ مورد آزمایش قرار می گیرد، در این روش با استفاده از یک سری آزمایش به روش سطح پاسخ و آنالیز آن در نرم افزار ترنسیس<sup>۱</sup> بهینه ترین حالت ممکن تجهیزات تولید انرژی مشخص می شود. در مطالعات مشابه موارد بهینه سازی با نرم افزارهای متعدد انجام شده و برخی از توابع مهم مورد نیاز نیز بررسی و بهینه سازی شده است ولیکن تفاوت تحقیق انجام شده بهینه سازی با استفاده از روش طراحی آزمایش به کمک سطح پاسخ و با دقت بالا و در ۱۳ حالت مورد آزمایش قرار می گیرد در ضمن توابع مختلف با جنس های متفاوت با استفاده از فرمول و روابط ریاضی مورد تحلیل و بهینه سازی قرار می گیرد، نکته مهم در تحقیق انجام شده بررسی و تحلیل هزینه های مربوط به توقفات خطوط تولیدی و همچنین هزینه نگهداری و تعمیرات می باشد که در نقطه بهینه مشخص شده و قابل تحلیل می باشد.

## مواد و روشها

طراحی دقیق سیستم های موازی شامل پنل های خورشیدی و دستگاه تولید پراکنده<sup>۲</sup> به گونه ای که همه پارامترها در حالت بهینه خود باشند بسیار مهم است. از این رو در این پژوهش نیز از یک روش بهینه سازی برای دستیابی به بهترین طراحی ممکن در نرم افزار ترنسیس استفاده می شود. در این پژوهش از روش طراحی آزمایش به کمک روش سطح پاسخ استفاده می شود، روش سطح پاسخ یک روش آماری است که استفاده می شود تا تعاملات بین متغیرهای مستقل در فرآیندها را بررسی کند و بهینه سازی آنها را انجام دهد. هدف اصلی روش سطح پاسخ برآورد و پیش بینی تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته است. برای این منظور، از مدل های ریاضی استفاده می شود که رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته را توصیف می کنند، به طور کلی سیستم ابتدا در نرم افزار ترنسیس پیاده سازی می شود، سپس خروجی گرفته شده در نرم افزار دیزاین اکسپرت به روش سطح پاسخ طراحی آزمایش انجام می شود و مجدداً این خروجی ها وارد نرم افزار ترنسیس شده و بهینه سازی مدل انجام می شود.

مراحل اصلی روش سطح پاسخ شامل موارد زیر می شوند:

- ۱- طراحی آزمایش: در این مرحله، طراحی آماری مناسب برای انجام آزمایشات تعیین می شود. هدف این طراحی، بررسی تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته است، متغیر مستقل این پژوهش شامل دو عامل: مساحت پنل های خورشیدی و توان دستگاه cchp و متغیرهای وابسته شامل: مصرف کل برق، مصرف کل گاز، کل مصرف سوخت cchp، هزینه نگهداری و تعمیرات، هزینه توقفات خطوط تولیدی، میزان کاهش آلاینده های زیست محیطی و همچنین، بازگشت سرمایه به عنوان پاسخ اقتصادی و محیط زیستی برای بهینه سازی انتخاب شد.
  - ۲- جمع آوری داده ها: در این مرحله، آزمایشات یا شبیه سازی ها انجام می شوند و داده های متغیرهای مستقل و وابسته جمع آوری می شوند. برای دقت بیشتر، هر آزمایش معمولاً تکرار می شود و میانگین نتایج آن ثبت می شود.
  - ۳- تحلیل داده: این مرحله، تجزیه و تحلیل داده ها انجام می شود تا رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته مشخص شود
  - ۴- تأیید مدل: پس از تخمین مدل ریاضی، برای اطمینان از صحت و دقت آن، آزمایشات تکمیلی انجام می شود
- هدف از انجام تحقیق بهینه سازی و شبیه سازی جهت یک سیستم تولید انرژی بصورت موازی شامل پنل های فتوولتائیک و دستگاه cchp می باشد که با محوریت انرژی های تجدید پذیر از روش شبیه سازی گذری و بهینه سازی سطح پاسخ انجام می شود. دو عامل مستقل، مساحت پنل های خورشیدی نصب شده و توان cchp به عنوان متغیرهای اصلی سیستم انتخاب شده است،

<sup>۱</sup>Transys

<sup>۲</sup> Combined Cooling Heat and Power

همچنین با توجه به لزوم تولید انرژی بدلیل محدودیت های اعلام شده می بایست سیستمی طراحی و اجرا گردد تا علاوه بر استفاده از انرژی های تجدید پذیر بتواند در زمان نبود نور خورشید سیستم را پشتیبانی نماید، دو سیستم تولید انرژی بصورت موازی شامل پنل های فتوولتائیک جهت استفاده از انرژی های تجدید پذیر و دستگاه cchp جهت پشتیبانی در زمان عدم امکان استفاده از پنل ها انتخاب شد، در ضمن هدف این پژوهش بهینه سازی انرژی می باشد از این رو پارامترهای بارز که از جنس انرژی، هزینه، محیط زیست و اقتصادی می باشد شناسایی شدند، این موارد بعنوان هدف پژوهش انتخاب شدند موارد انرژی به ترتیب شامل میزان مصرف کل برق، مصرف کل گاز و کل مصرف سوخت می باشند، این سه تابع هدف که بخش زیادی از هزینه های انرژی را دربر دارد می بایست مینیمم ترین حالت بررسی شوند، موارد هزینه نگهداری و تعمیرات و همچنین هزینه توقفات خطوط تولیدی نیز بعنوان بخش بارز بار مالی انتخاب شدند، انتخاب این دو تابع بدلیل این می باشد که استفاده از پنل های خورشیدی و دستگاه cchp منجر به کاهش توقفات خطوط تولیدی و هزینه نگهداری و تعمیرات می گردد و مقدار این دو مورد در بهینه ترین حالت ممکن بدست خواهد آمد، در ضمن نوع محاسبات در ادامه توضیح داده خواهد شد، در خصوص میزان انتشار آلاینده های زیست محیطی نیز بررسی صورت پذیرفت و هدف از محاسبه آن نیز بدست آوردن میزان انتشار آلاینده های زیست محیطی در بهینه ترین حالت طراحی سیستم می باشد و همچنین مورد آخر بازگشت سرمایه که یکی از توابع هدف انتخاب شده است و علت آن نیز محاسبه بازگشت سرمایه در بهینه ترین حالت ممکن که توسط نرم افزار طراحی می شود.

نحوه طراحی و محاسبات انجام شده توابع هدف:

همانطور که در بخش های قبل توضیح داده شد، ابتدا سیستم در نرم افزار ترنسیس پیاده سازی می شود، پس از آن جهت بخش بهینه سازی نیاز می باشد که فاکتور ها و توابع هدف در نرم افزار دیزاین اکسپرت با روش طراحی آزمایش و روش سطح پاسخ بهینه شوند، برای عامل های انتخاب شده، روش سطح پاسخ تعداد  $N_{exp} = 13$  آزمایش (در اینجا، اجرای شبیه سازی) همراه با طراحی مرکب مرکزی را پیشنهاد داد. لازم به ذکر است که طراحی آزمایش و محاسبات سطح پاسخ با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت<sup>۱</sup> انجام شده است، پس از آن خروجی ها مجدداً در نرم افزار ترنسیس پیاده سازی شده و بهینه ترین حالت ممکن مشخص می شود.

نحوه پیاده سازی هر کدام از توابع هدف که از جنس های متفاوت نیز می باشد بدین صورت می باشد که با ایجاد یک رابطه و فرمول بر اساس فاکتورهای اصلی شامل مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp برای ۱۳ ران محاسبه انجام می شود، به طور مثال در بخش هزینه نگهداری و تعمیرات ابتدا فرمول و رابطه بین هزینه های نگهداری و تعمیرات و دو فاکتور اصلی مشخص می شود و با جاگذاری در فرمول برای هر آزمایش  $N_{exp} = 13$  که مقدار فاکتورها تغییر پیدا می کند عدد آن ران را محاسبه می کند، برای کلیه توابع هدف این مورد انجام می شود.

محل پروژه در شهر تهران و فعالیت شرکت در زمینه تولید بدنه خودرو می باشد، اطلاعات ارائه شده در جدول ۱ و ۲ مربوط به تعداد نفرات شاغل و همچنین اطلاعات مکان های مورد بررسی می باشد، در ضمن اطلاعات ارسال شده از طرف واحدهای مهندسی، منابع انسانی و انرژی شرکت سایپا پرس می باشد. جزییات مصرف برق و گاز ساعتی در پروژه مورد بررسی را گزارش می کنند. این اطلاعات در طراحی سیستم ترکیبی مورد نظر نقش مهمی دارند.

**جدول ۲ – اطلاعات مکان های تولیدی و ستادی**

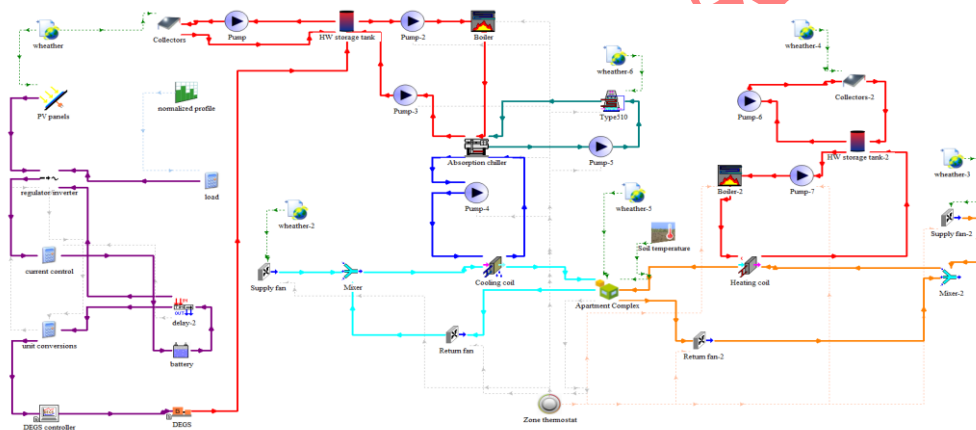
**جدول ۱ – اطلاعات ساعت و تعداد افراد حاضر**

نام ساختمان	کاربری	متراز (متر مربع)	تعداد نفرات شاغل در محل	میزان مصرف برق (kW)
سالن تولید	پرسکاری	۲۲۰۰۰	۴۵۰	۱۴۰۰
سالن همینگ	جوشکاری	۳۹۰۰	۳۵۰	۹۰۰
ساختمان پشتیبانی	ستادی	۱۸۰۰	۱۸۰	۲۵۰
ساختمان منابع انسانی	ستادی	۱۴۰۰	۵۰	۲۳۰
ساختمان it	ستادی	۴۲۰	۴۵	۸۰

ردیف	شیفت	ساعت کارکرد	تعداد نفرات	محل فعالیت
۱	یک	۷ الی ۱۶	۸۰۰ نفر	ستادی
۲	دو	۱۶ الی ۲۴	۳۶۰ نفر	تولیدی
۳	سه	۷ الی ۲۴	۳۶۰ نفر	تولیدی

## پیاده سازی و بررسی سیستم

شبیه سازی سیستم ترکیبی تولید انرژی در نرم افزار ترنسیس مدل شده است، نحوه پیاده سازی و مدل در شکل ۱ که بر گرفته از نرم افزار ترنسیس می باشد، مشخص شده است.



شکل ۱ - سیستم ترکیبی با پنل و کلکتور خورشیدی پیاده سازی شده در نرم افزار TRNSYS

در تحقیق انجام شده از پنل های خورشیدی جهت تولید برق و به موازات آن استفاده از cchp بعنوان پشتیبان سیستم خورشیدی و در صورت تولید برق مازاد انتقال به شبکه برق سراسری استفاده می شود در ضمن از گرمای cchp جهت پیش گرمایش دیگ آبگرم برای استفاده در چیلر جذبی نیز استفاده می شود.

## معادلات حاکم بر بهینه سازی

جهت دستیابی به بهترین عملکرد فنی و اقتصادی سیستم بررسی شده، از روش طراحی آزمایش سطح پاسخ استفاده شده است، تاثیر تغییر فاکتور های تحت تاثیر سیستم چند منبعی بر روی پاسخ های مشخص شده فنی اقتصادی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت، فاکتورها متغیر های مستقل و جدا برای تصمیم گیری دقیق در بخش طراحی سیستم چند منبعی هستند. همچنین پاسخ ها موارد فنی و اقتصادی عملکرد سیستم چند منبعی را تحت تاثیر فاکتور های انتخاب شده جهت بهینه سازی هماهنگ می سازد. طراحی آزمایش (سطح پاسخ) روشی اماری جهت بهینه سازی یک پاسخ خاص، در محلی که پاسخ تحت تاثیر فاکتورهای متعددی باشد، استفاده می شود (گوستاو وهمکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸)

<sup>۱</sup> Gustavo

ران

با توجه به فاکتورهای انتخاب شده، روش طراحی آزمایش (سطح پاسخ) مجموعه ای از آزمایش ها و یا شبیه سازی ها را طراحی و پیشنهاد می کند که در تحقیق انجام شده ۱۳ آزمایش انجام می گردد که این پاسخ ها یک معادله درجه دوم برای پیش بینی رابطه بین پاسخ های انرژی - اقتصادی انتخاب می نماید و فاکتورهای مستقل بهینه سازی را تشکیل خواهد داد که از معادله ۱ استفاده می شود:

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

$y$  پاسخ انرژی-اقتصادی در نظر گرفته شده،  $z$  فاکتور (عامل) انتخابی جهت بهینه کردن،  $i$  و  $j$  شمارنده تعداد فاکتورهای مستقل و  $N_f$  تعداد فاکتورها می باشد. همچنین،  $\beta$  ها ضرایب مجهول استفاده شده هستند که با تحلیل رگرسیون بدست خواهند آمد.

### بهینه سازی چند پاسخی (تابع مطلوبیت)

هدف از پژوهش انجام شده بهینه سازی سیستم چند منبعی با در نظر گرفتن جنبه های انرژی، اقتصادی و محیط زیستی به طور همزمان و موازی می باشد، این بدان معنا می باشد که بیش از یک پاسخ بهینه داشته باشیم. برای این مهم از روشی به اسم تابع مطلوبیت استفاده می شود. در این روش هر پاسخ به یک تابع مطلوبیت خاص خودش تبدیل می شود، تابع مطلوبیت مورد نظر بین مقادیر صفر و یک متغیر می باشد، مفهوم آن یعنی در بدترین حالت ممکن مقدار تابع مطلوبیت صفر می باشد، در صورتی که تابع مطلوبیت یک نشان دهنده شرایط ایده آل می باشد. پس از آن توابع مطلوبیت پاسخ ها با یکدیگر ترکیب می شوند و مطلوبیت ترکیبی (CD) بدست خواهد آمد که مطلوبیت کلی تحقیق بر این اساس،  $CD$  با معادله ۲ محاسبه می شود، یعنی برای بدترین حالت ممکن، مقدار عددی تابع مطلوبیت صفر است، درحالی که تابع مطلوبیت برابر با یک نشان دهنده حالتی با شرایط ایده آل است. بعد از این، توابع مطلوبیت پاسخ ها با یکدیگر ترکیب می شوند و مطلوبیت ترکیبی (CD) بدست می آید که مطلوبیت کلی پژوهش بر این اساس،  $CD$  به شرح معادله ۲ محاسبه می شود (گوستاو و همکاران، ۲۰۱۸).

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

$de_i$  مطلوبیت پاسخ  $i$  ام و  $N_f$  تعداد پاسخ ها می باشد. لازم به توضیح می باشد مقصود از بهینه سازی چند هدفه، به حداکثر رساندن مطلوبیت ترکیبی است.

### مصرف کل برق

برق مصرفی تجهیزات تولید برق شامل انواع پمپ ها، کمپرسورهای هوای فشرده، پرس های تولیدی، انواع تجهیزات جوشکاری، مصرف برق سالانه سیستم را مشخص می کند این مورد از طریق معادله ۳ بدست می آید

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

$N_t$  تعداد مراحل زمانی در حل عددی برای کل مدت زمان شبیه‌سازی است. PC مصرف انرژی بر حسب  $\text{kJ h}^{-1}$  است،  $f$  ضریبی است که وضعیت روشن یا خاموش بودن هر یک از اجزا را نشان می‌دهد. هنگامی که وسیله مصرف کننده روشن باشد  $f$  برابر یک و زمانی که خاموش باشد،  $f$  برابر صفر است.

### کل مصرف گاز طبیعی

با توجه به اینکه یک دیگ کمکی با سوخت گاز طبیعی جهت پشتیبانی از سیستم خورشیدی و به منظور بازیابی چرخ دسیکنت، استفاده شده است، جهت افزایش دمای سیال عامل تا دمای مشخص ( $T_{set}$ )، مصرف سالانه گاز طبیعی (ANGC) از معادله ۴ بدست می‌آید:

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

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

### کل مصرف سوخت cchp

مصرف کل سوخت cchp بر اساس تعداد سیستم های مولد انرژی با سوخت گازوئیل (یعنی  $N_{DEGS}$ ) و منحنی مصرف سوخت (یعنی  $(a + bX)$ ) که از تولید کننده cchp گزارش می‌کند، از معادله ۵ به دست می‌آید:

$$TDC = N_{DEGS} \times (a + bX) \quad (5)$$

### مدل سازی سیستم از جنبه اقتصادی

جهت بررسی عملکرد سیستم چند منبعی از نظر اقتصادی، که در این تحقیق پارامتر مهم اقتصادی با نام دوره بازگشت سرمایه (PBP) استفاده می‌شود.

بازگشت سرمایه از شاخص های مهم مالی می باشد که در تحلیل پروژه ها و سرمایه گذاری ها مورد استفاده قرار می گیرد. شاخص فوق نشان دهنده مدت زمان لازم جهت سرمایه گذاری اولیه سرمایه گذاری به صورت نقدینگی به سرمایه گذاری برگردد. یعنی مدت زمانی که صرف می شود تا جریان نقدی ناخالص پروژه، سرمایه اولیه سرمایه گذاری را تامین کند. بازگشت سرمایه را می توان به صورت زمانی که سرمایه اولیه سرمایه گذاری به تعداد دوره هایی که درآمد ناخالص سالانه پروژه با جریان نقدی ناخالص سالانه برابر می شود، تعریف کرد. به عبارت دیگر، زمانی که مجموع جریان نقدی ناخالص دریافتی برابر یا بزرگتر از سرمایه اولیه سرمایه گذاری شود.

### هزینه نگهداری و تعمیرات

با توجه به استفاده از پنل های خورشیدی و cchp کارکرد تجهیزات تولید انرژی کمتر شده و این مورد منجر به کاهش زمان مورد استفاده در نگهداری و تعمیرات و همچنین کاهش خرید اقلام یدکی خواهد شد، البته هزینه نگهداری و تعمیرات و تامین اقلام مربوط به دو عامل در نظر گرفته شده است، در معادله ۶ هزینه نگهداری و تعمیرات کل مشخص شده است:

$$M_T = m_e - (m_p + m_c) \quad (6)$$

ران

$M_t$  هزینه نگهداری و تعمیرات کل،  $m_e$  هزینه نگهداری و تعمیرات تجهیزات تولید انرژی،  $m_p$  هزینه نگهداری و تعمیرات پنل های فتوولتائیک و  $m_c$  هزینه نگهداری و تعمیرات دستگاه cchp

### هزینه توقفات خطوط تولیدی

با توجه به قطع برق صنایع در زمان پیک بار و مشکلات عدم پشتیبانی خطوط تولیدی بدلیل توقف خطوط تولیدی با اجرای طرح استفاده از پنل خورشیدی و cchp توقفات خطوط تولیدی صفر می گردد، در رابطه ۷ میزان کل تولید برق عامل ها در نقطه بهینه مشخص می شود:

$$E_T = E_p + E_c \quad (7)$$

$E_t$  تولید برق کل توسط عامل ها،  $E_p$  تولید برق پنل های خورشیدی،  $E_c$  تولید برق دستگاه cchp در رابطه ۸ میزان برق کسر شده کل مصرف از عامل ها مشخص شده است:

$$E_s = E_{pr} + E_t \quad (8)$$

$E_s$  میزان برق ذخیره شده،  $E_{pr}$  میزان برق مصرفی تولیدی،  $E_t$  میزان برق تولید شده عامل ها در رابطه ۹ هزینه توقفات خطوط تولیدی مشخص شده است:

$$C_e = E_s + C_t \quad (9)$$

$C_e$  هزینه کل توقفات تولیدی،  $E_s$  میزان برق ذخیره شده،  $C_t$  هزینه توقفات خطوط تولیدی در هر ساعت

### میزان آلاینده های زیست محیطی

کاهش مصرف آلاینده های زیست محیطی در پنل ها رابطه عکس و در توان cchp رابطه مستقیم دارد، یعنی با افزایش مساحت پنل های خورشیدی میزان آلاینده ها کاهش و با افزایش توان cchp مقدار آلاینده ها نیز افزایش خواهد یافت، مبنای محاسبه تولید آلاینده ها در تحقیق انجام شده، میزان آن در نقطه بهینه می باشد، یعنی زمانی که نقطه بهینه دو عامل یعنی میزان مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp مشخص شد، در این نقطه بهینه شاهد کاهش آلاینده های زیست محیطی به میزان تولید برق توسط پنل های خورشیدی خواهیم بود در ضمن واحد آن کیلوگرم می باشد، در ادامه توسط روابط ذیل و جاگذاری در نقاط محاسبه میزان برق تولیدی پنل خورشیدی از رابطه ۱۰ محاسبه می شود.

$$E_T = (A_p / 1.82) \times 0.37 \quad (10)$$

در رابطه بالا  $E_T$  برق تولیدی از پنل خورشیدی،  $A_p$  مساحت پنل خورشیدی بر حسب متر مربع، عدد  $1/1.82$  مساحت هر پنل خورشیدی و عدد  $0.37$  میزان برق تولیدی در هر متر مربع پنل خورشیدی می باشد. میانگین انرژی تولید شده در روز از رابطه ۱۱ بدست می آید:

$$E_{ave} = (E_t \times 5psh)$$



(۱۱)

$E_{ave}$  میانگین انرژی تولید شده در روز،  $E_t$  برق تولیدی از پنل خورشیدی و 5psh ساعات آفتابی در طول روز می باشد.

میزان کل تولید آلاینده ها نیز از رابطه ۱۲ بدست می آید:

$$ENV = (E_{ave} \times 218 \times 0.417)$$

(۱۲)

$ENV$  میزان آلاینده ها و واحد آن کیلوگرم می باشد،  $E_{ave}$  میانگین انرژی تولید شده در روز، عدد ۲۱۸ تعداد روزهای آفتابی و عدد ۰/۴۱۷ نیز میزان تولید آلاینده به ازای هر کیلو وات ساعت برق در شهر تهران بر اساس اعلام آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده می باشد.

### عاملها و پاسخهای انتخاب شده بهینه سازی

دو عامل مستقل، مساحت پنل های خورشیدی نصب شده و توان cchp به عنوان متغیرهای اصلی طراحی سیستم چند منبعی که دامنه تغییرات عاملها در (جدول ۳)، که برگرفته از نرم افزار دیزاین اکسپرت می باشد ذکر شده است. دلایل انتخاب محدودیت و عاملها در ادامه توضیح داده خواهد شد.

مساحت طراحی کلکتور قابل نصب تاثیر بسزایی در میزان برق تولیدی، هزینه های مربوط به سرمایه گذاری اولیه و میزان توان cchp دارد.

زاویه پنلها با عرض جغرافیایی محل ۳۵/۷ درجه طراحی شده است. شیب و مقدار فضای سقف در دسترس، حداکثر ۲۴۰۰۰ متر مربع می باشد، به همین علت حد بالای تغییرات عاملها، ۲۴۰۰۰ در نظر گرفته شده است. در ضمن حد پایین نیز صفر که نشانده دهنده زمانی می باشد که هیچ پنلی استفاده نشود.

بنابر این بازه بهینه سازی در خصوص عامل مساحت پنل های خورشیدی از ۰ تا ۲۴۰۰۰ متر مربع می باشد. بازه تغییرات عامل دوم نیز یعنی توان cchp از ۰ تا ۳۰۰۰ کیلو وات در نظر گرفته شده است، آبگرم تولیدی نیز جهت پیشایش گرمایش دیگ ابگرم جهت پشتیبانی چیلر جذبی استفاده می شود (درینگر وهمکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۸۰)

### جدول ۳ - دامنه تغییرات عاملهای در نظر گرفته شده

عامل	دامنه تغییرات	واحد
مساحت پنل های خورشیدی	۰ - ۲۴۰۰۰	m <sup>2</sup>
توان cchp	۰ - ۳۰۰۰	kW

برای عاملهای انتخاب شده، روش طراحی آزمایش (سطح پاسخ) تعداد  $N_{exp} = 16$  آزمایش (در اینجا، اجرای شبیه سازی) همراه با طراحی مرکب مرکزی (یو لی لو وهمکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰) را پیشنهاد داد. در ضمن طراحی آزمایش و محاسبات سطح پاسخ با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت (مایرز و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸) انجام شد.

<sup>۱</sup> Derringer

<sup>۲</sup> Li, L. Lu

<sup>۳</sup> Myers

در بخش های قبل اشاره شده است که مسئله بهینه سازی چند پاسخی با در نظر گرفتن پاسخ های انرژی و اقتصادی ارائه می نماید. در تحقیق انجام شده ۷ پاسخ یا تابع هدف بهینه سازی انتخاب شده است که در جدول ۴ مشخص می باشد.

در این پژوهش ۷ پاسخ یا تابع هدف بهینه سازی انتخاب شد که در جدول ۴ آمده است، لازم به ذکر است که پاسخ مصرف کل برق از تفریق مصرف برق در مجموعه و میزان برق تولیدی سیستم بدست می آید. بنابراین زمانی که میزان تولیدی برق از میزان مصرف بیشتر باشد این پارامتر منفی می شود. هدف از بهینه سازی کمینه سازی هر ۷ پاسخ (تابع هدف) در نظر گرفته شده به صورت همزمان است (وارقس و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۳).

#### جدول ۴ - پاسخ های در نظر گرفته شده در بهینه سازی

Response	Name	Field
R <sub>۱</sub>	Net electricity consumption	energy
R <sub>۲</sub>	Total natural gas consumption	energy
R <sub>۳</sub>	Total diesel consumption	energy
R <sub>۴</sub>	Payback period	economic
R <sub>۵</sub>	Environmental pollutant	environment
R <sub>۶</sub>	Cost of maintenance and repairs	economic
R <sub>۷</sub>	Cost of production line stops	economic

#### یافته های تحقیق

نتایج حاصل از شبیه سازی و بهینه سازی در این بخش گزارش می شود.

#### شرایط آب و هوایی محل

شبیه سازی در شرایط آب و هوایی شهر تهران انجام می گردد. در محور افقی، ۸۷۶۰ ساعت بوده و ۷۳۰ ساعت نیز هر ماه در طول سال دمای هوای بیرون بین ۵- تا حدود ۴۰ درجه سانتیگراد متغیر است. در ضمن سطح تشعشع خورشیدی در محل پروژه بین ۰ تا ۳۷۰۰ kJ/h.m<sup>2</sup> قابل تغییر می باشد. جدول ۵ داده های تعرفه انرژی و داده های اقتصادی استفاده شده در محاسبات اقتصادی سیستم نظیر دوره بازگشت سرمایه مورد بحث را نشان می دهد. لازم به ذکر است با در نظر گرفتن نرخ دلار ۵۰ هزار تومان، همه محاسبات بر مبنای دلار صورت گرفته است تا نتایج به نوسانات ارز وابسته نباشد و بعدها نیز نتایج به راحتی قابل تبدیل و استناد باشد.

#### جدول ۵ - اطلاعات اقتصادی اعمال شده در آنالیز اقتصادی

مقدار	مشخصه اقتصادی
٪۴۱.۲	نرخ تورم
٪۱۸	نرخ تنزیل
\$ kWh-۱۰۰۰۳۲۴	تعرفه خرید برق از شبکه
\$ kWh-۱۰۰۰۴۴	تعرفه فروش برق به شبکه
\$ m-۳۰۰۱۲	تعرفه مصرف گاز طبیعی
۵۰۰۰۰۰ ریال	نرخ تبدیل هر دلار به ریال
۲۰ آبان ۱۴۰۲	تاریخ استعلام اطلاعات

## نتایج بهینه سازی

از روش سطح پاسخ جهت بدست آوردن بهترین ترکیب عامل های انتخاب شده استفاده می شود، مقادیر پیش بینی شده توسط روش طراحی آزمایش سطح پاسخ برای عامل ها را به گونه ای که به سیستم بهینه دست پیدا کنیم، نشان می دهد، همچنین، در جدول ۶ که برگرفته از نرم افزار دیزاین اکسپرت می باشد مقادیر هر پاسخ برای شرایط بهینه مشخص شده است، شکل ۷ مصرف کل برق مقدار منفی در اینجا به این معنی است که کل مقدار دیماندر مصرفی مجموعه تامین شده و از طرفی مقداری نیز برای فروش به شبکه باقی می ماند.

مطلوبیت ترکیبی ۰/۷۲۵ برای جواب بهینه، که نزدیک به جواب ایده آل (یعنی  $CD = 1$ ) است، بدست آمد.

### جدول ۶ - مقادیر بهینه بدست آمده برای عامل های انتخاب شده در بهینه سازی

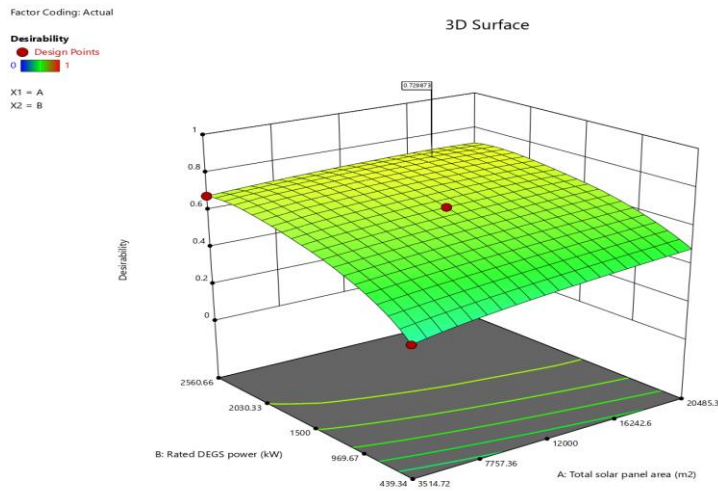
واحد	مقدار بهینه	عامل
m <sup>2</sup>	۱۶۱۴۳.۵	مساحت پنل های خورشیدی
kW	۲۳۲۸.۲۹	توان دیزل ژنراتور

### جدول ۷ - مقادیر بدست آمده برای پاسخ ها در سیستم بهینه بدست آمده

واحد	نتایج بهینه	پاسخ ها	جنبه های انرژی-اقتصادی
kWh	-۱۳۲۷۹۲۰	مصرف کل برق	انرژی
m <sup>3</sup>	۵۵۹۴۸۸	کل مصرف گاز	
L	۲۲۲۸۳۰۰	کل مصرف سوخت دیزل	
سال	۲.۲۹	دوره بازگشت سرمایه (PBP)	اقتصادی
\$	۱۸۱۳	هزینه نگهداری و تعمیرات	اقتصادی
\$	۴۸۹۱۸۸۰	هزینه توقفات خطوط تولیدی	اقتصادی
kg	۴۸۴۲	کل تولید آلاینده های زیست محیط	زیست محیطی

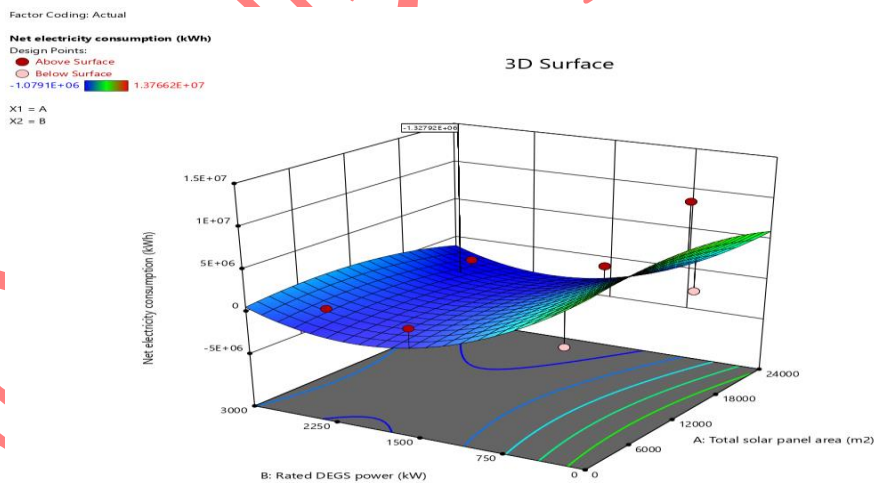
آنالیز حساسیت، یک روش تحلیلی است که به ما کمک می کند تا درک عمیق تری از اثر تغییر هر یک از عوامل انتخابی بر روی پاسخ های بهینه سیستم به دست آوریم. در این تحقیق نیز، یک آنالیز حساسیت انجام شده است تا تأثیر عوامل مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp را بر تابع مطلوبیت بررسی کند.

شکل ۴ نموداری است که اثر تغییر عوامل مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp را بر تابع مطلوبیت نمایش می دهد. از نمودار مشخص است که بیشترین مقدار تابع مطلوبیت یا CD برابر با ۰/۷۲۵ است. این نتیجه نشان می دهد که با استفاده از ترکیب بهینه از عوامل مذکور، سیستم به یک حالت بهینه (سیستم بهینه) می رسد و مقدار تابع مطلوبیت به ۰/۷۲۵ نزدیک می شود. این مقدار نزدیک به بیشترین مقدار ممکن تابع مطلوبیت (۱) است. از این موضوع می توان نتیجه گرفت که تغییر در عوامل مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp تأثیر قابل توجهی بر تابع مطلوبیت و عملکرد بهینه سیستم دارد. در واقع، این آنالیز حساسیت به ما نشان می دهد که با تنظیم بهینه این عوامل، می توان به دستیابی به تابع مطلوبیت بالا و نزدیک به حالت ایده آل (تابع مطلوبیت برابر با ۱) نزدیک شد. با توجه به این نتایج، می توان این تحلیل حساسیت را یک ابزار مفید برای بهینه سازی سیستم در نظر گرفت. با شناخت دقیق تر از تأثیر هر یک از عوامل، می توان بهترین ترکیب عوامل را برای حداکثر کردن تابع مطلوبیت و بهبود عملکرد سیستم تعیین کرد. این تحلیل حساسیت به ما امکان می دهد تا بهترین تصمیمات را در انتخاب و تنظیم عوامل انتخابی اتخاذ کنیم و عملکرد بهینه را به دست آوریم.



#### شکل ۴ - اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی تابع مطلوبیت

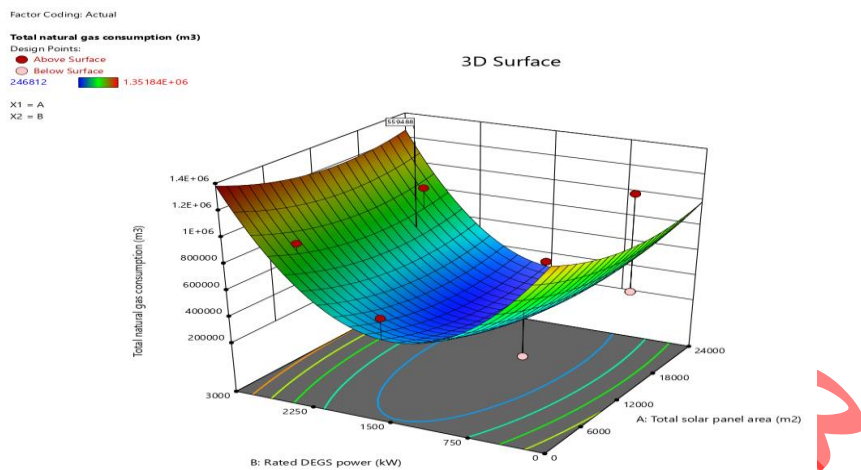
تأثیر عوامل مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp بر مصرف کل برق در شکل ۵ که بر گرفته از خروجی نرم افزار دیزاین اکسپرت می باشد مشخص شده است، این نمودار نشان می دهد با افزایش توان دیزل ژنراتور از ۳۰۰۰ کیلووات، میزان مصرف کل برق از حدود ۷۰۰۰۰۰۰ کیلووات ساعت در سال به حدود ۲۵۰۰۰۰۰ کیلووات ساعت در سال کاهش می یابد. جهت بهینه سازی سیستم، از روش طراحی آزمایش (سطح پاسخ) استفاده شده است. بهینه ترین نقطه در مساحت پنل های خورشیدی برابر با ۱۶۱۴۳/۵ مترمربع و در توان cchp برابر با ۲۳۲۸/۲۹ کیلووات قرار دارد. در این نقطه بهینه، مصرف کل برق برابر با ۱۳۲۷۹۲۰ - کیلووات ساعت در سال است.



#### شکل ۵ - اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی مصرف کل برق

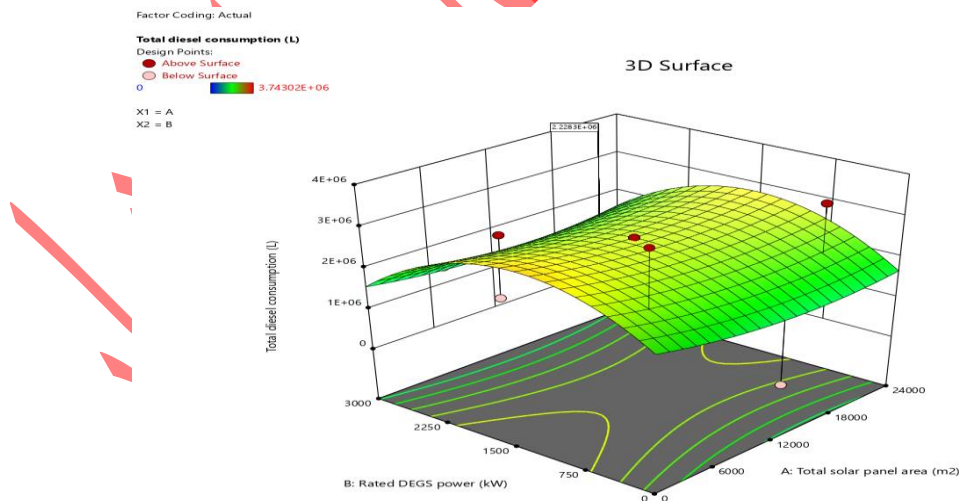
تغییر عوامل مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور و چگونگی تأثیر آن بر کل مصرف گاز سیستم و مجموعه در شکل ۶ که بر گرفته از خروجی نرم افزار دیزاین اکسپرت می باشد مشخص شده است، با توجه به خروجی انجام شده، افزایش توان cchp از ۰ تا ۱۶۰۰ کیلووات منجر به کاهش شدید در مصرف گاز می شود، در این مدل مصرف گاز ۷۷/۴٪ کاهش می یابد، که مقدار آن معادل ۱۳۱۰۰۰۰ متر مکعب در سال به حدود ۳۰۰۰۰۰ متر مکعب در سال خواهد رسید. همچنین مطالعه نشان می دهد که با افزایش مقدار توان cchp از ۷۵۰ تا ۱۵۰۰ کیلووات، نتیجه عکس را بوجود می آورد و مصرف گاز مجدداً افزایش می یابد. با توجه به توضیحات داده شده و خروجی نرم افزار از طریق روش طراحی آزمایش

(سطح پاسخ) نقطه بهینه مشخص شده و مساحت پنل خورشیدی با اندازه ۱۶۱۴۳ متر مربع و توان cchp با اندازه ۲۳۲۸ کیلو وات را مشخص کرده است. مصرف گاز کلی در این نقطه بهینه برابر با ۵۵۹۴۸۸ متر مکعب در سال می باشد.



### شکل ۶ – اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی کل مصرف گاز

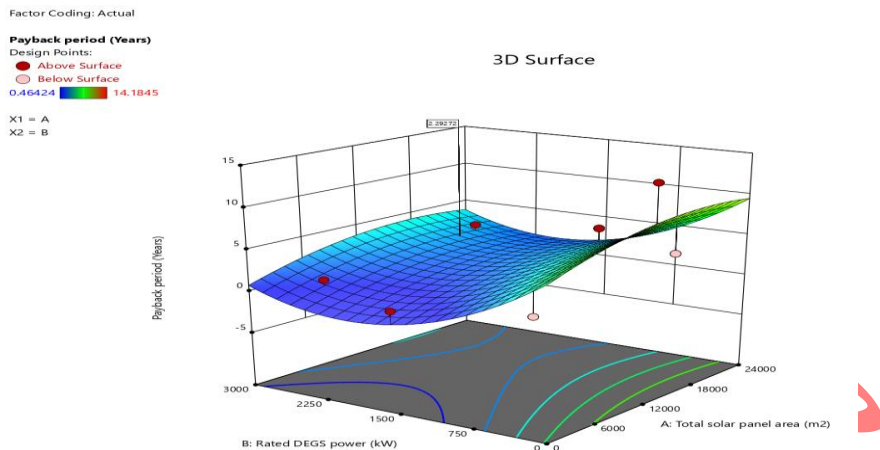
تغییر عوامل مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور چگونه بر مصرف سوخت دیزل تأثیر می گذارد در شکل ۷ که بر گرفته از خروجی نرم افزار دیزاین اکسپرت می باشد مشخص می باشد، خروجی این نمودار نشان می دهد که تغییرات مصرف گاز و مصرف سوخت cchp روندی بر خلاف عکس یکدیگر دارند. در واقع کاهش همزمان مصرف گاز و مصرف سوخت cchp در cchp امکان پذیر نیست و روند آن ها برعکس یکدیگر است. با استفاده از روش طراحی آزمایش (سطح پاسخ) مساحت پنل ها با اندازه ۱۶۱۴۳ متر مربع و توان cchp به اندازه ۲۳۲۸ کیلووات بعنوان نقطه بهینه مشخص شده است. در این نقطه بهینه، مصرف کلی سوخت دیزل برابر با ۲۲۲۸۳۰۰ لیتر در سال است.



### شکل ۷ – اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی کل مصرف سوخت دیزل

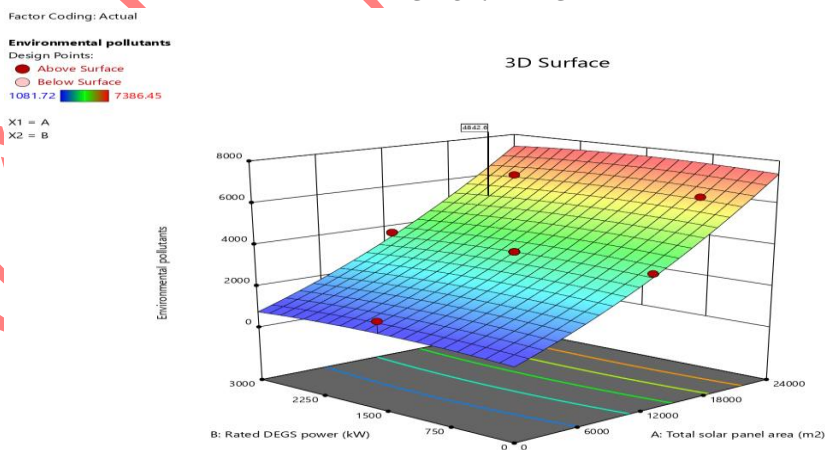
تغییر عوامل مساحت پنل های خورشیدی و cchp در شکل ۸ که بر گرفته از خروجی نرم افزار دیزاین اکسپرت می باشد مشخص شده است. دوره بازگشت سرمایه با افزایش مساحت پنل های خورشیدی تأثیر پذیری کمتری دارد. در مقابل افزایش توان cchp تا حدود ۲۰۰۰ کیلووات، به کاهش شدیدی در دوره بازگشت سرمایه منجر خواهد شد. همچنین با افزایش توان cchp به بیش از ۳۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلو وات، منجر به افزایش دوره بازگشت سرمایه خواهد شد. با استفاده از

روش طراحی آزمایش ( سطح پاسخ) مساحت پنل ها با اندازه ۱۶۱۴۳ متر مربع و توان cchp به اندازه ۲۳۲۸ کیلووات بعنوان نقطه بهینه مشخص شده است. دوره بازگشت سرمایه ۲/۲۹ در نقطه بهینه انتخاب شد.



### شکل ۸ - اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی دوره بازگشت سرمایه

شکل ۹ نشان دهنده تغییر عوامل مساحت پنل های خورشیدی و استفاده از توان cchp بر تغییر مصرف آلاینده های زیست محیطی می باشد، این بدان معنی می باشد که کاهش مصرف آلاینده های زیست محیطی در پنل ها رابطه عکس و در توان cchp رابطه مستقیم دارد، یعنی با افزایش مساحت پنل های خورشیدی میزان آلاینده ها کاهش و با افزایش توان cchp مقدار آلاینده ها نیز افزایش خواهد یافت. ، با استفاده از بهینه سازی با استفاده از روش سطح پاسخ، نقطه بهینه در مساحت پنل ها با اندازه ۱۶۱۴۳ مترمربع و توان cchp با اندازه ۲۳۲۸ کیلووات مشخص شده است. در این نقطه بهینه، میزان کاهش آلاینده های زیست محیطی برابر با ۴۸۴۲ کیلو گرم در سال است، این بدان معنا می باشد که با اجرای این طرح در سال کاهش آلاینده های زیست محیطی محسوس می باشد.

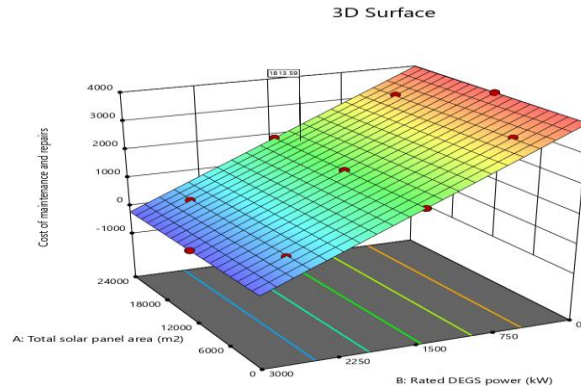


### شکل ۹ - اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی آلاینده های زیست محیطی

شکل ۷ نشان می دهد که تغییر عوامل مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور چگونه بر هزینه نگهداری و تعمیرات تأثیر می گذارد، با توجه به استفاده از پنل های خورشیدی و cchp کارکرد تجهیزات تولید انرژی کمتر شده و این مورد منجر به کاهش زمان مورد استفاده در نگهداری و تعمیرات و همچنین کاهش خرید اقلام یدکی خواهد شد، البته هزینه نگهداری و تعمیرات و تامین اقلام مربوط به دو عامل در نظر گرفته شده است، نقطه بهینه در مساحت پنل ها با اندازه ۱۶۱۴۳ مترمربع و توان دیزل ژنراتور با اندازه ۲۳۲۸ کیلووات مشخص شده است. در این نقطه بهینه، میزان کاهش

هزینه های نگهداری و تعمیرات برابر با ۱۸۱۳ دلار می باشد، استفاده از پنل های خورشیدی تاثر مستقیم بر روی کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات تجهیزات دارد.

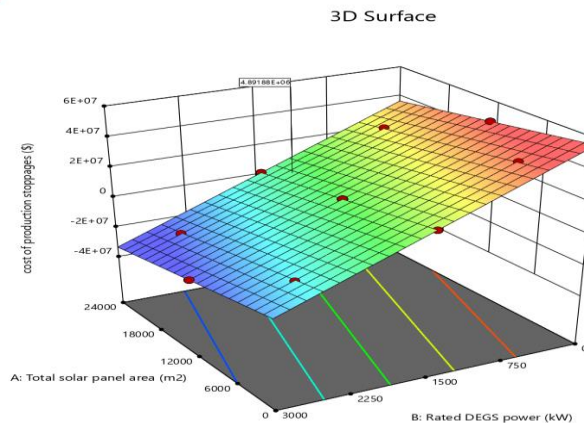
Factor Coding: Actual  
**Cost of maintenance and repairs**  
 ● Design Points  
 -206.426 3993.57  
 X1 = A  
 X2 = B



### شکل ۱۰ - اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی هزینه نگهداری و تعمیرات

شکل ۷ نشان می دهد که تغییر عوامل مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور چگونه بر هزینه توقفات خطوط تولیدی تأثیر می گذارد، با توجه به قطع برق صنایع در زمان پیک بار و مشکلات عدم پشتیبانی خطوط تولیدی بدلیل توقف خطوط تولیدی با اجرای طرح استفاده از پنل خورشیدی و cchp توقفات خطوط تولیدی صفر می گردد. نقطه بهینه در مساحت پنل ها با اندازه ۱۶۱۴۳ مترمربع و توان دیزل ژنراتور با اندازه ۲۳۲۸ کیلووات مشخص شده است. در این نقطه بهینه، میزان کاهش هزینه های توقفات خطوط تولیدی برابر با ۴۸۹۱۸۸۰ دلار می باشد، استفاده از پنل های خورشیدی تاثر مستقیم بر روی کاهش توقفات و هزینه های مربوط به آن می باشد.

Factor Coding: Actual  
**cost of production stoppages (\$)**  
 ● Design Points  
 -2.38322E+07 4.63678E+07  
 X1 = A  
 X2 = B



### شکل ۱۱ - اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی هزینه توقفات خطوط تولیدی

#### نتیجه گیری

در نتایج تحقیق انجام شده مشاهده شد سیستم تولید همزمان موازی اجرا شده با استفاده پنل های خورشیدی و cchp یک راهکار مناسب جهت تولید همزمان انرژی الکتریکی و حرارتی با در نظر گرفتن نیاز های یک شرکت صنعتی می باشد. از قابلیت های این سیستم تنظیم و بهینه سازی مصرف سوخت و کاهش هزینه های انرژی می باشد. در نتایج

نشان داده شد که سیستم چند منبعی مورد بررسی با توجه به شرایط محل پروژه قابلیت تولید انرژی الکتریکی و حرارتی در طول سال را دارا می باشد.

با توجه به نتایج شبیه سازی سیستم چند منبعی با استفاده از روش طراحی آزمایش ( سطح پاسخ) نشان داد پیل های خورشیدی و cchp در حالت بهینه برابر با ۱۶۱۴۳ متر مربع و ۲۳۲۸ کیلووات می باشد، در ضمن بهترین عملکرد در شرایط بهینه می باشد. سیستم بهینه به مصرف کل برق ۱۳۲۲۷۹۲۰ کیلووات، کل مصرف گاز ۵۵۹۴۸۸ مترمکعب، کل مصرف سوخت دیزل ۲۲۲۸۳۰۰ لیتر، میزان آلاینده های زیست محیطی ۴۸۴۲ کیلو گرم و دوره بازگشت سرمایه ۲/۲۹ سال، هزینه نگهداری و تعمیرات ۱۸۱۳ دلار و هزینه توقفات خطوط تولیدی ۴۸۹۱۸۸۰ دلار می باشد.

- به منظور بهینه سازی سیستم، از روش RSM استفاده شده است و نقطه بهینه برای مساحت پیل ها و توان cchp مشخص شده است. در این نقطه بهینه، مصرف کل برق به حداقل می رسد و برابر با ۱۳۲۲۷۹۲۰ کیلووات ساعت در سال است. از تحلیل به دست آمده نتیجه گرفته می شود که با افزایش توان cchp و مساحت پیل های خورشیدی، میزان مصرف کل برق کاهش می یابد. با استفاده از توان cchp بهینه و مساحت پیل های خورشیدی بهینه، می توان مصرف برق را به حداقل رساند و بهینه ترین عملکرد را داشت.

- در خصوص میزان مصرف گاز نتایج نشان می دهند که نیاز به بهینه سازی مقدار توان cchp و تطابق آن با مقدار پیل های خورشیدی نصب شده در سیستم وجود دارد. از طریق بهینه سازی با استفاده از روش RSM، نقطه بهینه در مساحت پیل ها با اندازه ۱۱۷۱۶/۸۹ مترمربع و توان cchp با اندازه ۱۹۸۶/۶۹ کیلووات مشخص شده است. در این نقطه بهینه، مصرف گاز کلی برابر با ۵۵۹۴۸۸ مترمکعب در سال است. با استفاده از این تحلیل می توان نتیجه گرفت که تغییرات مساحت پیل های خورشیدی و توان cchp تأثیر قابل توجهی بر مصرف گاز سیستم و مجموعه دارد. با بهینه سازی این عوامل، می توان مصرف گاز را به حداقل رساند و بهینه ترین عملکرد را داشت.

- در خصوص میزان سوخت cchp نتایج نشان می دهد که باید تصمیم گیری درباره استفاده بیشتر از کدام سوخت صورت گیرد. بسته به کمبود گاز طبیعی در کشور و کاهش فشار در شبکه، می توان تمرکز را بر روی افزایش توان cchp تا ۱۶۰۰ کیلووات قرار داد. در این صورت، مصرف گاز کمتری رخ می دهد، اما مصرف سوخت دیزل بیشتر است. در نقطه بهینه، مصرف کلی سوخت دیزل برابر با ۲۲۲۸۳۰۰ لیتر در سال است. از این تحلیل می توان نتیجه گرفت که تغییرات مساحت پیل های خورشیدی و توان cchp تأثیر قابل توجهی بر مصرف سوخت دیزل دارد. با بهینه سازی این عوامل، می توان مصرف سوخت را کاهش داد و بهینه ترین عملکرد را داشت.

- در این نقطه بهینه، دوره بازگشت سرمایه برابر با ۲/۲۹ سال است. این تحلیل نشان می دهد که تغییرات مساحت پیل های خورشیدی و توان cchp تأثیر قابل توجهی بر دوره بازگشت سرمایه دارد. با بهینه سازی این عوامل، می توان دوره بازگشت سرمایه را به حداقل رساند و بهینه ترین عملکرد را داشت. این بهبود در دوره بازگشت سرمایه می تواند با تغییرات در مساحت پیل های خورشیدی و توان cchp دستیابی به نقطه بهینه را فراهم کند.

- نتایج در خصوص هزینه نگهداری و تعمیرات کاهش یافته و هزینه نگهداری و تعمیرات ۱۸۱۳ دلار در سال را بدنبال داشته است، همچنین پس از تحلیل نتایج مشخص شد در شرایط بهینه، میزان کاهش هزینه های توقفات خطوط تولیدی برابر با ۴۸۹۱۸۸۰ دلار در سال می باشد.

- از تحلیل نتایج می توان نتیجه گرفت که سیستم بهینه ترکیبی با cchp و پیل های خورشیدی، قادر به تأمین کل برق مورد نیاز مجموعه نه تنها در ساعات پربار (زمانی که تقاضای برق بالا است) بلکه در ساعات کمبار نیز (زمانی که تقاضای برق کمتر است) می باشد. این سیستم توانایی تولید برق اضافی را در برخی اوقات نشان می دهد که می تواند به شبکه برق عمومی فروخته شود.

با توجه به نتایج بدست آمده در تحقیق انجام شده مواردی به عنوان پیشنهاد برای مطالعات آینده معرفی می شود: پیشنهادات آتی شامل: مطالعه تأثیرات شبکه های هوشمند بر بهره وری سیستم، بررسی امکانات افزودن منابع انرژی دیگر



به سیستم، بررسی تأثیرات افزایش مقیاس سیستم، بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر بهره‌وری سیستم‌های پایداری سیستم‌های انرژی دیزل ژنراتور ترکیبی با انرژی خورشیدی، پیشنهادات کاربردی شامل: بهینه‌سازی معماری سیستم با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، تحلیل محیط زیستی چرخه عمر بر اساس نتایج بهینه‌سازی

## مراجع

- Salehi, A. Abdoli, M. (1388). The necessity of developing power plants for the simultaneous production of electricity and biogas-burning heat in the country, Iranian Energy Magazine, vol.12No.30, pp.13-24. <https://civilica.com/doc/92231>, (in persian)
- Nadami, Y. Dalvandi, M. (1402). The role of globalization in the relationship between energy consumption and economic growth, Green development management studies, vol.1No.3, pp.20-35 [https://gmd.birjand.ac.ir/article\\_2433.html](https://gmd.birjand.ac.ir/article_2433.html), (in persian)
- Yaqoubi, N. Salehi, M. (1402). Investigating and explaining the implementation of renewable resource management policies in line with the sustainable development of Sistan region. Quarterly journal of environmental, Green development management studies, vol.2No.2, pp.124-151 [https://gmd.birjand.ac.ir/article\\_2779.html](https://gmd.birjand.ac.ir/article_2779.html), (in persian)
- Komar, P. Adon, H. (2021). Long-Term Performance Analysis Using TRNSYS Software of Hybrid Systems with PV- T, Energy, vol.14No.21, pp.14-21 <https://doi.org/10.3390/en14216921>
- Zhiwei, Y. Wang, J.G. (2024). A multi-objective optimization approach for a fault geothermal system based on response surface method. Geothermics. vol.117No.21, pp.10-28, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102887>
- AlManea, A. Hakim, T. Kadhim, Ali. Egab, K. (2022). Experimental and numerical study to develop the TRNSYS model for an active flat plate solar collector with an internal serpentine tube receiver. Geothermics. vol.117No.21, pp.10-28, <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2022.100189>
- Yan Cao, Hayder A. Dhahad, Hussein Togun, A.S. El-Shafay (2022). Development and transient performance analysis of a smart energy system connected to a decentralized grid based on solar-geothermal hybrid resources; Technical-economic evaluation. Sustainable Cities and Society. vol.76No.21, pp.25-34, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103425>
- Izadi, A. Shahafve, M. Ahmadi, P. (2022). Neural Network Genetic Algorithm Optimization of a Transient Hybrid Renewable Energy System with Solar/Wind and Hydrogen Storage System for Zero Energy Buildings in Different Weather Conditions. Energy conversion and management. vol.260No.15, pp.125-134, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115593>
- Chai, D. John, Z. Nathwani, W. (2013). Simulation of cogeneration within the concept of smart energy networks. Energy conversion and management. vol.75No.15, pp.453-465, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.045>
- Alaie, O. Maddahian, R. Heidarnejad, GH. (2021). Investigation of thermal interaction between shallow boreholes in a GSHE using FLS-STRCM model. Renewable Energy. vol.175No.18, pp.1137-1150, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.073>
- Attar, N. Naili, N. Khalifa, M. Hazami, A. (2013). Parametric and numerical study of a solar system for greenhouse heating equipped with a buried exchanger. Energy conversion and management. vol.70No.19, pp.163-173, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.02.017>

- Zhao, N. Wang, W. Yao, Z. (2024). A novel multi-objective optimization model of solar-driven methanol steam reforming system combining response surface methodology and three-dimensional numerical simulation. *Energy conversion and management*. vol.300No.15, pp.86-79, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117986>
- Assareh, E. Mousavi, S. Ahmadinejad, M. Ghodrat, M. (2023). New optimized configuration for a hybrid PVT solar/electrolyzer/absorption chiller system utilizing the response surface method as a machine learning technique and multi-objective optimization. *Energy*. vol.281No.52, pp.112-125, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128309>
- Madas, S. Narayanan, R. Gudimetla, R. (2023). Single and multi-objective optimization of PVT performance using response surface method using CuO nanofluid. *Solar Energy*. vol.263No.82, pp.52-68, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111952>
- Shafay, A. Gad, A. Attia, E. (2023). Optimization of performance and emission outputs of a CI engine powered with waste fat biodiesel: A detailed RSM, fuzzy multi-objective and MCDM application. *Energy*. vol.275No.10, pp.468-471, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127356>
- Sultana, M. Ranjan Dhar, R. (2023). Performance evaluation of high-pressure cooling by using external rotary liquid applicator in milling Ti-6Al-4V alloy. *Helion*. vol.9No.7, pp.71-76. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17671>
- Chargui, R. Sammouda, H. Farhat, A. (2012). Geothermal heat pump in heating mode: modeling and simulation on TRNSYS. *International Journal of Refrigeration*, vol.35No.7, pp.1824-1832, <https://doi.org/10.1016/j.jirefrig.2012.06.002>
- Salameh, T. Alkhalidi, R. HussienRabaia, M. Swailmeen, Y. (2022). Optimization and Life Cycle Analysis of a Solar Absorption Chiller Designed for a Small House in the United Arab Emirates Using Tube Technology. vol.275No.10, pp.468-471, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.121>
- ŻabnieńskaGóra, A. Khordehghah, N. Jouhara, N. (2021). Annual PV/T system performance analysis for the heat demand of a low-energy single-family building. vol.275No.10, pp.468-471, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.123>
- Gustavo, A. LujanMoren, O. Phillip, R. (2018). Design of experiments and response surface methodology to tune machine learning hyperparameters, with a random forest case-study, vol.275No.10, pp.468-471, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.05.024>
- Derringer, G. Suich, R. (1980). "Simultaneous optimization of several response variables," *Journal of quality technology*, vol. 12, no. 4, pp. 214-219, <https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968>
- Li, Y. Lu, L. Yang, H. (2010). Energy and economic performance analysis of an open cycle solar desiccant dehumidification air-conditioning system for application in Hong Kong, *Solar Energy*. vol. 84, no. 12, pp. 2085-2095, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.09.006>
- Sarabia, L. Ortiz, M. (2009). *Response Surface Methodology*, Volume 1, 2009, Pages 345-390, <https://doi.org/10.1016/B978-044452701-1.00083-1>
- Varghese, E. Hemavathi, M. (2023). Design Expert Software for RSM and ME: Overview, Design Generation and Analysis, <http://eprints.cmfri.org.in/17377/>