



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

Abbas Motallebi¹, Seyyed Ahmad Shayannia^{2*}, Mahdi Amir Miyandaragh³, Ebrahim Niknaghsh⁴

1. Department of Industrial Management, Firuzkoh Branch, Islamic Azad University, Firozko, Iran

2. Department of Industrial Management, Firuzkoh Branch, Islamic Azad University, Firozko, Iran

3. Department of Mathematics, Firuzkoh Branch, Islamic Azad University, Firozko, Iran

4. Department of Industrial Management, Firuzkoh Branch, Islamic Azad University, Firozko, Iran

*Corresponding author, Email: sheibat@yahoo.com

Keywords:

Renewable energies, optimization, transient systems, multi-response optimization, experimental design.

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.

Materials and Methods

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:

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

Received:

23/Feb/2024

Accepted:

13/Jun /2024

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, β 's are unknown coefficients that will be obtained by regression analysis.

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

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⁻¹, 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:

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

η_{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.

How to cite this article:

Motallebi, A., Shayannia, A., Miyandaragh, M.A., & Niknaghsh, E. (2024) Optimization of a multi-source system based on transient simulation method and response surface methodology focusing on renewable energies. *Green Development Management Studies*, 3(2),93-116. <https://doi.org/10.22077/jgdms.2024.7333.1089>





بهینه‌سازی یک سیستم چند منبعی مبتنی بر روش شبیه‌سازی گذرا و روش‌شناسی سطح پاسخ با محوریت انرژی‌های تجدیدپذیر

عباس مطلبی^۱، سید احمد شایان نیا^{۲*}، مهدی امیر میاندرق^۳، ابراهیم نیک نقش^۴

^۱ گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

^۲ گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

^۳ گروه ریاضی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

^۴ گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: sheibat@yahoo.com

واژگان کلیدی:

چکیده

انرژی‌های تجدیدپذیر، بهینه‌سازی، سیستم‌های گذری، بهینه‌سازی چند پاسخی، طراحی آزمایش.

هدف این مطالعه بهینه‌سازی یک سیستم چند منبعی با محوریت انرژی‌های تجدیدپذیر با روش شبیه‌سازی گذرا و روش‌شناسی سطح پاسخ می‌باشد. در ابتدا دو عامل مستقل یعنی پنل‌های فتوولتائیک و دستگاه cchp بعنوان متغیرهای 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 آلاینده‌های زیست محیطی و بازگشت سرمایه بعنوان پاسخ اقتصادی برای بهینه‌سازی توسط روش شبیه‌سازی گذری و روش طراحی آزمایش (سطح پاسخ) مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان داد بهینه‌سازی به روش طراحی آزمایش در نقطه بهینه در مساحت پنل فتوولتائیک ۱۶۱۴۳/۵ مترمربع و در توان cchp ۲۳۲۸/۲۹ کیلووات رخ می‌دهد که بازگشت سرمایه آن ۲/۲۹ سال است. همچنین اثر تغییر عامل‌های مساحت پنل‌های 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 بهینه‌سازی در بهترین حالت سیستم بهینه به مقدار تابع مطلوبیت ۰/۷۲۹ می‌رسد که عددی بسیار نزدیک بیشترین مقدار ممکن یعنی حالت ایده‌آل تابع مطلوبیت ۱ می‌باشد؛ پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از منابع انرژی دیگر نظیر باد و زمین‌گرمایی و همچنین با روش‌های الگوریتم‌های هوش مصنوعی بررسی گردد.

تاریخ دریافت:

۴ اسفند ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش:

۲۴ خرداد ۱۴۰۳



مقدمه

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 محدودیت‌های مصرف برق در فصل گرم سال، قطع برق صنایع و همچنین افزایش تعرفه‌های برق، استفاده از تجهیزات تولید انرژی تجدید پذیر و یا خود تأمین از اهمیت بالایی برخوردار شده و سازمان‌ها جهت جلوگیری از توقفات خطوط تولیدی ملزم به استفاده از این تجهیزات شده‌اند 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 می‌باشد به تحلیل و بهینه‌سازی استفاده از تجهیزات تولید انرژی با محوریت انرژی‌های 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 آلاینده‌های حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی و افزایش دی‌اکسید کربن در اتمسفر و پیامدهای 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 برنامه‌ریزان بخش انرژی با انجام مطالعات ساختاری، جایگزینی حامل‌های انرژی، حرکت به سوی سوخت‌های پاک را در رئوس برنامه‌های خود قرار دهند (فرناز امین صالحی و همکاران^۱، ۱۳۸۸)، صرف منابع تجدید ناپذیر مثل نفت، گاز و زغال سنگ به شدت در حال بالا رفتن است اما بالاخره زمانی می‌رسد که باید به دنبال منبع انرژی تجدیدپذیر مثل انرژی خورشیدی، بادی و یا زمین گرمایی برویم. مهم‌ترین فایده انرژی خورشیدی این است که هیچ آلودگی‌ای تولید نمی‌کند 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، روش‌های مختلفی وجود دارد. معمول‌ترین و پرکاربردترین آن، تولید جریان الکتریسیته از انرژی خورشید به وسیله سلول‌های فتوولتائیک می‌باشد. به پدیده‌ای که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم‌های محرک، الکتریسیته تولید کند پدیده فتوولتائیک^۲ و به هر سیستمی که از این پدیده استفاده کند سیستم فتوولتائیک گویند. در مطالعه‌ای چهار مدل نصب سیستم فتوولتائیک-حرارتی^۳ و سایر دستگاه‌های ساخته شده در برنامه شبیه‌سازی سیستم‌های گذرا با استفاده از نرم افزار ترنسیس^۴ تجزیه و تحلیل می‌شود. تازگی این مطالعه در رویکرد بلند مدت به بهره‌برداری از پانل‌های خورشیدی در شرایط اقلیمی انتخاب شده نهفته است، نتایج نشان داد که نوع سلول مورد استفاده ممکن است تولید انرژی الکتریکی سالانه از پنل‌های 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^۵، ۲۰۲۱). در مطالعه‌ای که در کشور نیجریه انجام شده است بررسی شده است که انرژی یکی از مولفه‌های ضروری برای رشد اجتماعی و اقتصادی جوامع شهری و روستایی در سراسر جهان است. با این حال، کمبود تأمین انرژی یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی جوامع دورافتاده یا محلی می‌باشد. سیستم‌های تولید پراکنده مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، منابع متعارف یا منابع ترکیبی راه‌حل‌های 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 شبیه‌سازی نشان داد که ۶۰ کیلووات پنل خورشیدی، به ترتیب ۸۴۹۲۷ و ۷۵۸۵۹ کیلووات ساعت، بدون و با اثر دما، با

¹ AMINSALEHI

² Photovoltaics

³Photovoltaic-thermal system

⁴TRNSYS

⁵ Herrando



بار الکتریکی برآورده نشده مربوطه ۱۳/۸ و ۱۴/۲ درصد تولید می‌کند. 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 می‌کند 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 می‌باشد، با روش سطح پاسخ از سه جنبه مورد تحلیل قرار گرفته است: اول، یک مدل شبیه‌سازی عددی برای استخراج حرارت با استفاده از گسل‌های نفوذپذیری بالا، دوم، یک مدل جایگزین برای پاسخ سریع بهینه‌سازی سه هدفه پیشنهاد می‌شود تا حد زیادی بار محاسباتی عظیم در بهینه‌سازی مستقیم را کاهش دهد. سوم، یک گروه معقول از اجرای شبیه سازی با روش بهینه طراحی شده و مدل جایگزین، نتایج نشان می‌دهد که طراحی آزمایش و روش سطح پاسخ عملاً می‌تواند جایگزین شبیه‌سازی‌های عددی پیچیده در یک مدل جایگزین شود، بنابراین بار محاسباتی در بهینه‌سازی چند هدفه برای یک سیستم زمین گرمایی خطا را تا حد زیادی کاهش می‌دهد (ژوی و همکاران، 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 شبیه‌سازی مدل ترنسیس با داده‌های تجربی مطابقت بسیار خوبی دارد. میانگین اختلاف بین آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌ها برای اختلاف دما و راندمان کلکتور تقریباً ۱٪ است (المانیا و همکاران، ۲۰۲۲). در پژوهش دیگر انجام شده یک سیستم انرژی هوشمند نوآورانه مبتنی بر انرژی‌های 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 نرم‌افزار ترنسیس ارائه می‌شود. سیستم پیشنهادی برای تامین نیازهای برق، گرمایش و سرمایش برای یک جامعه شهری کوچک به عنوان مطالعه موردی توسعه یافته است. نتایج نشان می‌دهد که این سیستم نه تنها تقاضای الکتریکی سالانه مورد بررسی را تامین می‌کند، بلکه مقدار قابل توجهی توان مازاد تولید می‌کند که می‌تواند برای جبران برخی هزینه‌های 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، ۲۰۲۲). در پژوهش دیگری که در خصوص مصرف انرژی بررسی شده است نشان می‌دهد 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 می‌دهد 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، ۱۴۰۲). در مطالعه دیگری که در این زمینه و در کشور ایران انجام شده است نشان می‌دهد منطقه سیستان، با برخورداری از پتانسیلهایی در حوزه منابع تجدیدپذیر، فرصتهایی برای توسعه پایدار دارد، اهمیت و ضرورت

¹ Zhiwei² AlManea³ Yan Cao⁴ NADEMI



سیاست‌گذاری مناسب در حوزه مدیریت منابع تجدیدپذیر منطقه سیستان، بررسی و تبیین شده است، نتایج نشان می‌دهد از جمله اثرات توسعه انرژی خورشیدی و بادی در این مناطق در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی می‌توان 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^۱، ۱۴۰۲). در پژوهشی دیگری که در این زمینه انجام شده است، بررسی یک سیستم انرژی تجدیدپذیر ترکیبی^۲ و ادغام آن در ساختمان‌ها برای ایجاد ساختمان‌هایی 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 شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بین ۳۵ تا ۴۹ درصد برق مورد نیاز ساختمان‌های هر شهر را می‌توان از طریق پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی تولید کرد و بین ۷۰ تا ۸۸ درصد با ترکیب منابع تجدیدپذیر و هیدروژن قابل احتساب است. (ایزدی و همکاران^۳، ۲۰۲۲). در مطالعه ای دیگر، یک شبکه انرژی در مقیاس جامعه با استفاده از نرم افزار ترنسیس (نرم‌افزار شبیه‌سازی سیستم گذرا) مدل سازی و شبیه‌سازی می‌شود تا تأثیرات سیستم‌های تولید همزمان انتخاب شده بر پارامترهای بحرانی را بررسی کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با تحلیل عوامل کلیدی، مدل تولید همزمان می‌تواند از نظر فنی و اقتصادی در محیط ایزوله امکان پذیر باشد. این مدل به طور موثر از نسبت گرما به توان اجزای جداگانه پیروی می‌کند و با عرضه برق اضافی کمتر، تقاضای انرژی را برآورده می‌کند. این مدل نسبت سهم انرژی تجدیدپذیر بالای ۲۳/۵ درصد را توصیف می‌کند و راندمان کلی بالایی را ارائه می‌دهد که حدود ۱۲/۶ درصد بیشتر از سیستم تولید گرما و برق جداگانه است که منجر به سطح انتشار کم می‌شود که ۳۴/۲ درصد کمتر از سیستم جداگانه تولید می‌شود (سینگ چی و همکاران^۴، ۲۰۱۳). یکی از منابع بسیار کارآمد انرژی های تجدیدپذیر مبدل های حرارتی منبع زمینی است. همچنین، اثرات فاصله بین گمانه‌ها، ویژگی‌های خاک، ضریب هدایت حرارتی دوغاب و آرایش گمانه‌ها 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 می‌دهد 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 می‌شود. همچنین بررسی ویژگی‌های خاک و دوغاب نشان می‌دهد که خواص خاک بر دمای سیال خروجی تأثیر غالب دارد. (علایی و همکاران^۵، ۲۰۲۱). در مطالعه ای دیگر، یک شبیه‌سازی توسط نرم افزار ترنسیس را برای ارزیابی عملکرد سیستم گرمایش آب خورشیدی مورد استفاده برای گلخانه‌ها با توجه به آب و هوای کشور تونس ارائه می‌کنند. در طول شبیه‌سازی، تمامی ترکیب‌های ممکن از دو کلکتور خورشیدی (سری و موازی) بررسی می‌شوند. پارامترهایی که بر سیستم ذخیره‌سازی تأثیر می‌گذارند، مانند نرخ جریان ورودی، حجم مخزن و سطح کلکتور نیز بررسی می‌شوند. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که با افزایش حجم مخزن، دمای خروجی کلکتور کاهش می‌یابد. علاوه بر این، دبی بالا پدیده طبقه بندی را به حداقل می‌رساند و کارایی سیستم را افزایش می‌دهد. متوجه شدیم که کاهش دبی ورودی مبدل راه حل خوبی برای کاهش تلفات گرمایشی است که می‌تواند دمای هوای داخل گلخانه

¹ YAGHOBI

² Hybrid renewable system

³ Izadi

⁴ Sig Chai

⁵ Alaie



را تا ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش دهد و آن را برای کشاورزی گوجه‌فرنگی مناسب‌کنند (آتار و همکاران^۱، ۲۰۱۳). در تحقیق دیگر انجام شده در این زمینه اصلاح بخار متانول مبتنی بر رادارهای حرکت و نقشه برداری^۲ 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 بهینه‌سازی چندهدفه فرآیند رادارهای حرکت و نقشه برداری در یک راکتور پر از کاتالیزور خورشیدی را نشان می‌دهد. پیش‌بینی‌های روش سطح پاسخ پاسخ سطح شرایط بهینه را با ۱/۱۳ متر، سرعت فضای ساعتی گاز ۴۵/۲۴ و دمای ورودی ۵۰۷/۴ درجه کلوین نشان می‌دهد. محاسبات عددی عملی بودن این شرایط را تأیید می‌کنند و تبدیل متانول واقعی ۰/۹۹۹۸ را به دست می‌دهند. تنها ۰/۱۷٪ از مقدار پیش‌بینی شده انحراف دارد. این کار بر امکان‌سنجی و کارایی مطالعه عملکرد بر اساس روش سطح پاسخ تأکید می‌کند (ژاو و همکاران^۳، ۲۰۲۴). در مطالعه ارائه شده با استفاده از مدل‌سازی ترمودینامیکی و اقتصادی و ابزارهای بهینه‌سازی چند هدفه، سیستم‌های چند نسلی نیرو، سرمایه‌گذاری، گرمایش و هیدروژن را در مناطق ساحلی مورد بررسی قرار داد. با استفاده از روش پاسخ سطح^۴، بهینه‌سازی چندهدفه برای شناسایی منطقه ایده‌آل سیستم فتوولتائیک، راندمان توربین، نقطه پیچش اواپراتور، بازده پمپ و دمای ورودی توربین انجام شد. نرخ هزینه ایده‌آل و راندمان انرژی به ترتیب ۱/۲۹۹ دلار و ۱۹/۱۰۰٪ بود. امکان‌سنجی مازول 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، سرمایه‌گذاری و گرمایش یک ساختمان دو طبقه دو واحدی در طول سال مورد ارزیابی قرار گرفت (عصاره و همکاران^۵، ۲۰۲۳). در کاربرد نانوسیال در سیستم‌های حرارتی فتوولتائیک به طور گسترده به عنوان یک راه حل موثر برای بهبود عملکرد خروجی شناخته‌اند. تازگی این مطالعه در بررسی شرایط عملیاتی بهینه هر خروجی سیستم فتوولتائیک با استفاده از بهینه‌سازی تک هدفه و بهینه‌سازی عملکرد کلی با استفاده از مطالعه چند هدفه است. یک آزمون تجربی برای اعتبار‌سنجی خروجی‌های مدل عددی انجام شد. پس از اعتبار‌سنجی مدل عددی، مدل ترنسیس برای غلظت حجمی ۰/۱۰٪ - ۰/۵۰٪ و جریان جرمی ۶۰-۱۲۰ کیلوگرم در ساعت بررسی شد. سپس داده‌های خروجی برای بهینه‌سازی عملکرد به نرم افزار دیزاین اکسپرت وارد شدند. طرح مرکب مرکزی به عنوان مناسب‌ترین گزینه طراحی فاکتوریل کسری در روش سطح پاسخ انتخاب شد (ماداس و همکاران^۶، ۲۰۲۳). در مطالعه ای دیگر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای 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 تکنیک‌های مدل‌سازی چندهدفه فازی برای پیش‌بینی عملکرد موتور و آلاینده‌های خروجی موتور دیزلی که با مخلوط‌های بیودیزل خوراک سوخت می‌شوند، استفاده شد. برای طراحی آزمایشی از روش سطح پاسخ مرکب مرکزی استفاده شد. نتایج بهینه‌سازی چند هدفه نشان می‌دهد 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 غلظت‌های مختلف انتشار بودند. این نتایج به صورت تجربی تایید شد و خطای نسبی در محدوده ۶/۶۷ ±٪ بود (شافای و همکاران^۷، ۲۰۲۳). در این مطالعه با هدف بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند در آلیاژ Ti-۶Al-۴V با پنج معیار اصلی یعنی میانگین نیروی برش، تنش برشی، انرژی ویژه برش، مصرف توان و متوسط زبری سطح انجام 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 میلی‌متر بر اساس طرح پاسخ سطح انجام شد. ماتریس روش سطح

¹ Attar

² Movement and mapping radars

³ Zhao

⁴ Response Surface Methodology

⁵ Assareh

⁶ Madas

⁷ Shafay



پاسخ تحت سرمایه‌های 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 (سولتان و همکاران^۱، ۲۰۲۳). در این تحقیق مصرف انرژی در گلخانه‌ها و ساختمان‌های مسکونی مورد توجه فزاینده‌ای 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 پدیده‌های 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^۲، 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^۳، 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 (زابنسگورا و همکاران^۴، 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 ^{cchp} 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 روش سطح پاسخ مورد آزمایش قرار می گیرد، در این روش با استفاده از

¹ Sultana

² Chargui

³ Salameh

⁴ Żabnieńska-Góra

⁵ Combined Cooling Heat and Power



یک سری آزمایش به روش سطح پاسخ و آنالیز آن در نرم افزار ترنسیس^۱ 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 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 وقابل تحلیل می باشد.

مواد و روش‌ها

طراحی دقیق سیستم های موازی شامل پنل های خورشیدی و دستگاه تولید پراکنده^۲ 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 داده‌ها: 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،

¹Transys

² 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 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^۱ انجام شده است، پس از آن خروجی ها مجددا 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 $N_{exp} = 13$ 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 ۱ – اطلاعات ساعت و تعداد افراد حاضر

ردیف	شیفت	ساعت کارکرد	تعداد نفرات	محل فعالیت
۱	یک	۷ الی ۱۶	۸۰۰	۳۱۰ نفر ستادی
				۴۹۰ نفر تولیدی

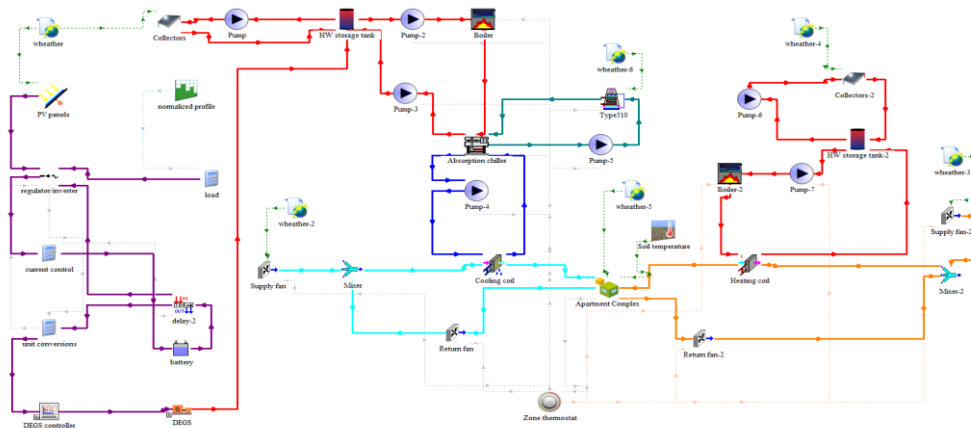
۲	دو	۱۶ الی ۲۴	۳۶۰	تولیدی
۳	سه	۲۴ الی ۷	۳۶۰	تولیدی

جدول ۲ – اطلاعات مکان های تولیدی و ستادی

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

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 TRNSY

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 آماری جهت بهینه سازی یک پاسخ خاص، در محلی که پاسخ تحت تاثیر فاکتورهای متعددی باشد، استفاده می شود (گوستاو و همکاران^۱، ۲۰۱۸)

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، β ها ضرایب مجهول استفاده شده هستند که با تحلیل رگرسیون بدست خواهند آمد.

بهینه‌سازی 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، با معادله ۲ محاسبه می شود، یعنی برای بدترین حالت ممکن، مقدار عددی تابع مطلوبیت صفر است، در حالی 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^۲، ۲۰۱۸).

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

de_i مطلوبیت پاسخ i ام و N_r 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

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

¹ Gustavo

² Gustavo



(۳)

N_t تعداد مراحل زمانی در حل عددی برای کل مدت زمان شبیه‌سازی است. PC مصرف انرژی برحسب 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:

$$ANGC = \frac{\sum_{i=1}^{N_t} (\dot{m}_f c_f (T_{set} - T_{f,in}) \cdot f_{boiler})}{\eta_{boiler} LHV} \quad (۴)$$

η_{boiler} بازده دیگ و LHV ارزش حرارتی پایینی گاز طبیعی مصرفی است.

کل مصرف سوخت cchp

مصرف کل سوخت cchp بر اساس تعداد سیستم‌های 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:

$$TDC = N_{DEGS} \times (a + bX) \quad (۵)$$

مدل‌سازی 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 شاخص‌های مهم مالی می‌باشد که در تحلیل پروژه‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص فوق نشان‌دهنده مدت زمان لازم جهت سرمایه‌گذاری اولیه سرمایه‌گذاری به صورت نقدینگی به سرمایه‌گذاری برگردد. یعنی مدت زمانی که صرف می‌شود تا جریان نقدی ناخالص پروژه، سرمایه اولیه سرمایه‌گذاری را تامین کند. بازگشت سرمایه را می‌توان به صورت زمانی که سرمایه اولیه سرمایه‌گذاری به تعداد دوره‌هایی که درآمد ناخالص سالانه پروژه با جریان نقدی ناخالص سالانه برابر می‌شود، تعریف کرد. به عبارت دیگر، زمانی که مجموع جریان نقدی ناخالص دریافتی برابر یا بزرگتر از سرمایه اولیه سرمایه‌گذاری شود.

هزینه نگهداری و تعمیرات

^۱Payback period



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:

$$M_T = m_e - (m_p + m_c) \quad (۶)$$

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:

$$E_T = E_p + E_c \quad (۷)$$

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:

$$E_s = E_{ppr} + E_t \quad (۸)$$

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

$$C_e = E_s + C_t \quad (۹)$$

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.

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



(۱۰)

در رابطه بالا E_T برق تولیدی از پنل خورشیدی، A_p مساحت پنل خورشیدی بر حسب متر مربع، عدد $1/82$ 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:

(۱۱)

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

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:

$$ENV = (E_{ave} \times 218 \times 0.417) \quad (12)$$

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 $0/417$ 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 بهینه‌سازی

دو عامل مستقل، مساحت پنل‌های 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 $35/7$ درجه طراحی شده است. شیب و مقدار فضای سقف در دسترس، حداکثر 24000 متر مربع می باشد، به همین علت حد بالای تغییرات عامل‌ها، 24000 در نظر گرفته شده است. در ضمن حد پایین نیز صفر که نشانده دهنده زمانی می باشد که هیچ پنلی استفاده نشود. بنابراین بازه بهینه سازی در خصوص عامل مساحت پنل‌های خورشیدی از 0 تا 24000 متر مربع می باشد. بازه تغییرات عامل دوم نیز یعنی توان cchp از 0 تا 3000 کیلو وات در نظر گرفته شده است، آبگرم تولیدی نیز جهت پیشایش گرمایش دیگ ابگرم جهت پشتیبانی چیلر جذبی استفاده می شود (درینگر و همکاران، ۱۹۸۰)

جدول ۳ – دامنه تغییرات عامل‌های در نظر گرفته شده

عامل	دامنه تغییرات	واحد
مساحت پنل‌های خورشیدی	۰ - ۲۴۰۰۰	m^2
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 (یولی لو و همکاران^۱، ۲۰۱۰). را پیشنهاد داد. در ضمن طراحی آزمایش و محاسبات سطح پاسخ با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت (مایرز و همکاران^۲، ۲۰۱۸) انجام شد.

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^۳، ۲۰۲۳).

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

Response	Name	Field
R1	Net electricity consumption	energy
R2	Total natural gas consumption	energy
R3	Total diesel consumption	energy
R4	Payback period	economic
R5	Environmental pollutant	environment
R6	Cost of maintenance and repairs	economic
R7	Cost of production line stops	economic

یافته های تحقیق

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.m² 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 ۴ - اطلاعات اقتصادی اعمال شده در آنالیز اقتصادی

مقدار	مشخصه اقتصادی
۴۱.۲٪	نرخ تورم
۱۸٪	نرخ تنزیل
\$ kWh-۱۰.۰۰۳۲۴	تعرفه خرید برق از شبکه
\$ kWh-۱۰.۰۴۴	تعرفه فروش برق به شبکه

¹Li, L. Lu

² Myers

³ Varghese



مقدار	مشخصه اقتصادی
\$ m-۳۰.۰۱۲	تعرفه مصرف گاز طبیعی
ریال ۵۰۰۰۰۰	نرخ تبدیل هر دلار به ریال
۲۰ آبان ۱۴۰۲	تاریخ استعلام اطلاعات

از روش سطح پاسخ جهت بدست آوردن بهترین ترکیب عامل‌های انتخاب شده استفاده می‌شود، مقادیر پیش‌بینی شده توسط روش طراحی آزمایش سطح پاسخ برای عامل‌ها را به گونه‌ای که به سیستم بهینه دست پیدا کنیم، نشان می‌دهد، همچنین، در جدول ۶ که برگرفته از نرم افزار دیزاین اکسپرت می‌باشد 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 می‌ماند. مطلوبیت ترکیبی ۰/۷۲۵ برای جواب بهینه، که نزدیک به جواب ایده‌آل (یعنی $CD = 1$) است، بدست آمد.

جدول ۵ - مقادیر بهینه بدست آمده برای عامل‌های انتخاب شده در بهینه‌سازی

عامل	مقدار بهینه	واحد
مساحت پنل‌های خورشیدی	۱۶۱۴۳.۵	m ^۲
توان دیزل ژنراتور	۲۳۲۸.۲۹	kW

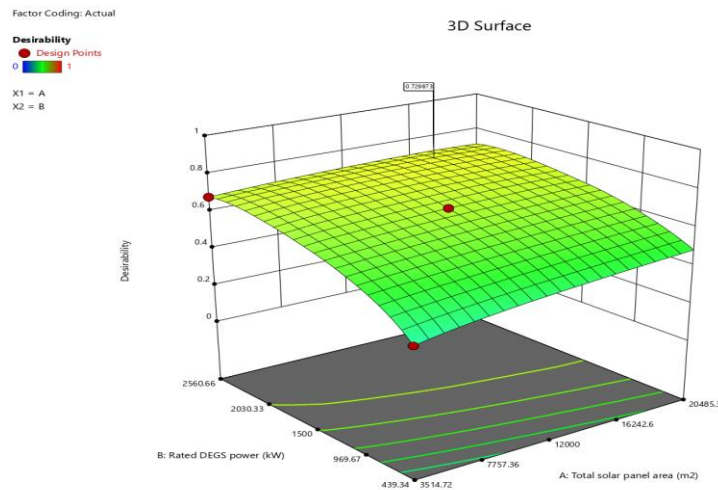
جدول ۶ - مقادیر بدست آمده برای پاسخ‌ها در سیستم بهینه بدست آمده

جنبه‌های انرژی-اقتصادی	پاسخ‌ها	نتایج بهینه	واحد
انرژی	مصرف کل برق	-۱۳۲۷۹۲۰	kWh
	کل مصرف گاز	۵۵۹۴۸۸	m ^۳
	کل مصرف سوخت دیزل	۲۲۲۸۳۰۰	L
اقتصادی	دوره بازگشت سرمایه (PBP)	۲.۲۹	سال
اقتصادی	هزینه نگهداری و تعمیرات	۱۸۱۳	\$
اقتصادی	هزینه توقفات خطوط تولیدی	۴۸۹۱۸۸۰	\$
زیست محیطی	کل تولید آلاینده‌های زیست محیط	۴۸۴۲	kg

آنالیز حساسیت، یک روش تحلیلی است که به ما کمک می‌کند تا درک عمیق‌تری از اثر تغییر هر یک از عوامل انتخابی بر روی پاسخ‌های بهینه سیستم به دست آوریم. در این تحقیق نیز، یک آنالیز حساسیت انجام شده است تا تأثیر عوامل مساحت پنل‌های خورشیدی و توان cchp را بر تابع مطلوبیت بررسی کند. شکل ۴ نموداری است که اثر تغییر عوامل مساحت پنل‌های خورشیدی و توان cchp را بر تابع مطلوبیت نمایش می‌دهد. از نمودار مشخص است که بیشترین مقدار تابع مطلوبیت یا CD برابر با ۰/۷۲۵ است. این نتیجه نشان می‌دهد که با استفاده از ترکیب بهینه از عوامل مذکور، سیستم به یک حالت بهینه (سیستم بهینه) می‌رسد و مقدار تابع مطلوبیت به ۰/۷۲۵ نزدیک می‌شود. این مقدار نزدیک به بیشترین مقدار ممکن تابع مطلوبیت (۱) است. از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که تغییر در عوامل مساحت پنل‌های خورشیدی و توان cchp تأثیر قابل توجهی بر تابع مطلوبیت و عملکرد بهینه سیستم دارد. در واقع، این آنالیز حساسیت به ما نشان می‌دهد که با تنظیم بهینه این عوامل، می‌توان به دست‌یابی به تابع مطلوبیت بالا و نزدیک به حالت ایده‌آل (تابع مطلوبیت برابر با ۱) نزدیک شد. با توجه به این نتایج، می‌توان این تحلیل حساسیت را یک ابزار مفید

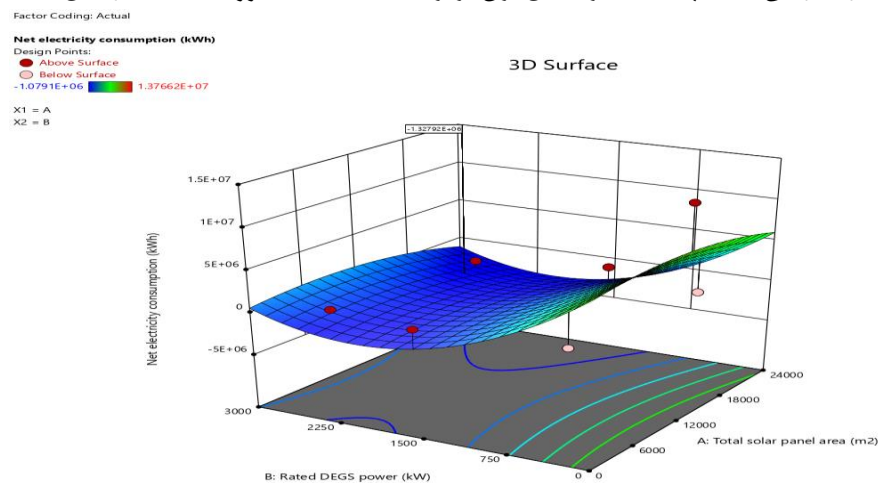


برای بهینه‌سازی سیستم در نظر گرفت. با شناخت دقیق‌تر از تأثیر هر یک از عوامل، می‌توان بهترین ترکیب عوامل را برای حداکثر کردن تابع مطلوبیت و بهبود عملکرد سیستم تعیین کرد. این تحلیل حساسیت به ما امکان می‌دهد تا بهترین تصمیمات را در انتخاب و تنظیم عوامل انتخابی اتخاذ کنیم و عملکرد بهینه را به دست آوریم.



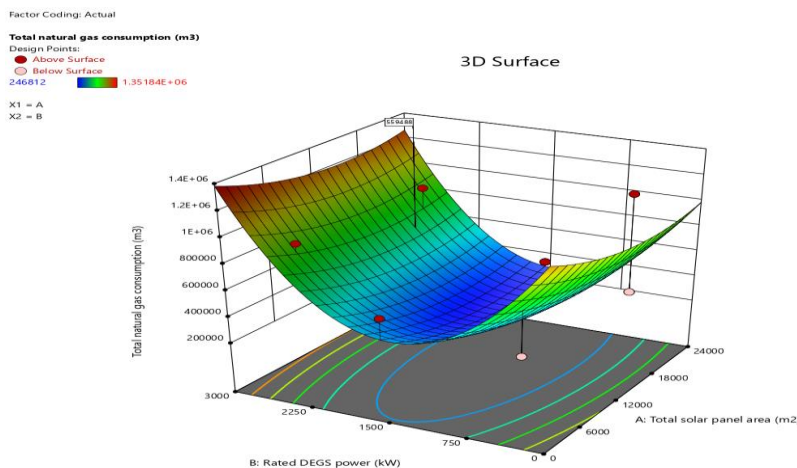
شکل ۴ – اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی تابع مطلوبیت

تأثیر عوامل مساحت پنل‌های خورشیدی و توان cchp بر مصرف کل برق در شکل ۵ که بر گرفته از خروجی نرم افزار دیزاین اکسپرت می‌باشد مشخص شده است، این نمودار نشان می‌دهد 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 می‌یابد. جهت بهینه‌سازی سیستم، از روش طراحی آزمایش (سطح پاسخ) استفاده شده است. بهینه‌ترین 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.



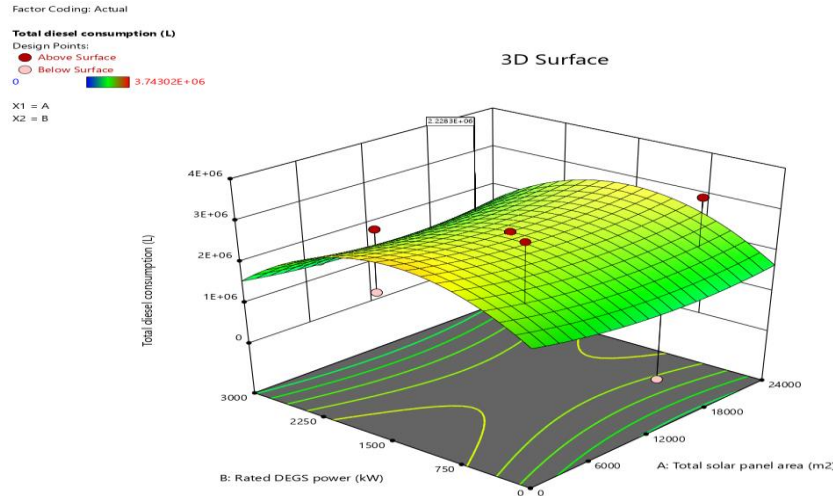
شکل ۵ – اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی مصرف کل برق

تغییر عوامل مساحت پنل‌های 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 کیلو وات منجر به کاهش شدید در مصرف گاز می شود، در این مدل مصرف گاز $۰.۷۷/۴\%$ کاهش می‌یابد، 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.



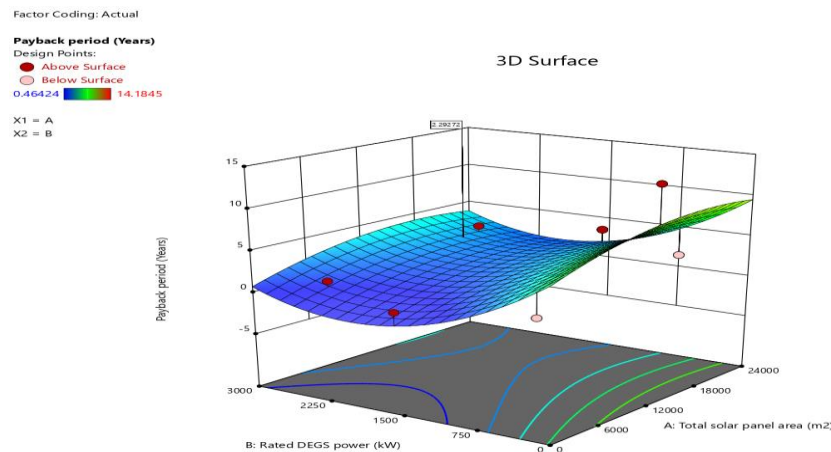
شکل ۶ – اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی کل مصرف گاز

تغییر عوامل مساحت پنل‌های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور چگونه بر مصرف سوخت دیزل تأثیر می‌گذارد 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 امکان پذیر نیست و روند آن‌ها 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 به عنوان 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 تاثیر 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 ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلووات، 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.

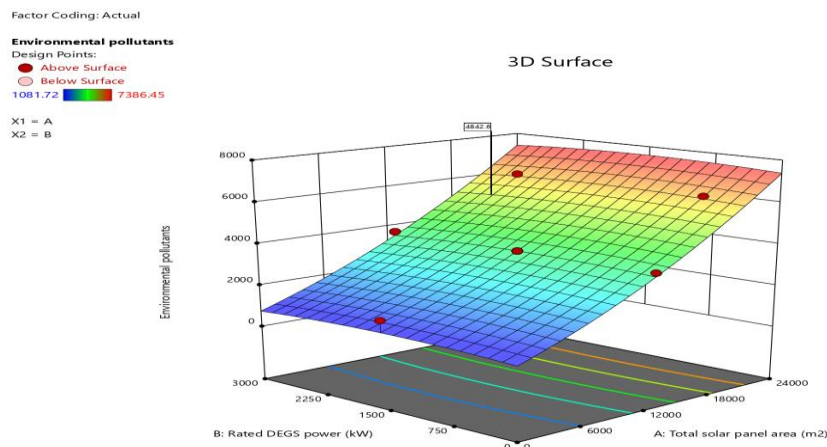


شکل ۸- اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی دوره بازگشت سرمایه

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 بهینه‌سازی با 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

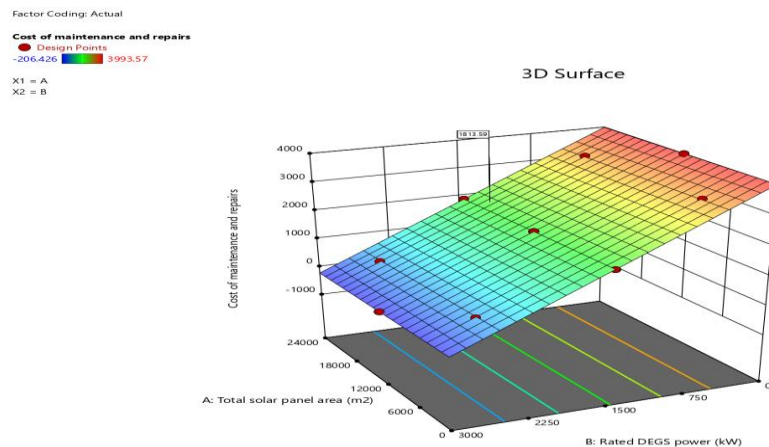


کیلو گرم در سال است، این بدان معنا می باشد که با اجرای این طرح در سال کاهش آلاینده های زیست محیطی محسوس می باشد.



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 تأثیر مستقیم بر روی کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات تجهیزات دارد.

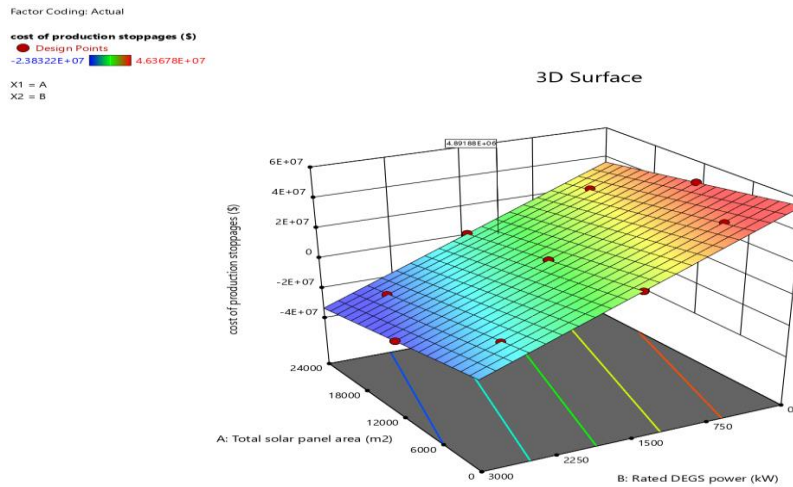


شکل ۱۰ – اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان cchp روی هزینه نگهداری و تعمیرات

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 تاثیر مستقیم بر روی کاهش توقفات و هزینه های مربوط به آن می باشد.



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

بحث و 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 پنل های خورشیدی و cchp در حالت بهینه برابر با ۱۶۱۴۳۳ 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 بهینه‌سازی سیستم، از روش RSM استفاده شده است و نقطه بهینه برای مساحت پنل ها و توان cchp مشخص شده است. در این نقطه بهینه، مصرف کل برق به حداقل می‌رسد و برابر با ۱۳۲۲۷۹۲۰ کیلووات ساعت در سال است. از تحلیل به دست آمده نتیجه گرفته می‌شود که با افزایش توان cchp و مساحت پنل‌های خورشیدی، میزان مصرف کل برق کاهش می‌یابد. با استفاده از توان cchp بهینه و مساحت پنل‌های خورشیدی بهینه، می‌توان مصرف برق را به حداقل رساند و بهینه‌ترین عملکرد را داشت.

- در خصوص میزان مصرف گاز نتایج نشان می‌دهند که نیاز به بهینه‌سازی مقدار توان cchp و تطابق آن با مقدار پنل‌های خورشیدی نصب شده در سیستم وجود دارد. از طریق 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 گاز کلی برابر با ۵۵۹۴۸۸ مترمکعب در سال است. با استفاده از این تحلیل می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات مساحت پنل‌های خورشیدی و توان cchp تأثیر قابل توجهی بر مصرف گاز سیستم و مجموعه دارد. با بهینه‌سازی این عوامل، می‌توان مصرف گاز را به حداقل رساند و بهینه‌ترین عملکرد را داشت.



- در خصوص میزان سوخت cchp 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 دیزل بیشتر است. در نقطه بهینه، مصرف کلی سوخت دیزل برابر با ۲۲۲۸۳۰۰ لیتر در سال است. از این تحلیل می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات مساحت پنل‌های خورشیدی و توان cchp تأثیر قابل توجهی بر مصرف سوخت دیزل دارد. با بهینه‌سازی این عوامل، می‌توان مصرف سوخت را کاهش داد و بهینه‌ترین عملکرد را داشت.
- در این نقطه بهینه، دوره بازگشت سرمایه برابر با ۲/۲۹ سال است. این تحلیل نشان می‌دهد که تغییرات مساحت پنل‌های خورشیدی و توان cchp تأثیر قابل توجهی بر دوره بازگشت سرمایه دارد. با بهینه‌سازی این عوامل، می‌توان دوره بازگشت سرمایه را به حداقل رساند و بهینه‌ترین عملکرد را داشت. این بهبود در دوره بازگشت سرمایه می‌تواند با تغییرات در مساحت پنل‌های خورشیدی و توان cchp دستیابی به نقطه بهینه را فراهم کند.
- نتایج در درخصوص 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 هزینه‌های توقفات خطوط تولیدی برابر با ۴۸۹۱۸۸۰ دلار در سال می‌باشد.
- از تحلیل نتایج می‌توان نتیجه گرفت که سیستم بهینه ترکیبی با cchp و پنل‌های 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) می‌باشد. این سیستم توانایی تولید برق اضافی را در برخی اوقات نشان می‌دهد که می‌تواند به شبکه برق عمومی فروخته شود. با توجه به نتایج بدست آمده در تحقیق انجام شده مواردی به عنوان پیشنهاد برای مطالعات آینده معرفی می‌شود: پیشنهادات آتی شامل: مطالعه تأثیرات شبکه‌های هوشمند بر بهره‌وری 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.

منابع

- Alaie, O., Maddahian, R., & Heidarinejad, G. H. (2021). Investigation of thermal interaction between shallow boreholes in a GSHE using FLS-STRCM model. *Renewable Energy*, 175(18), 1137-1150. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.073>
- AlManea, A., Hakim, T., Kadhim, A., & 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*, 117(21), 10-28. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2022.100189>
- 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*, 281(52), 112-125. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128309>
- 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*, 70(19), 163-173. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.02.017>



- Chai, D., John, Z., & Nathwani, W. (2013). Simulation of cogeneration within the concept of smart energy networks. *Energy Conversion and Management*, 75(15), 453-465. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.045>
- Chargui, R., Sammouda, H., & Farhat, A. (2012). Geothermal heat pump in heating mode: Modeling and simulation on TRNSYS. *International Journal of Refrigeration*, 35(7), 1824-1832. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.06.002>
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 214-219. <https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968>
- 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. *Expert Systems with Applications*, 275(10), 468-471. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.05.024>
- 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*, 260(15), 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115593>
- Komar, P., & Adon, H. (2021). Long-term performance analysis using TRNSYS software of hybrid systems with PV-T. *Energy*, 14(21), 14-21. <https://doi.org/10.3390/en14216921>
- 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*, 84(12), 2085-2095. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.09.006>
- Madas, S., Narayanan, R., & Gudimetla, R. (2023). Single and multi-objective optimization of PVT performance using response surface method using CuO nanofluid. *Solar Energy*, 263(82), 52-68. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111952>
- Nadami, Y., & Dalvandi, M. (1402). The role of globalization in the relationship between energy consumption and economic growth. *Green Development Management Studies*, 1(3), 20-35. https://gmd.birjand.ac.ir/article_2433.html (in Persian)
- Salameh, T., Alkhalidi, R., Hussien Rabaia, 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. *Renewable Energy*, 275(10), 468-471. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.07.121>
- 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*, 12(30), 13-24. <https://civilica.com/doc/92231> (in Persian)
- Sarabia, L., & Ortiz, M. (2009). Response surface methodology (Volume 1). Pages 345-390. <https://doi.org/10.1016/B978-044452701-1.00083-1>
- 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*, 275(10), 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*, 9(7), 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17671>
- Varghese, E., & Hemavathi, M. (2023). Design expert software for RSM and ME: Overview, design generation and analysis. <http://eprints.cmfri.org.in/17377/>
- Yan, C., Hayder, A., Dhahad, H., Togun, A. S., & El-Shafay, A. (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*, 76(21), 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103425>



- 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*, 2(2), 124-151. https://gmd.birjand.ac.ir/article_2779.html (in Persian)
- Żabnieńska-Góra, A., Khordehghah, N., & Jouhara, N. (2021). Annual PV/T system performance analysis for the heat demand of a low-energy single-family building. *Renewable Energy*, 275(10), 468-471. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.123>
- 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*, 300(15), 86-79. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117986>
- Zhiwei, Y., & Wang, J. G. (2024). A multi-objective optimization approach for a fault geothermal system based on response surface method. *Geothermics*, 117(21), 10-28. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102887>