



Optimization of solar heating system for heating urban spaces and domestic water heating

Rahim Zahedi^{1*}  | Hossein Yousefi² | Melika Asgharzadeh³ | Fatemeh Shams⁴ | Sareh Daneshgar⁵ | Sahand Heidary⁶ | Abolfazl Ahmadi⁷

1. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Energy Governance, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: rahimzahedi@ut.ac.ir
2. Professor, Department of New Energy and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: hosseinyousefi@ut.ac.ir
3. BSc in Medical Engineering, Azad University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: melika.as.2000@gmail.com
4. PhD in Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Semnan, Iran. Email: fatemehshams@gmail.com
5. PhD in Electrical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran. Email: sareh.daneshgar@yahoo.com
6. MSc in Computer Systems Architecture, Faculty of Computer Engineering, Khajeh Nasir University, Tehran, Iran. Email: sahandhdr@gmail.com
7. Associate Professor, Department of Energy Systems Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. Email: a_ahmadi@iust.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:

Received 21 October 2024
Revised 20 November 2024
Accepted 20 December 2024
Published Online 04 January 2025

Keywords:

Residential Solar System,
Energy Optimization,
Urban Space Heating,
Solar Water Heater,
Renewable Energy Efficiency.

ABSTRACT

With the industrialization of countries and the increase in urban population, humanity has an urgent need for energy. Over the past few decades, to address this necessity, humans have increasingly relied on fossil fuels. This reliance has resulted in the emission of greenhouse gases into the Earth's atmosphere, leading to global warming. Consequently, numerous natural hazards, such as climate change and the endangerment of habitats, have arisen. Two major concerns regarding fossil fuels are their rapid depletion and their significant contribution to global warming. Solar energy, as a renewable, abundant, and inexhaustible resource, offers a viable alternative to fossil fuels, producing considerably less pollution. In this study, we first introduce and analyze a thermal-solar system. Subsequently, using the TRNSYS software and its associated plugins, we model a hybrid thermal-solar system employing a liquid working fluid. Finally, the system is optimized using the GENOPT program, and the results for the optimized system are obtained and discussed.

Cite this article: Zahedi, R.; Yousefi, H. Asgharzadeh, M.; Shams, F.; Daneshgar, S.; Heidary, S. & Ahmadi, A. (2025). Optimization of solar heating system for heating urban spaces and domestic water heating. *Urban Development Policy Making*, 1 (1), 1-17. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.212760.1000>



© Rahim Zahedi, Hossein Yousefi, Melika Asgharzadeh, Fatemeh Shams, Sareh Daneshgar, Sahand Heidary, Abolfazl Ahmadi
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.212760.1000>

1. Introduction

The resources that can currently be used in the distributed energy sector are solar, wind, and geothermal resources, the most important of which are solar and wind. In this article, we will examine solar thermal systems.

2. Background

A solar system is a system that converts the energy of the sun's rays into thermal energy and electricity.

3. Methodology

For this purpose, TRNBUILD software, which is an extension of TRNSYS software, was used, which is applied in TRNSYS software through 56-TYPE. To model the heating load, as shown in Figure 4, a house with dimensions of $10 \times 12 \times 3$ and two windows of dimensions 1.5×2 on the south side and two windows of the same dimensions on the north side (total of 4 windows) was designed in SKETCHUP software and imported into TRNBUILD software. The thickness and materials used in the walls and roof can be seen in Table 1 and Figures 5 and 6.

After modeling the system, it is time for optimization. For optimization, an extension called TRNOPT has been used in the TRNSYS software, which is the interface between the TRNSYS program and the GENOPT optimization program. For optimization, the objective function: the useful energy of the collector and its variable: the collector slope value are considered. The GENOPT program has various capabilities including multi-objective, single-objective, multivariate and univariate optimization and also has various types of optimization methods. In this section, we have used the COORDINATE SEARCH method for optimization.

4. Results and Discussion

In Figure 8, the total solar radiation for a year and in Figure 9, the total solar radiation for each month separately for Tehran can be seen. As you can see, Tehran has good potential for solar systems due to its many sunny days with high solar radiation. By carefully looking at the total solar radiation graphs for each month, it can be seen that the amount of radiation in the summer and spring months is higher than in other months of the year, and this is because in the 6 months of winter and autumn, due to cloudy or rainy weather and bad weather conditions, the amount of solar radiation is minimized.

The total energy produced by 2heaters during a year is 13 MW. The energy produced by 2,1heaters during a year and the comparison of the useful energy of the collector and the energy produced by 2,1heaters during a year are shown in Figures 17 and 18. The total energy produced by the external installation is heater1+heater2 (28 MW).

5. Conclusion

According to the results, it can be said that Tehran has a very high potential for using solar energy in the distributed energy sector, and not only for heating but also for any air conditioning system, even cooling, such as solar absorption chillers. However, according to the results obtained in this article, despite optimizing the collector slope, the system has difficulty in providing the heating load of the urban space, and the combination of the two cycles has even caused a decrease in the efficiency of the solar water heater. For space heating, it is better to use air-based systems, and for hot water consumption, liquid-based systems, because air systems directly heat the return air from the urban space and deliver the same air to the environment, and there is no need for a heat exchanger, and therefore the efficiency of the system increases. For future research, it is suggested that the economic and environmental effects of optimizing solar heating systems on a larger scale, such as commercial and industrial buildings, as well as its integration with other renewable energy sources, be investigated.



بهینه‌سازی سیستم گرمایش خورشیدی جهت گرمایش فضاهای شهری و آبگرمکن خانگی

رحیم زاهدی^{۱*} | حسین یوسفی^۲ | ملیکا اصغرزاده^۳ | فاطمه شمس^۴ | ساره دانشگر^۵ | سهند حیدری^۶ | ابوالفضل احمدی^۷

۱. نویسنده مسئول، استادیار، گروه حکمرانی انرژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: rahimzahedi@ut.ac.ir

۲. استاد، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hosseinyousefi@ut.ac.ir

۳. کارشناسی مهندسی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد، تهران، ایران. رایانامه: melika.as.2000@gmail.com

۴. دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران. رایانامه: fatemehshams@gmail.com

۵. دکتری مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: sareh.daneshgar@yahoo.com

۶. کارشناسی ارشد معماری سیستم‌های کامپیوتری، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه خواجه نصیر، تهران، ایران. رایانامه: sahandhdr@gmail.com

۷. دانشیار، گروه مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. رایانامه: a_ahmadi@iust.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

با توجه به صنعتی شدن کشورها و افزایش جمعیت شهرنشینی، بشر نیاز مبرمی به انرژی دارد. طی چند دهه اخیر، بشر برای تحقق این امر روی به استفاده از سوخت‌های فسیلی آورده که باعث ورود گازهای گلخانه‌ای به جو زمین و افزایش دمای کره زمین شده است که این امر مخاطرات طبیعی بسیاری از جمله تغییر اقلیم آب‌وهوا و به خطر افتادن زیستگاه جانداران را در پی دارد. دو نگرانی عمده در مورد سوخت‌های فسیلی وجود دارد؛ کاهش سریع آن‌ها و سهم آن‌ها در افزایش گرمایش جهانی. انرژی خورشیدی یکی منابع تجدیدپذیر در دسترس و تمام‌نشده است که می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی باشد و آلودگی‌های به مراتب کمتری ایجاد کند. در این مقاله ابتدا به معرفی و بررسی یک سیستم حرارتی - خورشیدی پرداخته شده است. سپس، توسط نرم‌افزار TRNSYS و افزونه‌های آن به مدل‌سازی یک سیستم حرارتی - خورشیدی ترکیبی با سیال کاری مایع پرداخته شده است. در نهایت، با استفاده از برنامه GENOPT سیستم را بهینه‌سازی کرده و نتایج را برای سیستم بهینه به دست آورده و در مورد آن‌ها بحث شده است.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

کلیدواژه:

سیستم خورشیدی خانگی،

بهینه‌سازی انرژی،

گرمایش فضای شهری،

آبگرمکن خورشیدی،

کارایی انرژی تجدیدپذیر.

استناد: زاهدی، رحیم؛ یوسفی، حسین؛ اصغرزاده، ملیکا؛ شمس، فاطمه؛ دانشگر، ساره؛ حیدری، سهند و احمدی، ابوالفضل (۱۴۰۳). بهینه‌سازی سیستم گرمایش خورشیدی جهت گرمایش فضاهای شهری و آبگرمکن خانگی. *سیاست‌گذاری پیشرفت شهری*، ۱(۱) ۱-۱۷.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.212760.1000>

© رحیم زاهدی، حسین یوسفی، ملیکا اصغرزاده، فاطمه شمس، ساره دانشگر، سهند حیدری، ابوالفضل احمدی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.212760.1000>



۱. مقدمه

در این دوره نیاز به انرژی بیش از پیش احساس می‌شود تا حدی که یکی از معیارهای اساسی کشورهای برتر جهان، میزان تولید انرژی و منابع انرژی‌زای آن‌ها است [۱]. با این حال، گرمایش زمین و آسیب‌های زیست‌محیطی، کمبود منابع تجدیدناپذیر و از طرف دیگر آلاینده‌گی بالای این منابع، باعث شده است که جامعه جهانی به سمت استفاده از منابع تجدیدپذیر همچون انرژی باد - خورشید - زمین‌گرمایی - برق‌آبی و ... حرکت کند [۲]. اما این مسئله به‌تنهایی راه حلی برای بحران انرژی و محیط زیست نمی‌تواند باشد. یکی از راه‌کارهای مهم برای تأمین انرژی و کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی، استفاده از انرژی‌های توزیع‌شده است [۳]. طرح‌هایی مانند خانه‌های سبز و خانه‌های مستقل که انرژی مورد نیاز ساختمان در خود ساختمان تأمین می‌شود یکی از این راه‌حل‌ها است [۴]. منابعی که در حال حاضر برای استفاده در بخش انرژی توزیع‌شده می‌توان از آن‌ها استفاده کرد، منابع خورشیدی - بادی و زمین‌گرمایی هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به خورشیدی و بادی اشاره کرد [۵]. در این مقاله به بررسی سیستم‌های حرارتی - خورشیدی می‌پردازیم.

۲. پیشینه تحقیق

یک سیستم خورشیدی به سیستمی گفته می‌شود که انرژی پرتوهای خورشید را به انرژی گرمایی و الکتریسیته تبدیل می‌کند.

۲-۱. انواع سیستم‌های خورشیدی

سیستم‌های خورشیدی به سه دسته کلی PV، PVT و حرارتی - خورشیدی تقسیم می‌شوند [۶]. دسته اول PV یا فتوولتائیک‌ها هستند که از فوتون‌های موجود درون پرتوهای خورشید استفاده کرده و الکتریسیته تولید می‌کنند. دسته دوم حرارتی - خورشیدی هستند که از انرژی گرمایی موجود در پرتوهای خورشید برای مصارف مختلف استفاده می‌کنند. دسته سوم PVT‌ها هستند که ترکیبی از دو دسته قبلی هستند و می‌توانند هم‌زمان از انرژی خورشید، هم گرما و هم الکتریسیته برداشت کنند.

۲-۲. سیستم‌های حرارتی - خورشیدی

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، سیستم‌های حرارتی - خورشیدی از گرمای پرتوهای خورشید برای مصارف مختلف مانند گرمایش فضاهای شهری، گرمایش آب و تأمین گرمای مورد نیاز فرایندهای حرارتی و ... استفاده می‌کنند [۷]. اما توجه ما در این مقاله روی سیستم‌های حرارتی - خورشیدی است که به طور توزیع‌شده می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. در ادامه، به معرفی انواع این سیستم‌ها می‌پردازیم.

۲-۳. انواع سیستم‌های حرارتی - خورشیدی در بخش انرژی توزیع‌شده (خانگی)

سیستم‌های حرارتی - خورشیدی به سه دسته کلی سیستم‌های گرمایش فضاهای شهری، سیستم‌های گرمایش آب و سیستم‌های ترکیبی تقسیم می‌شوند [۸]. سیستم گرمایش فضاهای شهری: از حرارت کسب‌شده از سمت خورشید برای گرمایش فضای داخل و تأمین بار گرمایشی ساختمان استفاده می‌کند.

سیستم‌های آب‌گرمکن [۹]: سیستم‌های آب‌گرمکن نیز برای تأمین آب‌گرم مصرفی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیستم‌های ترکیبی: ترکیبی از هر دو سیستم قبلی است و هم‌زمان گرمایش فضا و آب گرم مصرفی را تأمین می‌کند.

۲-۴. انواع سیستم‌های خورشیدی از نظر سیال کاری

سیستم‌های حرارتی - خورشیدی از نظر سیال کاری نیز به دو دسته هوایی و مایع تقسیم می‌شوند که سیستم مبتنی بر مایع به دلیل کارایی بالاتر بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۵. انواع سیستم‌های حرارتی - خورشیدی با سیال کاری مایع

سیستم‌های مبتنی بر مایع نیز خود به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند [۱۰].

مستقیم: در سیستم مستقیم، آب وارد کالکتور شده، گرم می‌شود و مستقیماً به سمت مصرف می‌رود.

غیرمستقیم: در سیستم غیرمستقیم، آب یا مایع داخل یک سیکل بسته قرار دارد و گرمای کسب‌شده از سیستم خورشیدی را توسط یک مبدل حرارتی به آب مصرفی منتقل می‌کند.

۳. مواد و روش‌ها

۳-۱. اجزای یک سیستم حرارتی - خورشیدی

کالکتور: کالکتور مهم‌ترین بخش یک سیستم حرارتی - خورشیدی است که وظیفه تبدیل انرژی خورشیدی و استخراج گرما از نور خورشید را به عهده دارد.

اجزای کالکتور: صفحه جاذب، قاب، لعاب (پوشش)، عایق، لوله

مخزن ذخیره: وظیفه ذخیره انرژی گرمایی حاصل از کالکتور را به عهده دارد [۱۰].

پمپ: وظیفه پمپ، تأمین دبی و فشار مناسب در سیکل کالکتور است.

سیستم کنترلی: وظیفه این سیستم کنترل پمپ و جلوگیری از اتلاف انرژی الکتریکی است.

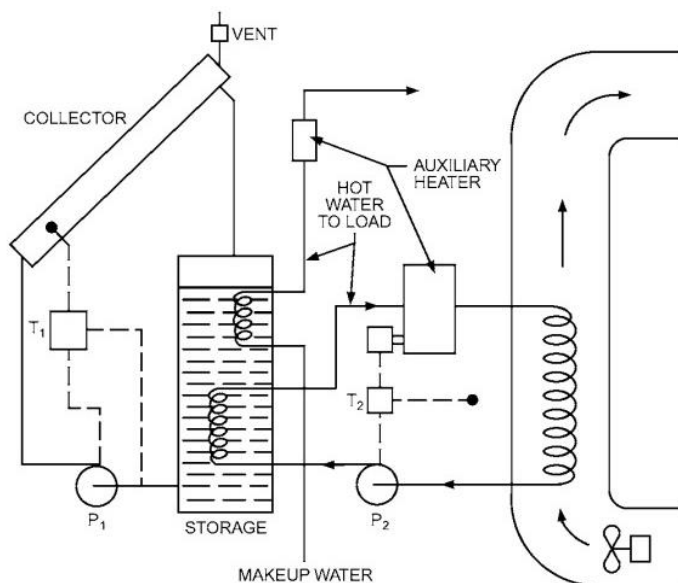
مبدل حرارتی: وظیفه این جزء تبادل حرارت بین تانک و سیکل کالکتور است [۱۱].

تأسیسات گرمایشی خارجی: وظیفه این تأسیسات تأمین انرژی مورد نیاز برای رسیدن دمای محیط یا آب به دمای مورد نظر

است که سیستم خورشیدی قادر به تأمین کل آن انرژی نبوده است.

۳-۲. سیستم حرارتی - خورشیدی با سیال کاری مایع به روش غیرمستقیم

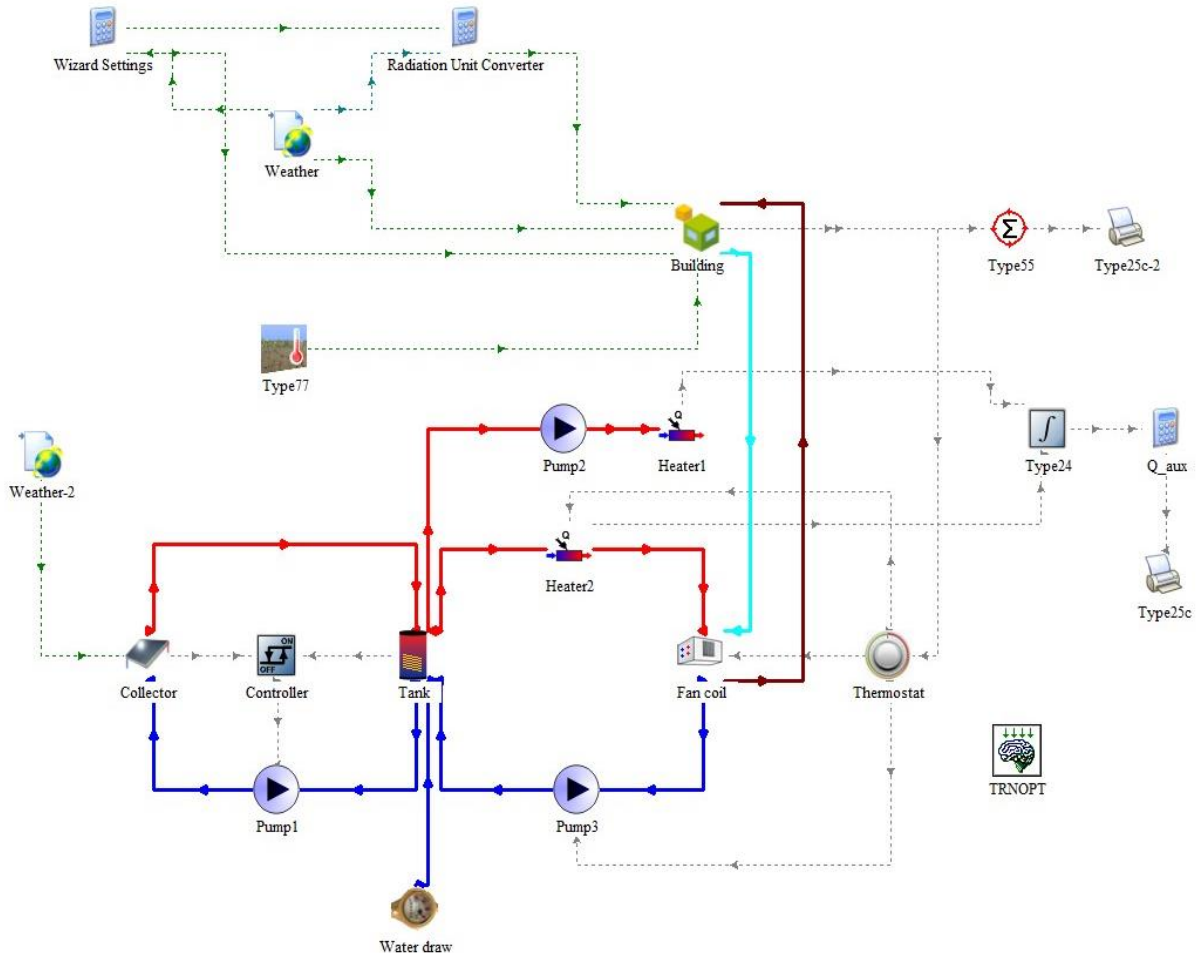
در شکل ۱ شما یک سیستم حرارتی - خورشیدی با سیال کاری مایع به روش غیر مستقیم را مشاهده می‌کنید. در این سیستم ۳ جریان مختلف وارد تانک می‌شوند. جریان اول که سیکل کالکتور است و وظیفه جمع‌آوری انرژی و تحویل آن به مخزن را دارد. جریان دوم آب شهری است که وارد یک مبدل حرارتی درون مخزن شده و با تبادل حرارتی توسط مبدل گرم می‌شود و به سمت بار مصرفی می‌رود. جریان سوم نیز پس از ورود به مبدل حرارتی دوم درون مخزن، گرم می‌شود و به سمت یک فن کویل می‌رود تا گرمایش محیط را تأمین کند.



شکل ۱. نمای از یک سیستم حرارتی - خورشیدی ترکیبی با سیال کاری مایع و غیر مستقیم

۳-۳. مدل سازی سیستم

برای مدل سازی این سیستم از نرم افزار TRNSYS و افزونه های آن استفاده شده است. در شکل ۲ مراحل و اجزای شبیه سازی قابل مشاهده است.



شکل ۲. نمایی از یک سیستم حرارتی - خورشیدی ترکیبی با سیال کاری مایع و غیرمستقیم

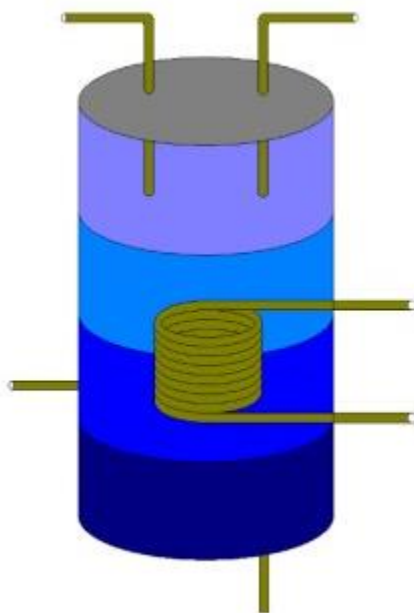
کالکتور

در اینجا برای مدل کردن کالکتور از جزء TYPE-73 استفاده شده است که یک کالکتور صفحه تخت را شبیه سازی می کند. معادله حاکم بر کالکتورهای صفحه تخت که در این جزء از آن برای مدل سازی استفاده شده، عبارت است از:

$$q_u = F R A C [I_t \tau \alpha - U_L (t_i - t_a)]$$

مدل سازی مخزن ذخیره:

برای مدل کردن مخزن از جزء TYPE-156 استفاده شده است. این جزء یک مخزن با ۳ جریان را مدل می کند که یک جریان توسط مبدل حرارتی وارد مخزن می شود و ۲ جریان دیگر به صورت مستقیم وارد مخزن شده و سپس از آن خارج می شوند. در برنامه مقدار انرژی ذخیره شده در مخزن و مقدار اتلاف انرژی توسط این جزء محاسبه می شود.



شکل ۳. مخزن ذخیره با ۳ جریان

پمپ

برای مدل‌سازی پمپ از جزء TYPE-114 استفاده شده است که در ورودی‌های آن مقدار دبی ورودی و خروجی مشخص می‌شود و دارای ورودی سیگنال است که این امکان را به ما می‌دهد که توسط سیستم کنترلی آن را کنترل کنیم.

مدل‌سازی شرایط آب‌وهوایی

در مدل‌سازی و بررسی سیستم‌های خورشیدی، شرایط آب‌وهوایی مهم‌ترین عامل است. به همین دلیل، وارد کردن اطلاعات آب‌وهوایی به شبیه‌سازی لازم است. به منظور این کار از جزء TYPE-15-6 استفاده شده است که اطلاعات آب‌وهوایی استخراج‌شده توسط نرم‌افزار METEONORM را وارد TRNSYS می‌کند.

مدل‌سازی سیستم کنترلی

برای مدل کردن این سیستم از TYPE-165 استفاده شده است. این جزء در ورودی ۲ دمای بالا و پایین را می‌گیرد، با هم مقایسه می‌کند و سیگنال خاموش/روشن را در خروجی می‌دهد.

مدل‌سازی تأسیسات خارجی

برای مدل کردن این بخش از جزء TYPE-6 استفاده شده است که دمای تنظیم دارد تا ناتوانی کالکتور در تأمین انرژی مورد نیاز برای رسیدن سیستم به دمای مورد نظر را جبران کند.

مدل‌سازی فن‌کویل

برای این منظور از جزء TYPE-137 استفاده شده است تا تبادل حرارتی بین هوای برگشتی از فضا و آب سیکل را تأمین کند.

ترموستات

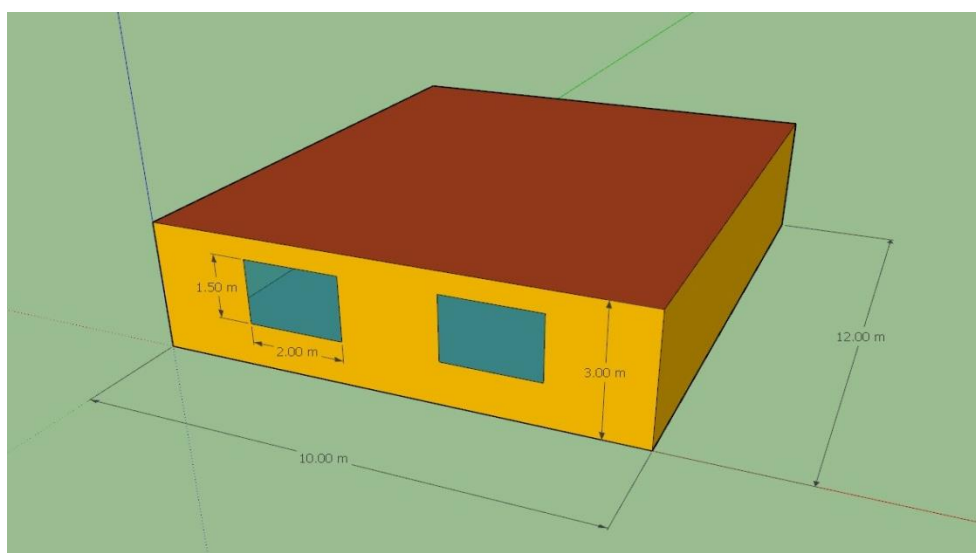
در اینجا ترموستات را با جزء TYPE-166 مدل می‌کنیم. این جزء دمای فضا را با دمای راحتی در فصل زمستان مقایسه کرده و در خروجی خود سیگنال خاموش/روشن ارسال می‌کند (کارکرد فن‌کویل و پمپ و تأسیسات گرمایشی خارجی جریان فن‌کویل را کنترل می‌کند).

مدل سازی آب گرم مصرفی

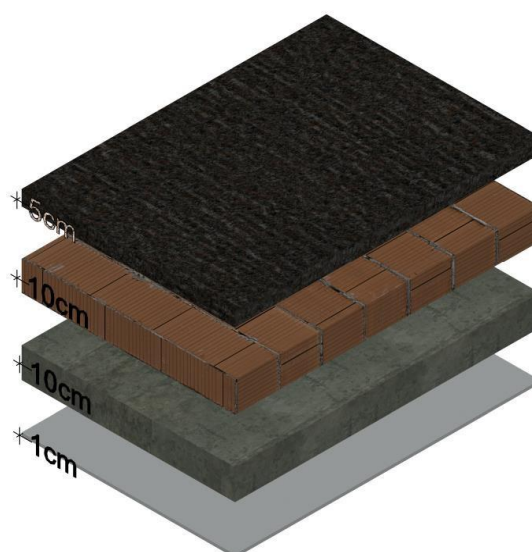
جزء TYPE-14b وظیفه مدل کردن مقدار آب مصرفی را به عهده دارد (شبیه به کنتور عمل می کند). برای محاسبه آب گرم مصرفی فرض شده است که سکنه ۴ نفر هستند و هر نفر به طور متوسط در روز ۳۰ لیتر آب مصرف می کند و خانه در فواصل زمانی ۸ صبح تا ۵ بعد از ظهر خالی است (۱۶ ساعت مصرف آب) که در ساعاتی که افراد خانه هستند به ازای هر ساعت ۵/۷ لیتر به آب مصرفی نیاز است.

مدل سازی بار گرمایشی فضای شهری

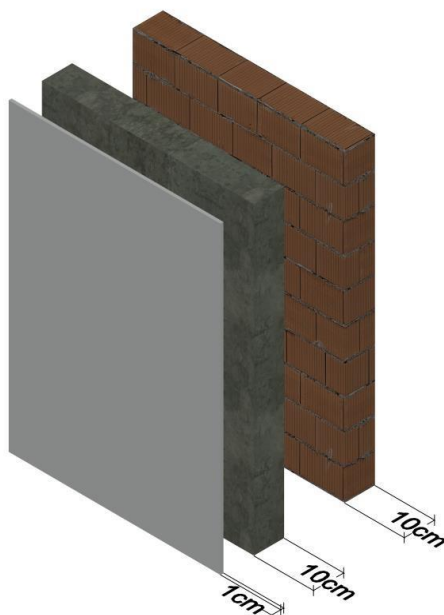
برای این کار از نرم افزار TRNBUILD که یکی از افزونه های نرم افزار TRNSYS است استفاده شده که به واسطه TYPE-56 در نرم افزار TRNSYS اعمال می شود. برای مدل کردن بار گرمایشی، همان طور که در شکل ۴ دیده می شود، یک خانه با ابعاد $3 \times 12 \times 10$ و دو پنجره به ابعاد $2 \times 5/1$ در ضلع جنوبی و دو پنجره با همین ابعاد در ضلع شمالی (در مجموع ۴ پنجره) در نرم افزار SKETCHUP طراحی شده و وارد نرم افزار TRNBUILD شده. ضخامت و مصالح به کاررفته در دیوارها و سقف در جدول ۱ و شکل های ۵ و ۶ قابل مشاهده است.



شکل ۴. خانه شبیه سازی شده در نرم افزار SketchUp



شکل ۵. مصالح به کاررفته در سقف



شکل ۶. مصالح به کاررفته در دیوارها

جدول ۱. خواص فیزیکی و ضخامت مصالح به کاررفته در دیوارها و سقف

مقاومت حرارتی (h.m ² .k/kJ)	چگالی (3kg/m ³)	ظرفیت گرمایی (kJ/kg.k)	ضریب انتقال حرارت (kJ/hr.m.k)	ضخامت (m)	مصالح
-	۱۲۵۰	۱.۱	۱.۵	۰.۰۱	گچ
-	۹۰۰	۰.۸	۲.۴	۰.۱	بتن
-	۲۰۰۰	۰.۹	۴.۸	۰.۱	آجر
-	۱۰۱۰	۱.۸۵	۲.۱	۰.۰۵	ایزوگام
۰.۰۴۴	-	-	-	-	فاصله هوایی

در نهایت بار گرمایشی محاسبه شده در نرم افزار مقدار ۵/۹ KW به دست آمد.

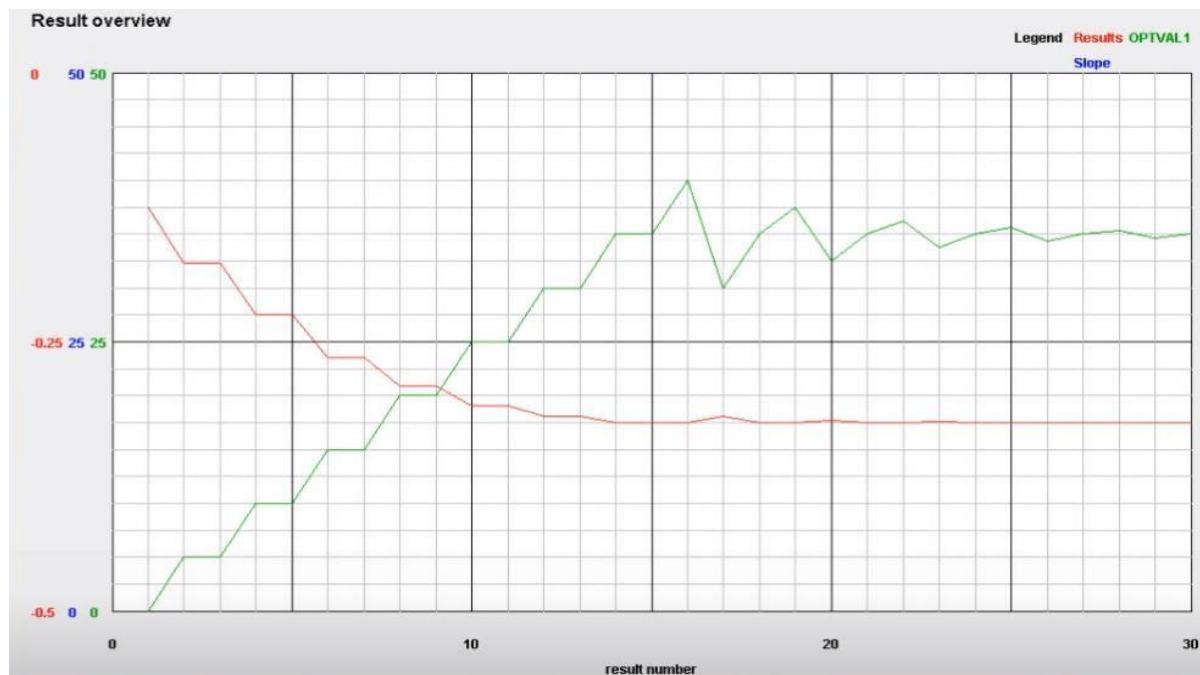
۳-۴. بهینه‌سازی

پس از مدل کردن سیستم زمان بهینه‌سازی فرا می‌رسد. برای بهینه‌سازی در نرم افزار TRNSYS از یک افزونه به اسم TRNOPT استفاده شده که رابط بین برنامه TRNSYS و برنامه بهینه‌سازی GENOPT است. برای بهینه‌سازی، تابع هدف: انرژی مفید کالکتور و متغیر آن: مقدار شیب کالکتور در نظر گرفته شده است. برنامه GENOPT دارای توانایی‌های مختلفی از جمله بهینه‌سازی چندهدفه، تک‌هدفه، چندمتغیره و تک‌متغیره و همچنین، دارای انواع مختلفی از روش‌های بهینه‌سازی است. در این بخش ما از روش COORDINATE SEARCH استفاده کردیم.

شکل ۶- مصالح به کار رفته در دیوارها

روش COORDINATE SEARCH

در این روش ابتدا بازه‌ای برای بهینه‌سازی انتخاب می‌کنیم. (مثلاً برای این مسئله بازه ۰ تا ۹۰ درجه برای شیب کالکتور در نظر می‌گیریم) سپس یک STEP (به عنوان مثال ۵) انتخاب می‌کنیم. برنامه با اندازه ۵ درجه شروع به پیشروی می‌کند تا جایی که تابع هدف شروع به افزایش کند (در این برنامه، بهینه‌سازی بر حسب مینیمم است و برای پیدا کردن حداکثر تابع هدف، آن را در منفی ضرب می‌کنیم و بهینه‌سازی را برای منفی تابع هدف انجام می‌دهیم). بعد از آن، با STEP کوچک‌تری برمی‌گردیم تا جایی که دوباره تابع هدف افزایش یابد و به همین صورت، به قدری بازه بهینه‌سازی را کوچک می‌کنیم تا به یک مقدار یا یک بازه خیلی کوچک برسیم.

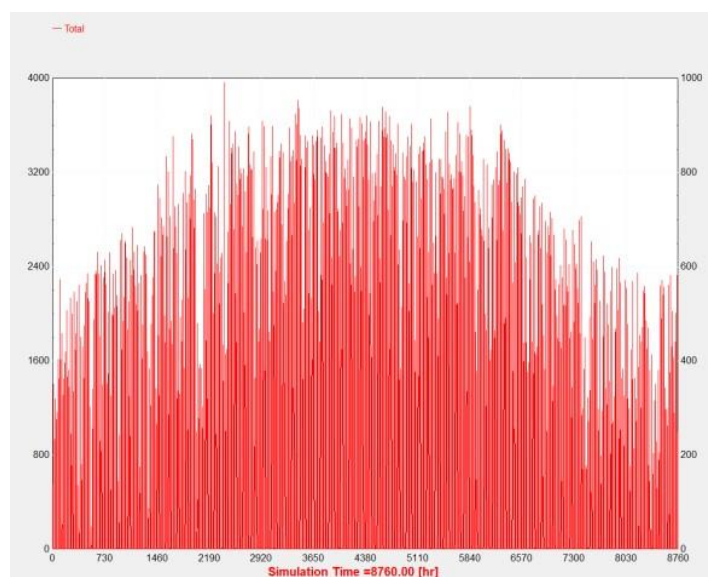


شکل ۷. نمودار بهینه‌سازی

در شکل ۷ نمودار بهینه‌سازی را پس از اتمام مراحل بهینه‌سازی مشاهده می‌کنید که به همگرایی رسیده و جواب این بهینه‌سازی مقدار شیب ۳۵ درجه است. در ادامه، خروجی‌های سیستم حرارتی - خورشیدی با توجه به شیب ۳۵ درجه آمده است.

۴. یافته‌ها

در شکل ۸ میزان تابش خورشیدی کل برای یک سال و در شکل ۹ میزان تابش خورشیدی کل برای هر ماه به صورت جداگانه برای شهر تهران قابل مشاهده است. همان‌طور که می‌بینید، شهر تهران به علت روزهای خورشیدی فراوان با تابش خورشیدی زیاد دارای پتانسیل مناسبی برای سیستم‌های خورشیدی است. با دقت به نمودارهای تابش خورشیدی کل برای هر ماه می‌توان دریافت که مقدار تابش در ماه‌های تابستانی و بهار بیشتر از ماه‌های دیگر سال است؛ به این دلیل که در ۶ ماه زمستان و پاییز به علت ابری یا بارانی بودن هوا و شرایط بد جوی میزان تابش خورشید به حداقل می‌رسد.

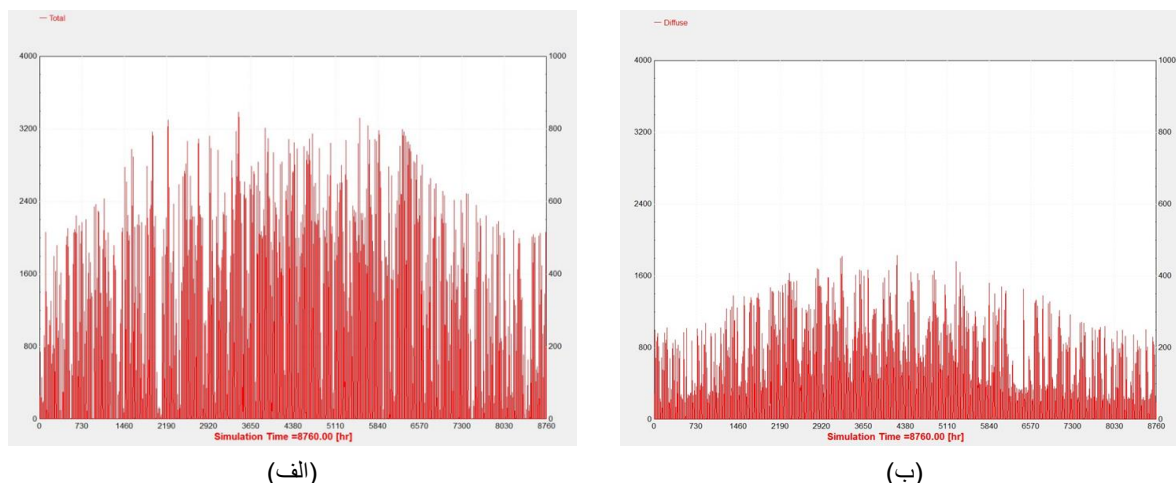


شکل ۸. تابش خورشیدی کل طی سال



شکل ۹. تابش خورشیدی کل در سال

در شکل ۱۰- ب میزان تابش خورشیدی پراکنده طی یک سال برای شهر تهران قابل مشاهده است. تابش خورشیدی پراکنده مجموع تابش‌های پراکنده شده توسط جو و آسمان و انعکاس پرتوهای برخوردی با زمین و سطوح مختلف است. در شکل ۱۰- الف میزان تابش پرتوهای خورشیدی را برای شهر تهران مشاهده می‌کنید. تابش پرتوهای خورشید شامل پرتوهایی می‌شود که بدون پراکنده شدن به سطح می‌رسند. تابش خورشیدی کل نیز مجموع تابش پرتوهای خورشید و تابش خورشیدی پراکنده است.

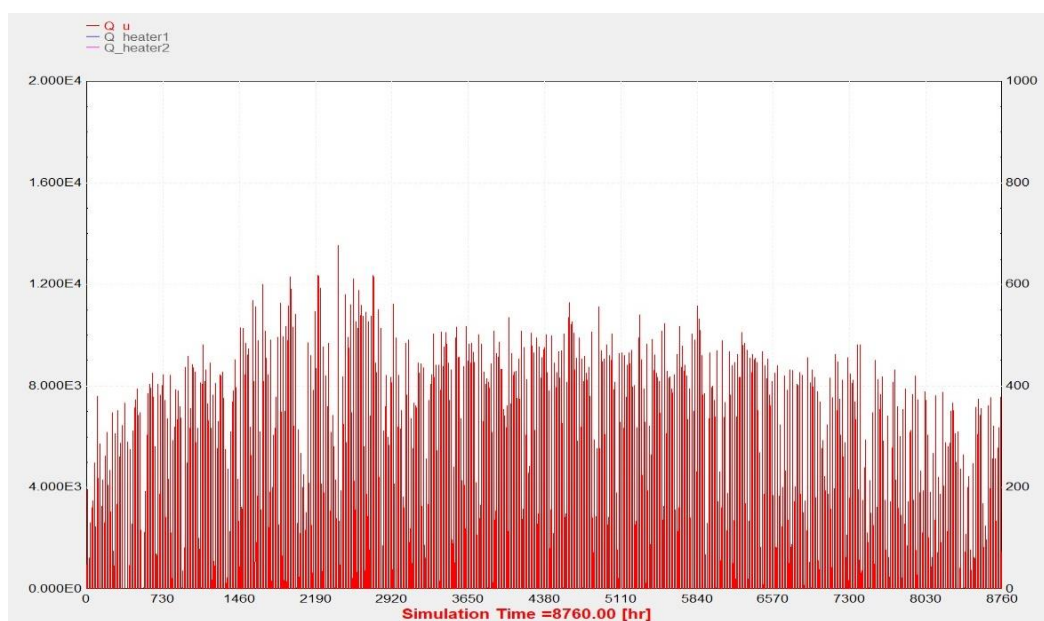


(الف)

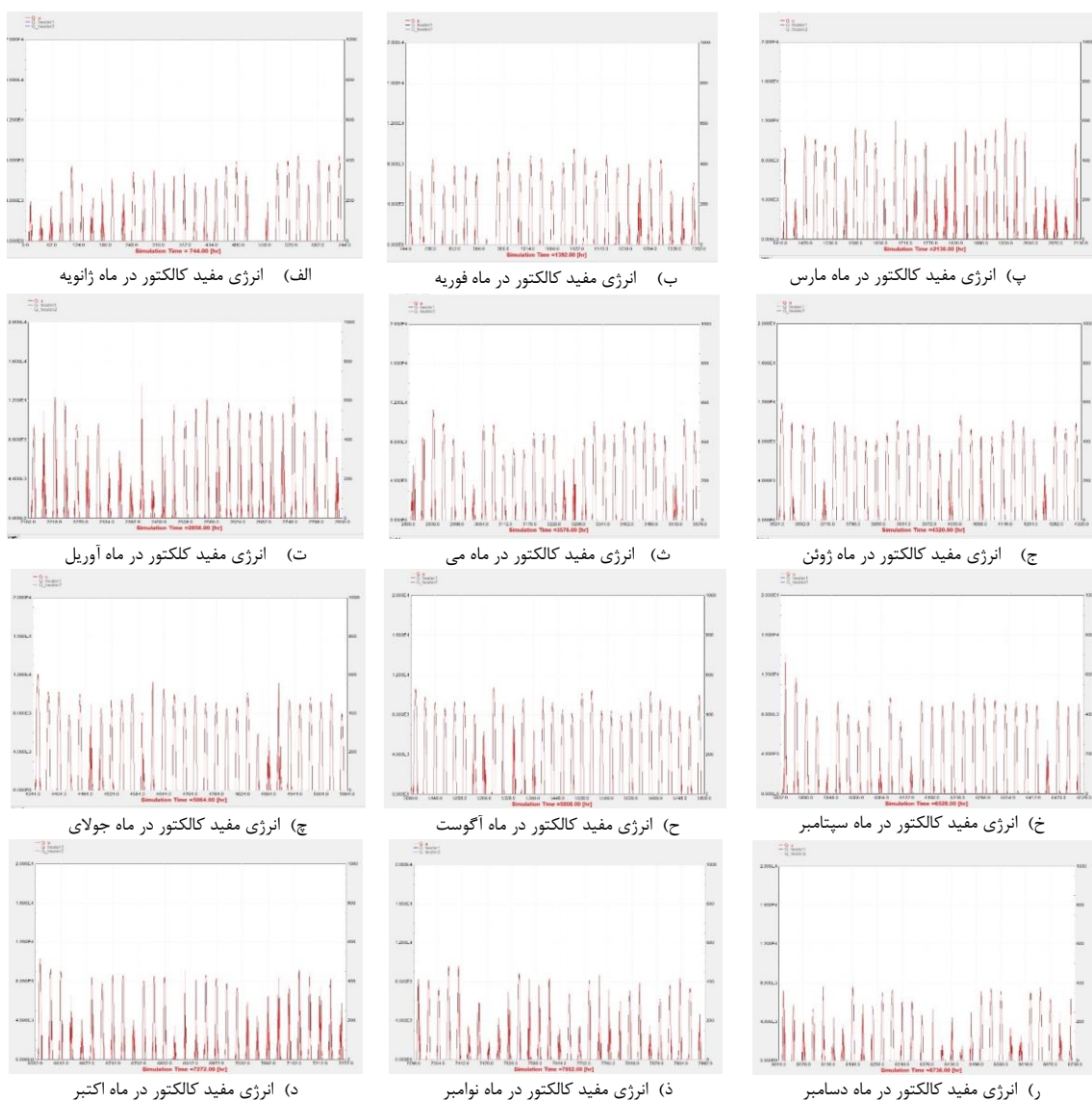
(ب)

شکل ۱۰. الف) تابش پرتوهای خورشید طی یک سال، ب) تابش خورشیدی پراکنده طی یک سال

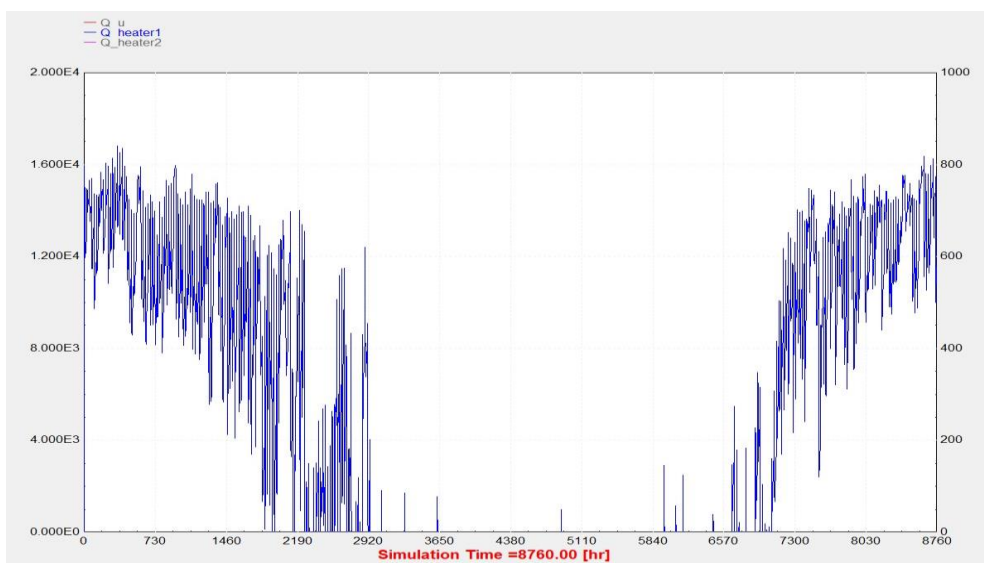
پس از اعمال کردن شیب ۳۵ درجه به کالکتورها نتایج زیر توسط برنامه گرفته شده است. شکل ۱۱ انرژی مفید کالکتور را در یک سال و شکل ۱۲ انرژی مفید کالکتور در هر ماه را به صورت جداگانه برای شهر تهران نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده است، میزان انرژی مفید کالکتور در ماه‌های تابستانی و بهاری به‌خصوص تابستانی بیشتر از ماه‌های پاییزی و زمستانی است. علت این امر، تابش بیشتر خورشید در ماه‌های تابستانی و بهاری است و بهینه‌سازی شیب کالکتور نیز باعث شده است که کالکتور با بهترین زاویه این تابش‌ها را دریافت کند. در شکل ۱۳ میزان انرژی تولیدشده توسط heater_۱ را طی سال مشاهده می‌کنید. با دقت به شکل می‌توان متوجه شد که سیستم خورشیدی طراحی شده برای آب گرم مصرفی در ماه زمستان نیاز به انرژی خارجی بیشتری نسبت به ماه‌های تابستان برای گرمایش آب دارد که آن هم به علت حداقل بودن تابش خورشیدی در زمستان است. اما در فصل‌های تابستانی و بهاری می‌توان گفت که سیستم بدون هیچ کمکی توانسته انرژی گرمایی مورد نیاز برای آب گرم مصرفی را تولید کند. مقایسه انرژی مفید کالکتور و انرژی تولیدشده توسط heater_۱ طی یک سال در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



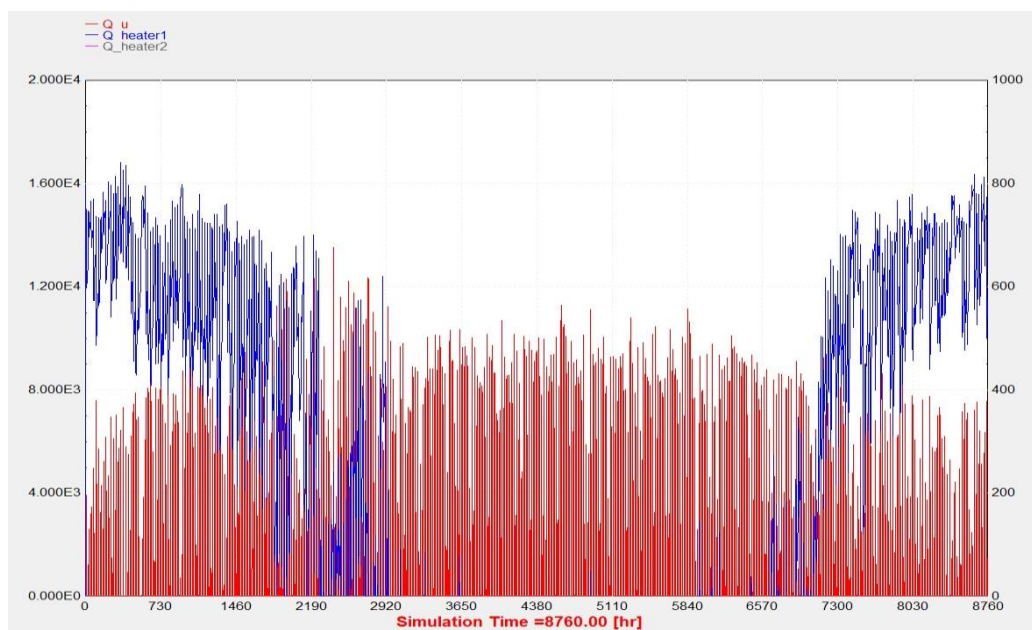
شکل ۱۱. انرژی مفید کالکتور طی یک سال



شکل ۱۲. انرژی مفید کالکتور در سال

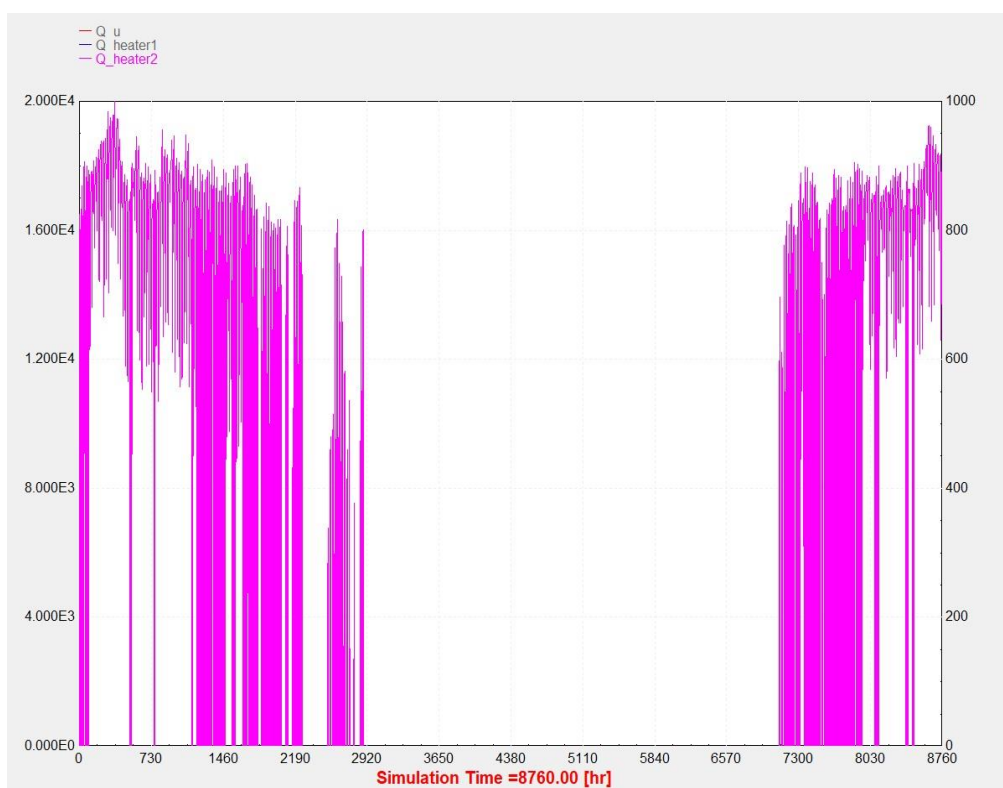


شکل ۱۳. انرژی تولیدشده توسط heater ۱ طی سال

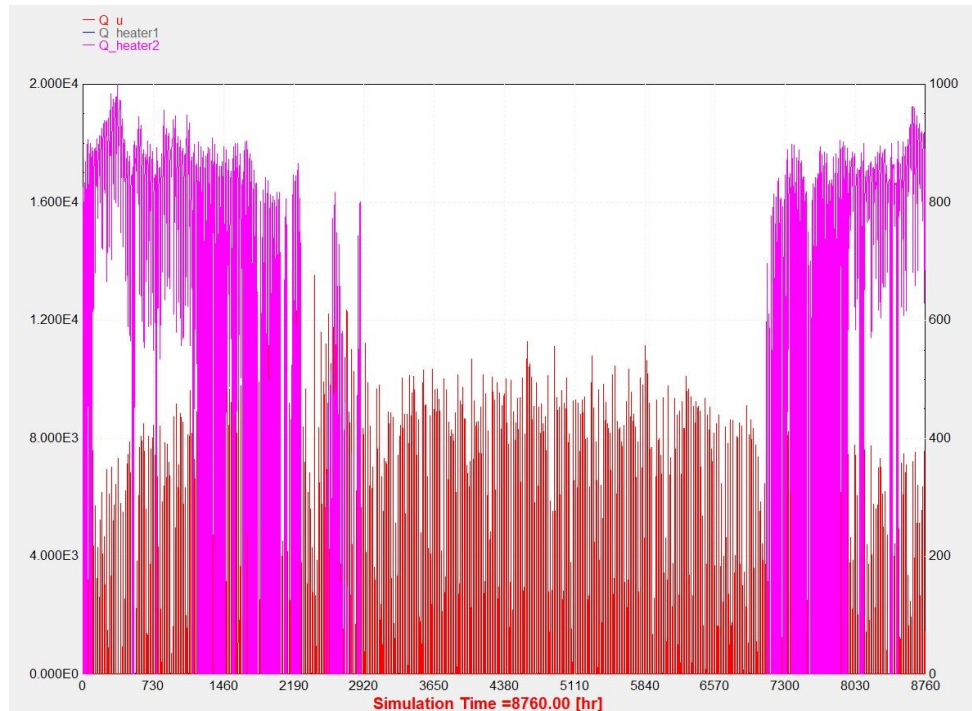


شکل ۱۴. مقایسه انرژی مفید کالکتور و انرژی تولیدشده توسط heater^۱ طی یک سال

مجموع انرژی تولیدشده توسط heater^۱ در یک سال ۱۵ MW است که در مجموع طی شب و مواقعی که سیستم خورشیدی توان تأمین انرژی گرمایی مورد نظر برای رساندن آب به درجه مطلوب را ندارد استفاده شده است. در شکل ۱۵ میزان انرژی تولیدشده توسط heater^۲ طی سال و مقایسه انرژی مفید کالکتور و انرژی تولیدشده در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود.

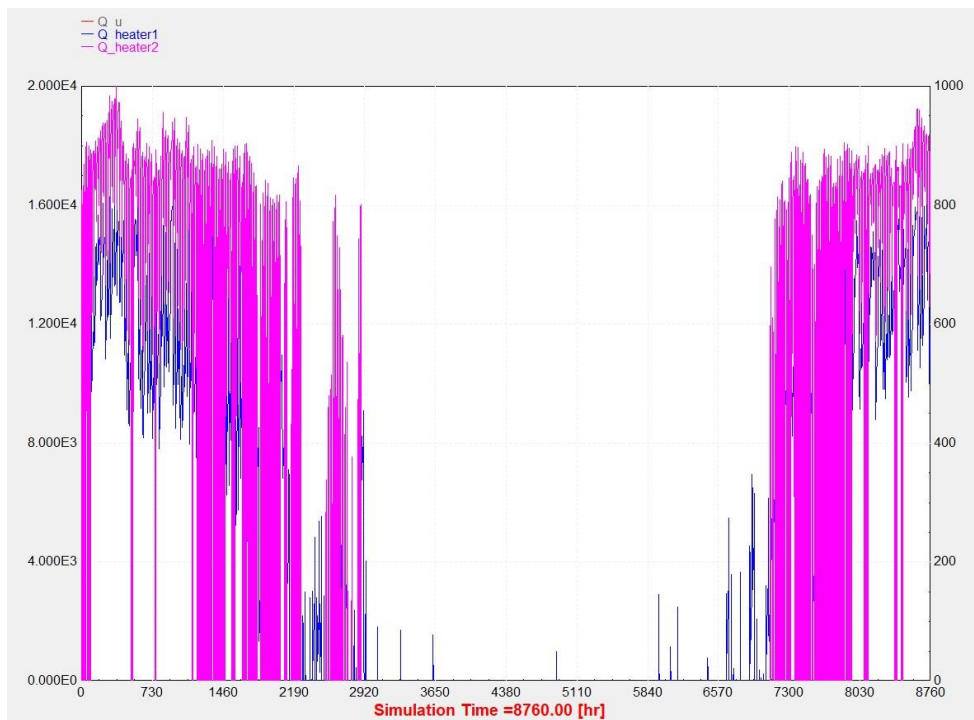


شکل ۱۵. مقایسه انرژی مفید کالکتور و انرژی تولیدشده توسط heater^۱ طی یک سال

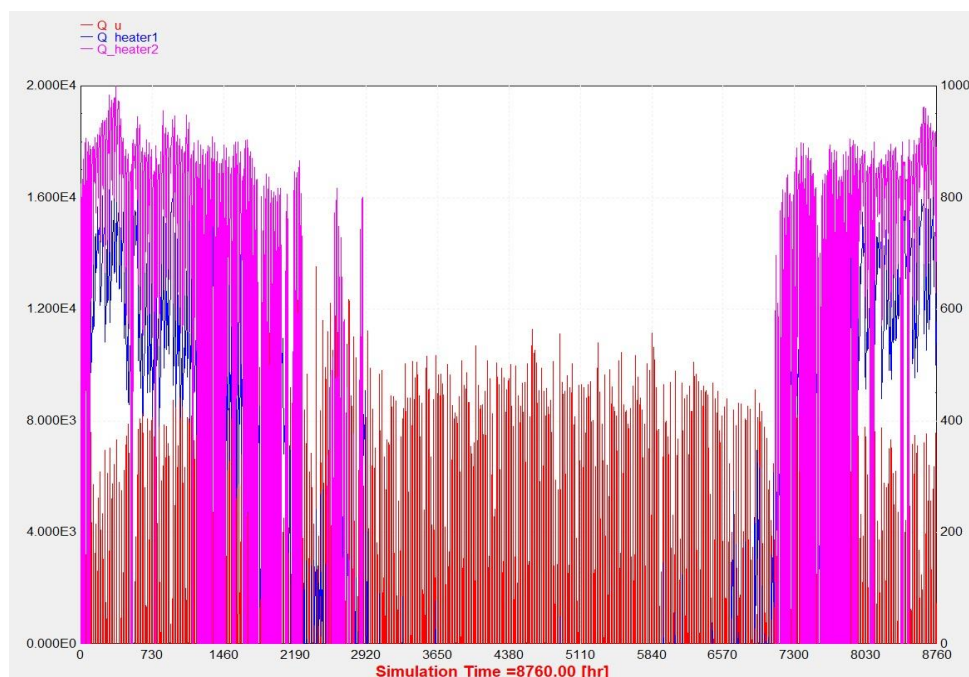


شکل ۱۶. مقایسه انرژی مفید کالکتور و انرژی تولیدشده توسط heater2 طی سال

مجموع انرژی تولیدشده توسط heater2 طی یک سال ۱۳ MW است. انرژی تولیدشده توسط heater2،۱ طی سال و مقایسه انرژی مفید کالکتور و انرژی تولیدشده توسط heater2،۱ طی سال در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ نشان داده شده‌اند. مجموع انرژی تولیدشده توسط تأسیسات خارجی (heater1+heater2) 28MW است.



شکل ۱۷. انرژی تولیدشده توسط heater2،۱ طی سال



شکل ۱۸. مقایسه انرژی مفید کالکتور و انرژی تولیدشده توسط heater_۱ طی سال

۵. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج می‌توان گفت که تهران دارای پتانسیل بسیار بالایی برای استفاده از انرژی خورشیدی در بخش انرژی توزیع‌شده است و نه فقط برای گرمایش، بلکه برای هر سیستم تهویه مطبوعی حتی سرمایشی مانند چیلرهای جذبی - خورشیدی. اما با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این مقاله با وجود بهینه‌سازی شیب کالکتور، سیستم در تأمین بار گرمایشی فضای شهری، دچار مشکل است و ترکیب دو سیکل باعث حتی پایین آمدن کارایی آبگرمکن خورشیدی شده است. برای گرمایش فضا بهتر است از سیستم‌های مبتنی بر هوا استفاده شود و برای آبگرم مصرفی از سیستم‌های مبتنی بر مایع، زیرا سیستم‌های هوایی به صورت مستقیم هوای برگشتی از فضای شهری را گرم می‌کنند و همان هوا را به محیط تحویل می‌دهند و نیازی به مبدل حرارتی نیست و به همین دلیل بازدهی سیستم افزایش پیدا می‌کند. برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود که اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی بهینه‌سازی سیستم‌های گرمایش خورشیدی در مقیاس بزرگ‌تر مانند ساختمان‌های تجاری و صنعتی و همچنین ادغام آن با سایر منابع انرژی تجدیدپذیر مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1. Noorollahi Y, Zahedi R, Ahmadi E, Khaledi A. Low carbon solar-based sustainable energy system planning for residential buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2025;207:114942. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114942>
2. Zahedi R, Abdoos M, Shahee A, Aslani A, Yousefi H. Technical, economic and environmental assessment of carbon capture from thermal power plants and convert it into value added concrete material. *Emergent Materials*. 2024;1-12. <https://doi.org/10.1007/s42247-024-00809-8>
3. Khah MV, Zahedi R, Eskandarpanah R, Mirzaei AM, Farahani ON, Malek I, et al. Optimal sizing of residential photovoltaic and battery system connected to the power grid based on the cost of energy and peak load. *Heliyon*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14414>
4. Antoniadis CN, Martinopoulos G. Optimization of a building integrated solar thermal system with seasonal storage using TRNSYS. *Renewable Energy*. 2019;137:56-66. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.074>
5. Tayefeh A, Aslani A, Zahedi R, Yousefi H. Reducing energy consumption in a factory and providing an upgraded energy system to improve energy performance. *Cleaner Energy Systems*. 2024;100124. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2024.100124>
6. Zahedi R, Gitifar A, Ahmadi A. Case study and modeling of energy consumption of buildings on an urban scale using MATLAB software. 2022. <https://doi.org/10.22059/ses.2023.340522.1003>
7. Ghodrati A, Bahmanyar S, Orouji S, Zahedi R, Ahmadi A. Modeling of 1 MW Solar Power Plant in Chabahar Using RETScreen Software. 2024. <https://doi.org/10.22059/ses.2024.376593.1068>
8. Zahedi R, Mohseni E, Sadeghitabar E, Ahmadi A, Ranjbar N, Shaghghi A, et al. Optimum planning of hybrid microgrid system connected to the grid using Homer software for Ahvaz city. 2023. <https://doi.org/10.22059/ses.2024.370277.1049>
9. Abdous M, Aslani A, Noorollahi Y, Zahedi R. Design and analysis of zero-energy and carbon buildings with renewable energy supply and recycled materials. *Energy and Buildings*. 2024;114922. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114922>
10. Shoaie M, Aslani A, Zahedi R. Environmental analysis and comparison of the conventional and fractal glass textured surface photovoltaic panels. *Sustainable Energy Research*. 2024;11(1):27. <https://doi.org/10.1186/s40807-024-00121-3>
11. Zahedi R, Aslani A, Yousefi H, Noorollahi Y, Astarai FR. Water, Energy, Food, and Environment Nexus for Achieving Sustainable Transition, Addressing Gaps, and Implementing Solutions for Global and Iranian Cases. *Energy Science & Engineering*. 2024. <https://doi.org/10.1002/ese3.1950>