



شبیه سازی سیستم گرمایش آب مبتنی بر کلکتور خورشیدی صفحه تخت در شرایط آب و هوایی ایران در نرم افزار ترنسیس

رحیم زاهدی¹، سیاوش گیتی فر²، حسین یوسفی^{3*}

1- دکترای تخصصی مهندسی سیستم های انرژی، گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

2- دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.

3- دانشیار گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

* تهران، ۱۳۱۱۴-۱۶۸۴۶، hosseinyousefi@ut.ac.ir

چکیده

جز اصلی سیستم حرارتی خورشیدی، کلکتورهای خورشیدی هستند که کلکتور صفحه تخت و کلکتور لوله تخلیه شده رایج ترین آن ها هستند. در مصارف خانگی از سیستم های آب گرم خورشیدی مبتنی بر کلکتور صفحه تخت به دلیل هزینه کم و حداقل تعمیر و نگهداری بیشتر استفاده می شود. همچنین دمای خروجی کلکتور با اکثر نیازهای آب گرم خانگی مطابقت دارد. عملکرد سیستم های آب گرم خورشیدی با تغییر شرایط محیطی (دمای اتمسفر، تابش خورشیدی، سرعت باد) متفاوت است. در این مقاله، یک سیستم آب گرم خورشیدی داخلی با استفاده از نرم افزار ترنسیس¹ مدل سازی شده است. این مدل سازی، توسعه مدلی از یک سیستم آب گرم خورشیدی مبتنی بر کلکتور صفحه تخت فعال است. مدل توسعه یافته می تواند عملکرد سیستم آب گرم خورشیدی را برای تغییرات اقلیمی و فصلی مختلف در سال پیش بینی کند. عملکرد بلند مدت سیستم برای شرایط آب و هوایی ایران ارزیابی شده و در مقاله ارائه شده است. پارامترهای عملکردی مانند بهره انرژی مفید کلکتور، بازده حرارتی ساعتی و ماهانه کلکتور ارائه و مورد بحث قرار گرفته است. از جمله نتایج حاصل از این شبیه سازی می توان به این مورد اشاره کرد که سیستم آب گرم خورشیدی با مساحت کلکتور 5 متر مربع می تواند بیش از 70 درصد نیاز 400 لیتری خانوار اهواز ایران را برآورده کند. **کلیدواژگان:** سیستم حرارتی خورشیدی، کلکتور صفحه تخت، سیستم آب گرم کن خورشیدی، افزایش انرژی مفید، راندمان حرارتی خورشیدی، نرم افزار ترنسیس.

TRNSYS simulation of water heating system based on flat plate solar collector in Iranian climate

Rahim Zahedi¹, Siavash Gitifar², Hossein Yousefi^{3*}

1- PhD, Energy Systems Engineering, Department of New Energies and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

2- PhD Candidate, Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

3- Associate Professor, Department of New Energies and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

* Corresponding Author: hosseinyousefi@ut.ac.ir, 13114-16846, Tehran, Iran

Received: 20 Nov. 2022 Accepted: 17 Aug. 2023

Abstract

The main part of the solar heating system is the solar collectors, the most common of which are the flat plate collector and the evacuated tube collector. In domestic use, solar hot water systems based on flat plate collectors are used more because of their low cost and minimal maintenance. Also, the outlet temperature of the collector corresponds to most

¹ TRNSYS

domestic hot water needs. Solar hot water systems' performance varies with environmental conditions changes (atmospheric temperature, solar radiation, wind speed). This article modeled an indoor solar hot water system using TRANSYS software. This modeling is the development of a solar hot water system model based on an active flat plate collector. The developed model can predict the performance of the solar hot water system for different climatic and seasonal changes in the year. The system's long-term performance for Iranian weather conditions is evaluated and presented in the paper. Performance parameters such as the functional energy efficiency of the collector and hourly and monthly thermal efficiency are presented and discussed. Among the simulation results, it can be mentioned that the solar hot water system with a collector area of 5 square meters can meet more than 70% of the 400-liter needs of a household in Ahvaz, Iran.

Keywords: Solar thermal system, flat plate collector, solar water heater system, useful energy increase, solar thermal efficiency, TRANSYS.

3	دما بالا	بالاتر از	Power tower Shefler dish...	فرآیندهای
		1500		حرارتی تولید
		درجه		انرژی

1- مقدمه

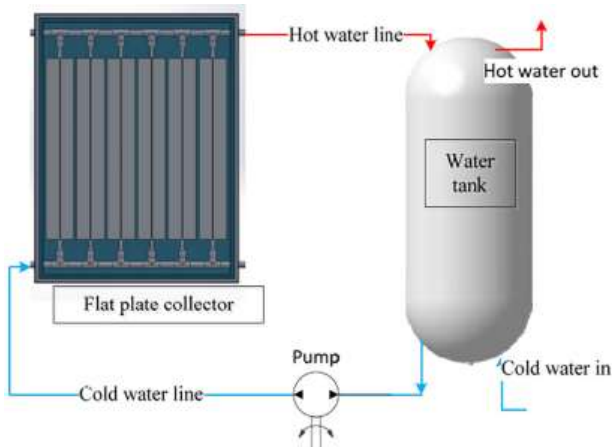
ایران برای تامین انرژی موردنیاز خود منابع طبیعی فراوانی در اختیار دارد [1-3]. بیشتر انرژی موردنیاز خانوار به منظور گرمایش، سرمایش، پخت و پز و آب گرم مصرفی در خانه‌ها برای حمام کردن و شستن لباس‌ها است [4-6]. در سال‌های اخیر، نگرانی‌های زیست‌محیطی و منابع‌های محدود همرفتی منجر به شناسایی منابع جایگزین انرژی مانند آبی، باد، مغناطیسی هیدروپنما میکی، زمین گرمایی، انرژی اقیانوسی و انرژی خورشیدی شده است [7]. انرژی خورشیدی مهم‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر است زیرا نشان‌دهنده یک منبع انرژی پاک، نامحدود و دوستدار محیط زیست است [8]. دو نوع متداول از دستگاه‌هایی که از انرژی خورشیدی استفاده می‌کنند، عبارت‌اند از تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی توسط سلول‌های فتوولتائیک [9-11] و تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی گرمایی (حرارتی خورشیدی) با استفاده از کلکتورهای حرارتی خورشیدی [12-14]. بزرگترین چالش در استفاده از انرژی خورشیدی، یافتن راه‌های قابل اعتماد برای جذب، ذخیره و استفاده از انرژی خورشیدی با قیمت مناسب است. با توجه به امکان‌سنجی فنی و مقرون به صرفه بودن (بدون یارانه) در مقایسه با سایر روش‌های استفاده از انرژی خورشیدی، سیستم حرارتی خورشیدی رایج‌ترین وسیله انرژی خورشیدی است. کلکتور خورشیدی جزء اصلی سیستم حرارتی خورشیدی است. کلکتور خورشیدی، تابش خورشید را جذب می‌کند و گرما را به سیال کاری منتقل می‌کند [15]. همانطور که در جدول 1 نشان داده شده است، کلکتورهای خورشیدی را می‌توان بر اساس محدوده دما به سه نوع طبقه‌بندی کرد [16].

جدول 1 انواع کلکتورها بر اساس محدوده درجه حرارت

شماره	نوع	محدوده دما	تکنولوژی	کارایی
1	دما پایین	تا 45 درجه	FPC, ETC	آب گرمکن، سرمایش و پخت و پز
2	دما متوسط	بالاتر از 400 درجه	PTC, LFR, CPC	تقطیر آب و تولید بخار اشباع، پخت و پز

در میان تمام کلکتورها، کلکتورهای صفحه تخت به دلیل هزینه کم، بیشتر در مصارف خانگی و دمای پایین استفاده می‌شوند. همچنین، دمای خروجی از کلکتور با بسیاری از نیازهای آب گرم خانوار ایرانی مطابقت دارد [17, 18]. لیما و همکاران [19] استفاده از ترنسیس را برای بهینه‌سازی کلکتور صفحه تخت حرارتی خورشیدی و مخزن سیستم حرارتی خورشیدی مورد مطالعه قرار داد. یاتیچی و همکاران [20] از نرم افزار ترنسیس برای ایجاد مدل و شبیه‌سازی سیستم انرژی حرارتی خورشیدی برای بهینه‌سازی پارامترهای کلیدی طراحی، استفاده کرد. راجی و همکاران [21] یک سیستم گرمایش آب مبتنی بر سیستم ردیابی خورشید فعال را برای شهری در نیجریه با نرم‌افزار ترنسیس شبیه‌سازی کردند. محمد و همکاران [22] مدلی را توسط ترنسیس پیکربندی کرده و عملکرد یک سیستم حرارتی مستقیم خورشیدی را در بغداد، عراق تأیید کرده است. فیات [23] از یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی ویژگی‌های حرارتی یک آبگرمکن خورشیدی استفاده کرد. علی‌الشمانی و همکاران [24] یک سیستم عملی و قابل دوام برای تامین آب گرم در روزهای سرد زمستان در استان بغداد کشور عراق، با استفاده از انرژی خورشیدی از طریق شبیه‌سازی بر روی نرم‌افزار ترنسیس را مورد ارزیابی قرار دادند. علی [25] استفاده از مدل (نیمه سینوسی) را برای گرمایش آب حرارتی خورشیدی برای کاربردهای خانگی یا صنعتی مورد مطالعه قرار داد.

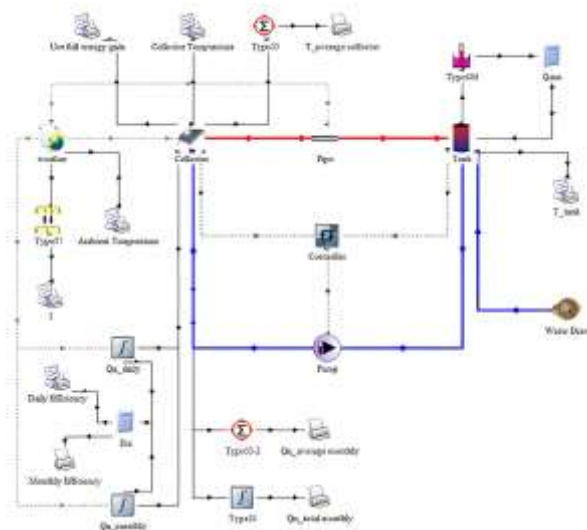
تیواری و همکاران [26] مدل ترنسیس از یک کلکتور صفحه تخت فعال تجاری را برای سیستم گرمایش آب خورشیدی را توسعه داد. مدل پیشنهادی کارایی سیستم گرمایش آب خورشیدی را برای اقلیم‌های مختلف و تغییرات فصلی در طول یک سال پیش‌بینی می‌کند. بهترین عملکرد سیستم آبگرمکن خورشیدی در فصل زمستان (ژانویه-آوریل و اکتبر-دسامبر) است. بابالیس و نیلسون [2] اعتبارسنجی گرمایش آب خورشیدی ترموسیفون را با استفاده از شبیه‌سازی مدل ترنسیس مورد مطالعه قرار دادند و انطباق با 4/7 درصد اختلاف ذکر شده است. سلطانا و همکاران [27] مدل ترنسیس یک کلکتور متمرکز سیستم خورشیدی را برای گرمایش آب و سرمایش خورشیدی توسعه داد و تأثیر پروفایل‌های بار مختلف را بر راندمان سیستم مطالعه کرد. عبدالنابیا و همکاران [28] شبیه‌سازی مدل ترنسیس سیستم گرمایش آب خورشیدی با گردش اجباری را با مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده با



شکل 1 اجزای یک سیستم آبگرمکن خورشیدی [26]

3- شبیه‌سازی ترنسیس

ترنسیس یک برنامه شبیه‌سازی سیستم گذرا است که برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی عملکرد و رفتار سیستم‌ها به عنوان تابعی از زمان استفاده می‌شود. به منظور شبیه‌سازی سیستم کامل در ترنسیس، اولین قدم شناسایی اجزای فردی است که عملکرد جمعی آن‌ها عملکرد کل سیستم را توصیف می‌کند. مدل سیستم آب گرم خورشیدی با استفاده از ترنسیس در شکل 2 ارائه شده‌است.



شکل 2 مدل ترنسیس یک سیستم آبگرمکن خورشیدی [26]

مدل اجزای مختلف مورد استفاده برای شبیه‌سازی سیستم آب گرم خورشیدی بطور جداگانه در این بخش ارائه شده‌است. جزء نوع 1 برای مدل‌سازی و عملکرد حرارتی کلکتور صفحه تخت استفاده شده‌است. پنج احتمال در این جزء برای در نظر گرفتن اثر زاویه تابش وجود دارد. در اینجا

داده‌های تجربی تایید کرد. اهداف اولیه این تحقیق به شرح زیر خلاصه می‌شود:

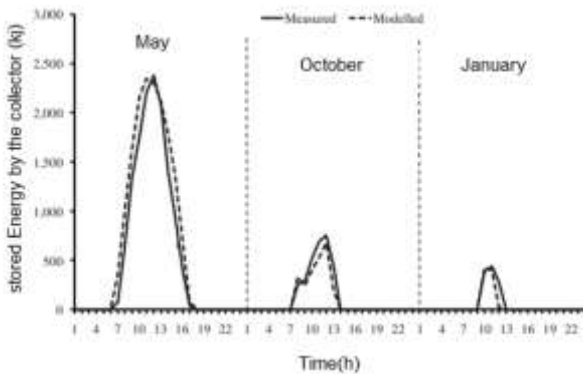
- 1) هدف اساسی مدل تایید شده بر پیش‌بینی عملکرد حرارتی بلندمدت سیستم آب گرم خورشیدی گردش اجباری در مکان‌های مختلف متمرکز است.
- 2) شبیه‌سازی عملکرد سیستم آب گرم خورشیدی تحت پروفایل‌های بار و شرایط عملیاتی مختلف برای هر منطقه آب و هوایی.
- 3) مدل‌های شبیه‌سازی ترنسیس مناسب برای سیستم حرارتی خورشیدی با گردش اجباری در عراق ایجاد شده‌است.
- 4) پیش‌بینی انرژی کمی ماهانه و سالانه مورد نیاز سیستم حرارتی خورشیدی.

مشکل اصلی استفاده از انرژی خورشیدی برای انرژی مورد نیاز روزانه، پیش‌بینی عملکرد سالانه است. عملکرد کلکتورهای خورشیدی تحت تأثیر پیکربندی محصول، مساحت سطح و شرایط متروپولژیکی محلی است. روش آزمایشی برای پیش‌بینی تأثیر این پارامترها زمان‌بر و پرهزینه است، بنابراین روش جایگزین برای تجزیه و تحلیل سیستم آب گرم خورشیدی برای عملکرد طولانی‌مدت، استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی است.

هدف این پژوهش، توسعه مدلی از یک سیستم آب گرم خورشیدی مبتنی بر کلکتور صفحه تخت فعال تجاری است. مدل توسعه‌یافته می‌تواند عملکرد سیستم آب گرم خورشیدی را برای تغییرات اقلیمی و فصلی مختلف در سال پیش‌بینی کند. شبیه‌سازی دقیق سیستم آب گرم خورشیدی با استفاده از ترنسیس (برنامه شبیه‌سازی گذرا) انجام شده‌است. این مقاله مدل‌سازی را برای شبیه‌سازی سیستم هر جزء از سیستم آب گرم خورشیدی در ترنسیس ارائه می‌کند. عملکرد کلکتور صفحه تخت تحت شرایط آب و هوایی اهواز، خوزستان، ایران ارزیابی شده‌است. تأثیر پارامترهای عملیاتی مختلف بر عملکرد سیستم نیز در این مقاله ارزیابی و ارائه شده‌است. در ادامه این پژوهش، در بخش دوم به معرفی سیستم پرداخته می‌شود. سپس در بخش سوم به شبیه‌سازی سیستم در نرم‌افزار ترنسیس پرداخته می‌شود و نتایج حاصل از شبیه‌سازی بصورت کامل در بخش چهارم بررسی می‌شود. در بخش پنجم (پایانی) به نتیجه‌گیری پرداخته می‌شود.

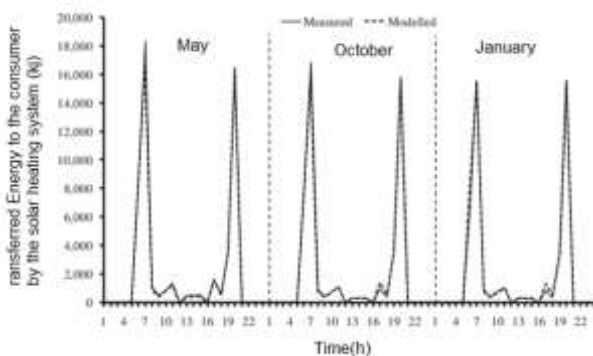
2- معرفی سیستم

سیستم آبگرمکن خورشیدی فعال تجاری کلکتور صفحه تخت از یک کلکتور صفحه تخت، پمپ و مخزن ذخیره تشکیل شده‌است. همانطور که در شکل 1 نشان داده شده‌است سیستم کامل، همراه با استراتژی کنترل لازم، با استفاده از نرم‌افزار ترنسیس مدل‌سازی شده‌است. جزئیات هر قسمت مورد استفاده برای مدل‌سازی در بخش بعدی بصورت مفصل توضیح داده شده‌است.



شکل 3 انرژی گرمایی ذخیره شده توسط کلکتور خورشیدی

اعتبارسنجی مدل ارائه شده در این تحقیق با داده‌های تجربی موجود در مرجع [5] انجام شده است و در این قسمت تنها به اعتبارسنجی دو نمونه خروجی اکتفا می‌شود. این اعتبارسنجی به صورت تصادفی یک روز در ماه های خرداد، آبان و دی انتخاب شده است. در شکل 3 و شکل 4 به ترتیب به اعتبارسنجی میزان انرژی ذخیره شده در پنل خورشیدی و انرژی منتقل شده به مصرف‌کننده پرداخته شده است.



شکل 4 گرمای منتقل به مصرف‌کننده توسط آب‌گرمکن

شکل 5 تغییرات تابش خورشید را در یک سطح افقی در اهواز، ایران در طول سال نشان می‌دهد. بهترین تابش خورشیدی از بهمن تا ماه خرداد در دسترس است. در این میان، فروردین و اردیبهشت بیشترین تابش خورشیدی را دریافت می‌کنند. تیر و مرداد به دلیل فصل باران‌های موسمی حداقل تابش خورشیدی را در این مکان دریافت می‌کنند. تغییرات ساعتی دمای اتمسفر برای کل سال نیز در شکل 6 آورده شده است.

تابع درجه دوم برای محاسبه اثر زاویه تابش طبق استاندارد اشرا¹ در نظر گرفته شده است. مساحت کلکتور صفحه تخت به منظور مطالعه و تحلیل، 5 متر مربع در نظر گرفته شده است.

برای مدل‌سازی جز آب و هوا از نوع 15-6² استفاده شده است. لازم به ذکر است که این قسمت، داده‌ها را در قالب Meteonorm می‌خواند. مطالعه موردی شبیه‌سازی سیستم آب گرم خورشیدی، برای شهر احمدآباد گجرات انجام شده است. مدل نوع 110³ برای مدل‌سازی پمپ با سرعت متغیر برای حفظ دبی جرمی خروجی موردنظر استفاده شده است. این مدل بر اساس تنظیم سیگنال کنترل، نرخ جریان جرمی را بصورت خطی تغییر می‌دهد.

مدل نوع 158⁴ برای مدل‌سازی یک مخزن عمودی ذخیره پر از مایع با حجم ثابت استفاده می‌شود. در این مدل تلفات حرارتی بالا، پایین و لبه برای ارزیابی عملکرد مخزن ذخیره‌سازی در نظر گرفته شده است. در این مدل دو جریان وجود دارد که به داخل مخزن وارد و سپس خارج می‌شود. استراتژی کنترل برای استفاده از آب به عنوان نیاز معمولی خانوار ایرانی 400 لیتر در روز در نظر گرفته شده است.

3-1- مدل‌سازی سیستم گرمایش خانه

با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه یک منطقه گرمسیر هست، از یک سیستم گرمایش بسیار ساده با توان کم در نظر گرفته شده است. این ساختمان دارای یک سیستم گرمایش است که به یک موتورخانه در زیرزمین متصل می‌شود. در این آزمایش گرما از طریق فن‌های شوفاژ به ساختمان تامین می‌شود. در ادامه، یک شیر اختلاط تعبیه شده تا آب منبع گرم با آب خنکی که از شوفاژ برمی‌گردد تعدیل شود. شیر اختلاط برای حفظ دمای عرضه ثابت 30 درجه سانتی‌گراد کنترل شد. خانه به شش منطقه حرارتی تقسیم می‌شود که اگر دمای منطقه حس‌شده کمتر از حد تعیین شده بود، می‌توانست به طور مستقل گرم شوند.

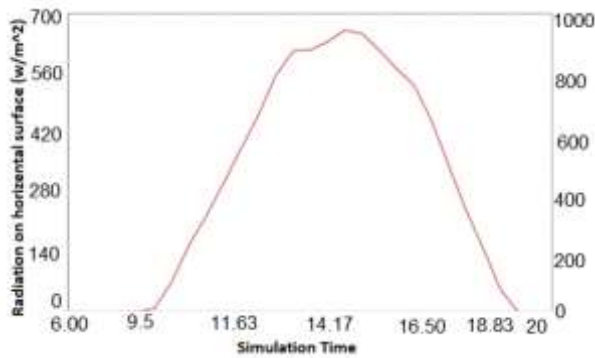
3-2- مدل‌سازی مخزن ذخیره

مخزن دارای دو مجموعه ورودی و خروجی برای شارژ و تخلیه می‌باشد که همگی از طریق درگاه‌هایی که در بالای مخزن قرار دارند وارد مخزن می‌شوند.

4- نتایج حاصل از شبیه‌سازی

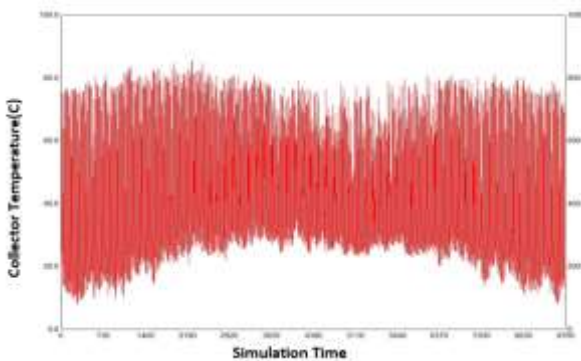
در این بخش، نتایج بدست‌آمده از شبیه‌سازی سیستم آب گرم خورشیدی فعال ارائه شده است. هدف از این شبیه‌سازی، پیش‌بینی عملکرد بلند مدت (یک ساله) سیستم آب گرم خورشیدی تحت شرایط آب و هوایی ایران است. همچنین، تأثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد این سیستم در طول یک سال نشان داده شده و مورد بحث قرار گرفته است. پیش از بیان نتایج حاصل از شبیه‌سازی به اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی شده پرداخته می‌شود.

2.ASHRAE
3.Type 15-6
4.Type110
5.Type 158



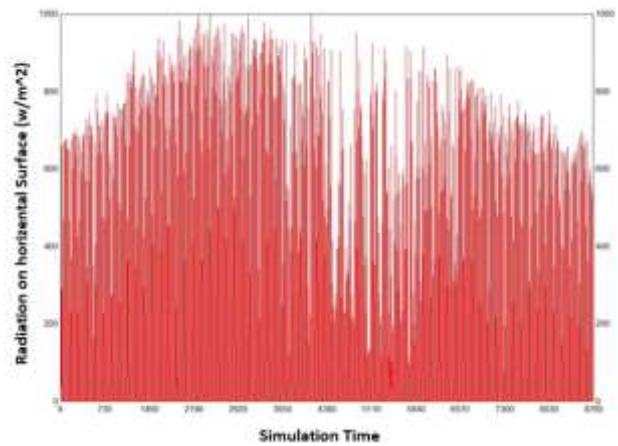
شکل 7 تابش خورشیدی و دمای محیط در طول یک روز

علاوه بر پارامترهای ذکر شده، پارامترهای عملکرد سیستم آب گرم خورشیدی برای دوره یک ساله ارائه و بحث شده‌است. شکل 8 تغییرات دمای خروجی کلکتور را در طول سال نشان می‌دهد. بیشترین تغییرات در ماه‌های مهر تا آبان و حداقل تغییرات در ماه‌های تیر تا مرداد مشاهده می‌شود. دلیل حداکثر تغییرات در ماه‌های مهر تا آبان، وجود آفتاب شفاف با تابش خوب و دمای پایین آب ورودی به کلکتور است. حداقل تغییرات دما در ماه تیر تا مرداد به دلیل ابر در فصل بارندگی است. حداکثر دمای خروجی کلکتور ثبت شده 95 درجه سانتیگراد در ماه آبان است.

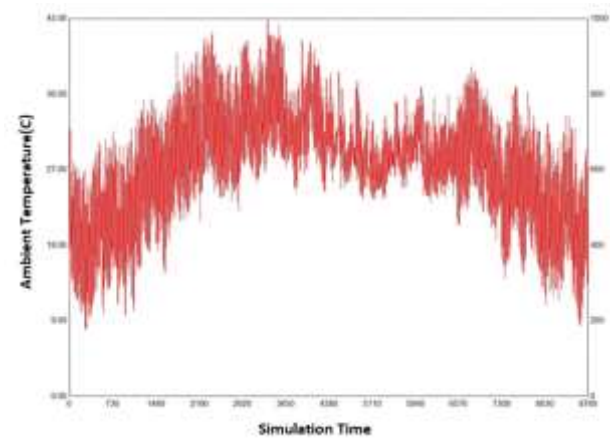


شکل 8 تغییرات دمای خروجی از کلکتور در طول سال

نتایج مشابهی برای میانگین دمای خروجی کلکتور پیدا شده‌است، همانطور که در شکل 9 مشاهده می‌شود. حداکثر میانگین ماهانه دمای خروجی کلکتور 63 درجه سانتیگراد برای مکان انتخابی در ماه مهر است. حداقل میانگین ماهانه دمای خروجی کلکتور 43/34 درجه سانتیگراد و 43/35 درجه سانتیگراد به ترتیب در تیر و مرداد دریافت می‌شود.

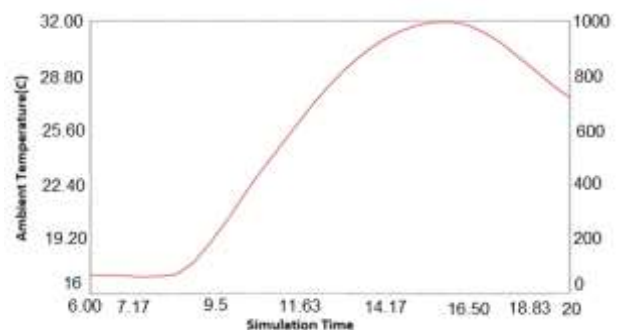


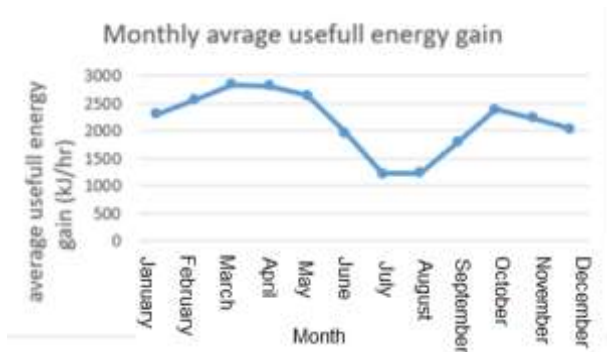
شکل 5 تابش بر روی سطح افقی بر حسب زمان در طول سال



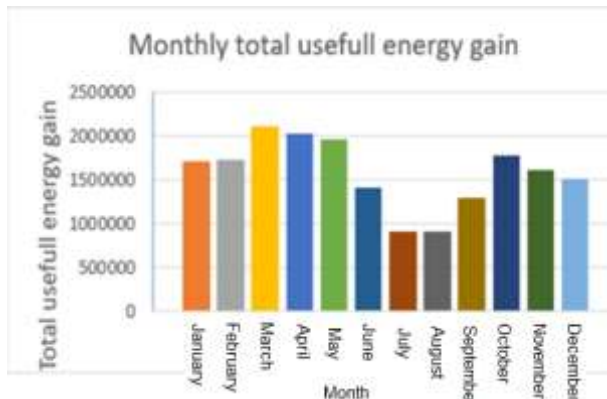
شکل 6 دمای محیط بر حسب زمان در طول سال

تغییرات روزانه تابش و دما خورشید نیز در این شبیه‌سازی بررسی شده‌ است. همانطور که در شکل 7 نشان داده شده‌است، تابش خورشیدی در حدود ساعت 8 صبح شروع به افزایش می‌کند، از ساعت 12 صبح تا 14:30 به اوج خود می‌رسد و سپس شروع به کاهش می‌کند. دمای روزانه محیط تا حدود ساعت 16 افزایش می‌یابد و سپس شروع به کاهش می‌کند.



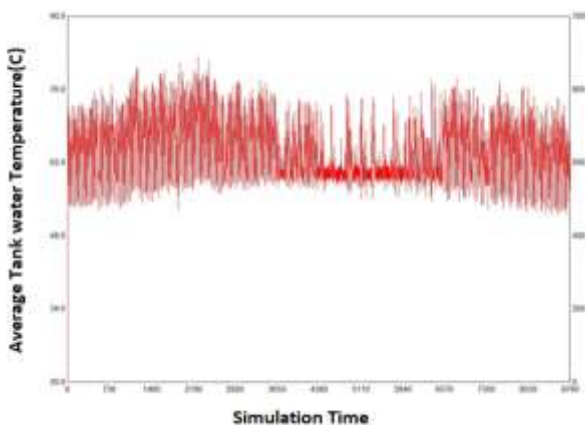


شکل 11 میانگین ماهانه انرژی مفید کلکتور

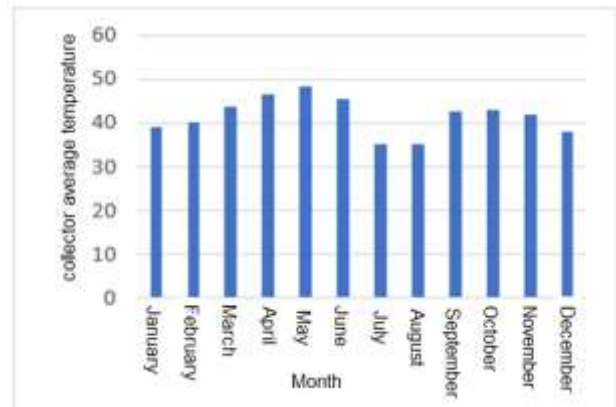


شکل 12 میانگین و جمع کل ماهانه انرژی مفید کلکتور

به منظور مدلسازی مخزن ذخیره‌سازی سیستم آب گرم خورشیدی از مدل نوع 158 استفاده شده‌است. تغییرات میانگین دمای آب گرم ذخیره-شده در مخزن در شکل 13 نشان داده شده‌است. این تغییرات پیرو تابش خورشید در طول یک ماه است. حداقل دمای آب ذخیره‌شده برای ماه‌های تیر و مرداد است. میانگین دمای آب گرم ذخیره‌شده در مخزن ذخیره با استفاده از کلکتور صفحه تخت از 45 تا 65 درجه سانتی‌گراد متغیر است. این محدوده دما برای نیاز معمولی آب گرم خانوار ایرانی کافی است.



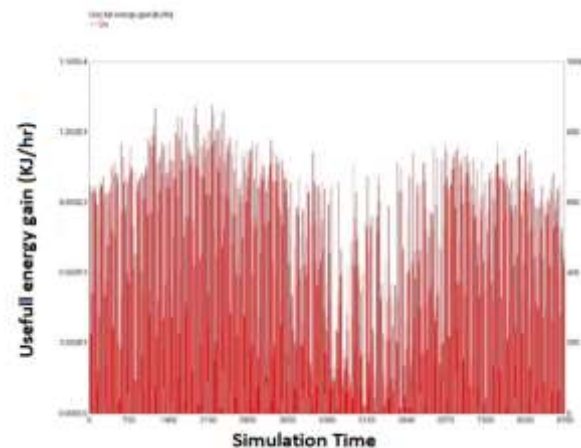
شکل 13 میانگین دمای آب داخل تانک در طول سال



شکل 9 میانگین ماهانه دمای خروجی از کلکتور

تغییرات دریافت انرژی مفید روزانه در طول سال برای کلکتور صفحه تخت در شکل 10 آورده شده‌است. انرژی مفید داده‌شده به سیال کلکتور خورشیدی با استفاده از معادله 1 محاسبه می‌شود. در این رابطه، m دبی جرمی آب بر حسب کیلوگرم بر ثانیه است، C_p گرمای ویژه آب و T_{in} دمای ورودی و خروجی کلکتور هستند.

$$Q_u = mc\Delta T \quad (1)$$



شکل 10 انرژی مفید کلکتور در طول سال

الگوی تغییرات همان مسیر تابش را دنبال می‌کند. مقدار حداقل برای تیر و مرداد و مقدار حداکثر در آذر و اسفند است. مقدار میانگین ماهانه انرژی مفید و مقدار کل ماهانه انرژی مفید از کلکتور به ترتیب در شکل 11 و 12 برای تجسم و درک بهتر ارائه شده‌است. میانگین انرژی مفید ماهانه نشان‌دهنده مقدار متوسط تمام روزهای یک ماه خاص است، در حالی که مقدار کل ماهانه مجموع تمام انرژی روزانه کلکتور از در یک ماه را نشان می‌دهد. حداکثر انرژی مفید ماهانه 2/3463 گیگاژول در ساعت در ماه برای دسامبر بدست آمده‌است، در حالی که حداقل مقدار 1/1323 گیگاژول در ساعت در ماه برای تیر شبیه‌سازی شده‌است.

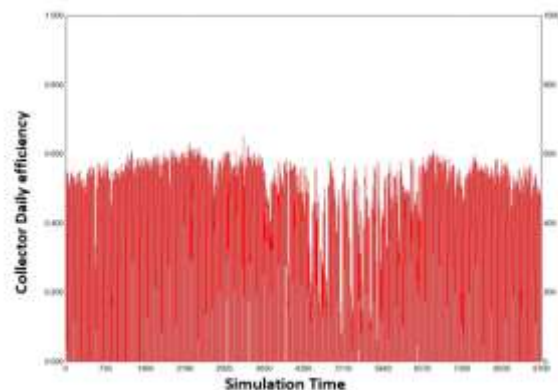
شده‌است که مشخص شود سیستم تا چه حد می‌تواند نیاز آب گرم خانگی را تامین کند. نتایج زیر را می‌توان از مطالعه استخراج کرد:

1. سیستم آب گرم خورشیدی با مساحت کلکتور 5 متر مربع می‌تواند بیش از 70 درصد نیاز 400 لیتری خانوار اهواز ایران را برآورده کند.
2. سیستم آب گرم خورشیدی بهترین عملکرد را در ماه‌های دی تا اردیبهشت در طول تابستان و اکتبر تا دسامبر با بهترین عملکرد در طول زمستان دارد.
3. مدل ترنسیس قادر به پیش بینی عملکرد سیستم آب گرم خورشیدی برای یک دوره طولانی (یک ساله) و بر اساس نیاز است. سیستم آب گرم خورشیدی بهینه را نیز می‌توان با استفاده از ترنسیس بدست آورد.

6- مراجع

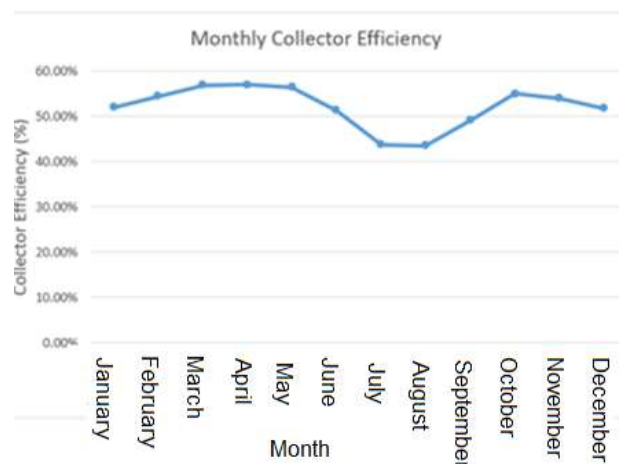
- [1] S. K. Sahoo, "Renewable and sustainable energy reviews solar photovoltaic energy progress in India: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, pp. 927-939, 2016.
- [2] R. Shrivastava, V. Kumar, and S. Untawale, "Modeling and simulation of solar water heater: A TRNSYS perspective," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 126-143, 2017.
- [3] R. Pande, V. Kalamkar, A. Tiwari, S. Sharma, and N. Shrivastava, "A mathematical modeling of two-pot biomass cookstove," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1276, no. 1: IOP Publishing, p. 012046.
- [4] D. Jani, M. Mishra, and P. K. Sahoo, "Performance analysis of a solid desiccant assisted hybrid space cooling system using TRNSYS," *Journal of Building Engineering*, vol. 19, pp. 26-35, 2018.
- [5] M. Umer, A. Akbar, S. Dilshad, U. J. Kalair, and N. Abas, "Evaluating the Effectiveness of Flat Plate Solar Collector for Water Heating in Pakistan," in *2023 4th International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)*, 2023: IEEE, pp. 1-6.
- [6] M. Hazami, S. Kooli, N. Naili, and A. Farhat, "Long-term performances prediction of an evacuated tube solar water heating system used for single-family households under typical Nord-African climate (Tunisia)," *Solar Energy*, vol. 94, pp. 283-298, 2013.
- [7] D. H. Yadav, A. K. Tiwari, and V. R. Kalamkar, "Social and economic impact assessment of solar water pumping system on farmers in Nagpur District of Maharashtra State of India," in *Advances in Applied Mechanical Engineering*: Springer, 2020, pp. 19-26.
- [8] A. K. Tiwari, R. Kumar, R. R. Pande, S. K. Sharma, and V. R. Kalamkar, "Effect of forced convection cooling on performance of solar photovoltaic module in rooftop applications," in *Advances in Energy Research, Vol. 1*: Springer, 2020, pp. 159-172.
- [9] A. K. Tiwari, V. R. Kalamkar, R. R. Pande, S. K. Sharma, V. C. Sontake, and A. Jha, "Effect of head and PV array configurations on solar water pumping system," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 5475-5481, 2021.
- [10] Y. Zhao, S. Gong, C. Zhang, M. Ge, and L. Xie, "Performance analysis of a solar photovoltaic power generation system with spray cooling," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 29, p. 101723, 2022.
- [11] Y. Khetib, A. Alzaed, A. Tahmasebi, M. Sharifpur, and G. Cheraghian, "Influence of using innovative turbulators on the exergy and energy efficacy of flat plate solar collector with DWCNTs-TiO₂/water nanofluid," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 51, p. 101855, 2022.
- [12] A. Mourad, A. Aissa, Z. Said, O. Younis, M. Iqbal, and A. Alazzam, "Recent advances on the applications of phase change materials for solar collectors, practical limitations, and challenges: A critical review," *Journal of Energy Storage*, vol. 49, p. 104186, 2022.

راندمان حرارتی کلکتور یک پارامتر مهم برای تصمیم‌گیری در مورد یک کلکتور خاص است. تغییر بازده روزانه کلکتور در طول سال در شکل 14 آورده شده‌است. این شکل نشان می‌دهد که تغییرات روزانه بازده حرارتی کلکتور از 55٪ تا 65٪ متغیر است. تغییرات ناگهانی در کارایی کلکتور در ماه تیر تا شهریور وجود دارد. این به دلیل شرایط محیطی مانند ابر ناگهانی است. راندمان کلکتور از خرداد تا آبان افزایش می‌یابد و حداکثر راندمان حرارتی برای ماه نوامبر تحقق یافته‌است.



شکل 14 بازده روزانه کلکتور در طول سال

تغییرات ماهانه میانگین بازده کلکتور در شکل 15 برای تمام دوازده ماه سال نشان داده شده‌است. حداقل میانگین راندمان کلکتور 45 درصد در تیر و مرداد یافت می‌شود. حداکثر میانگین راندمان کلکتور بیش از 60٪ برای ماه‌های مهر، آبان و آذر ثبت شده‌است.



شکل 15 بازده ماهانه کلکتور در طول سال

5- نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل گذرا سیستم آب گرم خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار ترنسیس انجام شده‌است. این سیستم برای کل سال تجزیه و تحلیل شده‌است تا عملکرد بلند مدت آن را پیش‌بینی کند. این پژوهش با این هدف انجام-

- [13] A. S. Hanbazazah *et al.*, "Optimization and experimental analysis of sustainable solar collector efficiency under the influence of magnetic nanofluids," *Applied Nanoscience*, pp. 1-12, 2022.
- [14] E. A. C. Panduro, F. Finotti, G. Largiller, and K. Y. Lervåg, "A review of the use of nanofluids as heat-transfer fluids in parabolic-trough collectors," *Applied Thermal Engineering*, p. 118346, 2022.
- [15] A. Standard, "Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors," *ANSI/ASHRAE*, pp. 93-1986, 1977.
- [16] B. H. Ali, S. Gilani, and H. H. Al-Kayiem, "Investigation of evacuated tube collector performance at high temperature mode using TRNSYS simulation model," in *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 465: Trans Tech Publ, pp. 155-160.
- [17] H. M. Maghrabie *et al.*, "Phase change materials based on nanoparticles for enhancing the performance of solar photovoltaic panels: A review," *Journal of Energy Storage*, vol. 48, p. 103937, 2022.
- [18] N. Naber, "Analysis of Local Impact of Rooftop Photovoltaic Panels," Arizona State University, 2022.
- [19] J. B. A. Lima, R. T. Prado, and V. M. Taborianski, "Optimization of tank and flat-plate collector of solar water heating system for single-family households to assure economic efficiency through the TRNSYS program," *Renewable Energy*, vol. 31, no. 10, pp. 1581-1595, 2006.
- [20] W. Yaïci, E. Entchev, and K. Lombardi, "Experimental and simulation study on a solar domestic hot water system with flat-plate collectors for the Canadian climatic conditions," in *Energy Sustainability*, 2012, vol. 44816: American Society of Mechanical Engineers, pp. 69-78.
- [21] L. Raji, S. Shodiya, G. Ngala, and M. Baba, "Modeling and simulation of an active solar water heating system for Maiduguri, Borno State, Nigeria," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 912, no. 4: IOP Publishing, p. 042019.
- [22] M. Mohammed *et al.*, "TRNSYS simulation of solar water heating system in Iraq," *Recent Researches in Geography, Geology, Energy, Environment and Biomedicine*, pp. 153-156, 2011.
- [23] M. A. Fayath and S. T. Hamidi, "Prediction of thermal characteristics for solar water heater," *Anbar J Eng Sci*, vol. 4, pp. 18-32, 2011.
- [24] A. N. Al-Shamani, M. D. Faisal, and H. H. Abada, "Proposed Solar Powered Water Heating System for Babylon-Iraq Using Transient System Simulation (Trnsys) Tool," *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*, vol. 15, no. 5, pp. 101-111, 2020.
- [25] M. H. Ali, "Solar thermal water heating for domestic or industrial application (new trend modeling)," *Eng Tech J*, vol. 28, pp. 2178-2195, 2010.
- [26] A. K. Tiwari, S. Gupta, A. K. Joshi, F. Raval, and M. Sojitra, "TRNSYS simulation of flat plate solar collector based water heating system in Indian climatic condition," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 5360-5365, 2021.
- [27] T. Sultana, G. L. Morrison, R. Taylor, and G. Rosengarten, "TRNSYS modeling of a linear Fresnel concentrating collector for solar cooling and hot water applications," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 137, no. 2, p. 021014, 2015.
- [28] M. Abdunnabi, K. Alakder, N. Alkishriwi, and S. Abughres, "Experimental validation of forced circulation of solar water heating systems in TRNSYS," *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 2477-2486, 2014.