



# Performance of Concentrating Photovoltaic-Thermal Solar Collectors for Cooling, Heating, and Power Generation System of an Industrial Complex

## ARTICLE INFO

### Article Type

Original Research

### Authors

Khademy M.<sup>1</sup>,  
Saraei A.<sup>1\*</sup>,  
Abyaneh M. H. J.<sup>1</sup>,

### How to cite this article

Khademy M, Saraei A, Abyaneh M. H. J. Performance of Concentrating Photovoltaic-Thermal Solar Collectors for Cooling, Heating, and Power Generation System of an Industrial Complex. Modares Mechanical Engineering. 2022; 22(11):657-668.

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

### \*Correspondence

Address: Department of Mechanical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

a\_saraei@azad.ac.ir

### Article History

Received: May 22, 2022  
Accepted: July 26, 2022  
ePublished: October 29, 2022

## ABSTRACT

The energy used to provide cooling and heating is a significant part of the energy consumption of an industrial complex. This paper aims to evaluate the performance of a trigeneration solar-powered system to supply the air conditioning system of an industrial complex energy requirement. The proposed design includes a double-effect lithium bromide water absorption chiller, a heat pump, and concentrating photovoltaic-thermal solar collectors (CPVT). Absorption chillers with nominal capacity and coefficient of performance of 100 TR and 1.3, respectively, and a heat pump with a capacity of 30 TR have been used to meet the cooling demands. The solar system consists of linear Fresnel solar concentrators and triple-junction solar cells. The analysis has been conducted for the complex located southwest of Tehran, Iran. Dynamic system simulation is performed using TRNSYS and EES software. To compare the performance of the proposed collector, photovoltaic-thermal collectors without concentrators (PVT) and Thermal collectors with concentrators (CT) with the same coating surface have been investigated. The energy delivered by the proposed collector is 64% and 28% higher, respectively than the PVT and the CT collectors. Compared to a structure without solar energy utilization unit, the proposed design reduces energy consumption by 62%. Employment of the heat pump in this method reduces energy consumption by 58% compared system without it. The proposed collector electrical energy production in a year is 101.10 MWh. The proposed system needs 264.07 MWh of backup heating a year to meet all the complex air conditioning needs.

**Keywords** Concentrating Photovoltaic/Thermal Collectors, Multi-Generation, Air Conditioning, Co Generation Of Power And Heat, Energy Systems, Lithium Bromide Water Absorption Chiller

## CITATION LINKS

1- Role of Renewable Energy Sources in Environmental... 2- Preface: Overview of the Forum on Solar and... 3- Air-based Hybrid Photovoltaic/Thermal Systems... 4- Performance Comparative Study of a Concentrating Photovoltaic/Thermal Phase Change... 5- Performance Analysis and Optimization of a Trilateral Organic... 6- Performance Improvement of a Desiccant Based Cooling System by... 7- Performance Analysis of Finned Photovoltaic/Thermal Solar Air... 8- Experimental Study of an Indirect-Expansion Heat Pump System Based on... 9- Evaluation and Comparison of Solar Trigeneration Systems Based on... 10- Design and Performance Monitoring ... 11- Modeling of a Novel Nanofluid-based Concentrated ... 12- Thermo-economic Optimization of a Novel Hybrid Renewable... 13- Technical Comparison of Different Solar-powered Absorption Chiller Designs for... 14- Solar Linear Fresnel Collector Using Molten Nitrates as... 15- Influence of Temperature and Irradiance on... 16- Performance Analysis and Optimization of New Double Effect Lithium... 17- viunahvac catalog. 18- Advances in Seasonal Thermal Energy Storage for Solar District Heating... 19- Thermodynamics: an Engineering Approach. 20- Effects of Evaporator Pinch Point Temperature Difference on... 21- Saravel Corporation catalog. 22- Analysis of the energy and cost savings caused by... 23- Energy-Efficient Building Systems: Green Strategies for... 24- TRNSYS, a Transient System Simulation Program. 25- Development of Analytical Expressions for the Incident... 26- Theoretical Analysis and Optimization of a Double-effect... 27- Modeling and Simulation of Solar Water Heater... 28- Heat Recovery Steam Generator Technology. 29- Refrigeration and Heat-Pump Systems... 30- Reducing the Demands of Heating and Cooling in Iranian hospitals. 31- Solar Trigeneration: A Transitory Simulation of... 32- Model Based Experimental Performance Analysis of a Microscale... 33- Performance Evaluation of an Integrated Automotive Air Conditioning ...

## عملکرد کلکتور فتوولتاییک حرارتی دارای متمرکزکننده جهت سامانه تولید سرمایش، گرمایش و توان یک واحد صنعتی

مهرداد خادمی<sup>۱</sup>، علیرضا سرائی<sup>۱\*</sup>، محمدحسن جلال‌الدین ابیانه<sup>۱</sup>  
<sup>۱</sup> گروه مهندسی مکانیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

### چکیده

انرژی مورد استفاده برای تأمین سرمایش و گرمایش، بخش قابل توجهی از انرژی مصرفی یک واحد صنعتی را شامل می‌شود. هدف اصلی مقاله بررسی عملکرد یک سامانه تولید سه‌گانه خورشیدی جهت تأمین انرژی مورد نیاز سامانه تهویه مطبوع یک واحد صنعتی است. سامانه پیشنهادی شامل یک چیلر جذبی لیتیوم بروماید آب دو اثره، پمپ حرارتی و کلکتورهای فتوولتاییک حرارتی دارای متمرکزکننده است. چیلر جذبی با ظرفیت و ضریب عملکرد اسمی به ترتیب ۱۰۰ تن تبرید و ۱/۳ و پمپ حرارتی با ظرفیت ۳۰ تن تبرید برای پاسخ‌گویی به نیاز سرمایشی ساختمان استفاده شده‌اند. سامانه خورشیدی شامل متمرکزکننده خورشیدی فرنل خطی، جاذب فتوولتاییک حرارتی دارای سلول‌های سه‌لایه است. این تحلیل برای مجموعه‌ای واقع در جنوب غربی تهران صورت پذیرفته و شبیه‌سازی پویای سامانه با استفاده از نرم‌افزار ترنسیس و ای‌ای‌اس انجام گرفته است. در راستای مقایسه عملکرد کلکتور پیشنهادی، کلکتورهای فتوولتاییک حرارتی بدون متمرکزکننده و حرارتی دارای متمرکزکننده با سطح پوشش یکسان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. انرژی دریافتی کلکتور پیشنهادی به ترتیب ۶۴ و ۲۸ درصد بیشتر از کلکتورهای فتوولتاییک حرارتی بدون متمرکزکننده و حرارتی دارای متمرکزکننده است. ترکیب ساختار پیشنهادی در مقایسه با ساختاری که در آن از انرژی خورشیدی استفاده نمی‌شود به کاهش ۶۲ درصدی مصرف انرژی می‌انجامد. استفاده از پمپ حرارتی در این ساختار موجب کاهش ۵۸ درصدی انرژی مصرفی در مقایسه با عدم استفاده از آن می‌گردد. تولید انرژی الکتریکی توسط کلکتور پیشنهادی در سال، ۱۰۱/۰۶ مگاوات ساعت است. سامانه پیشنهادی نیاز به گرمایش پشته‌بان ۲۶۴/۰۷ مگاوات ساعت در سال برای رفع تمامی نیازهای تهویه مطبوع مجتمع دارد.

**کلیدواژه‌ها:** کلکتور فتوولتاییک حرارتی دارای متمرکزکننده، تولید سه‌گانه، تهویه مطبوع، تولید هم‌زمان برق و حرارت، سیستم انرژی، چیلر جذبی لیتیوم بروماید آب دو اثره.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۴

\* نویسنده مسئول: a\_saraei@azad.ac.ir

### ۱- مقدمه

در دو دهه اخیر روند روبه‌رشد استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر قابل مشاهده است<sup>[1]</sup>. از میان منابع تجدیدپذیر؛ انرژی خورشیدی به سبب سهولت در دسترسی و گستردگی، مورد اقبال بیشتر قرار گرفته است<sup>[2]</sup>. سامانه‌های خورشیدی با توجه به انرژی تولیدی به سه دسته حرارتی، فتوولتاییک و فتوولتاییک حرارتی تقسیم می‌شوند که بیشینه بازده در این میان به ساختارهای فتوولتاییک حرارتی تعلق دارد و انرژی تولیدی توسط این ساختار دارای کیفیت پایین (دمای پایین) است<sup>[3]</sup>. استفاده از متمرکز کننده برای افزایش

کیفیت انرژی دریافتی از این سامانه یک راه مناسب است که انرژی با کیفیت‌های متوسط تا بالا را با توجه به ضریب تمرکز متمرکزکننده ارائه می‌دهد<sup>[4]</sup>. با توجه به کیفیت بالاتر انرژی سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک حرارتی دارای متمرکزکننده، این سامانه‌ها می‌توانند بعنوان منبع تأمین انرژی چرخه رانکین آلی<sup>[5]</sup>، سامانه خنک‌کننده دسیکانت<sup>[6]</sup>، خشک‌کن هوای خورشیدی<sup>[7]</sup> و ساختار پمپ حرارتی<sup>[8]</sup> قرار گیرد.

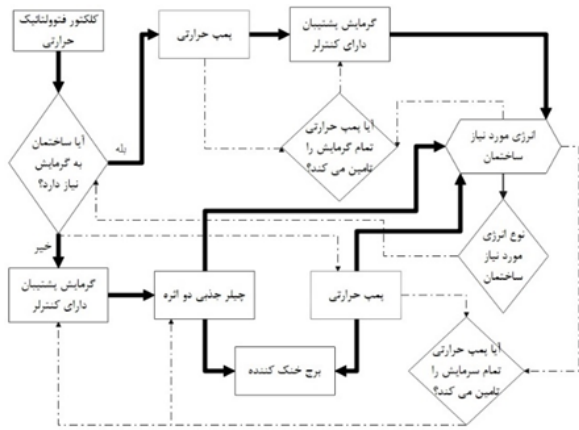
همان‌گونه که گفته شد روش‌های بسیاری برای استفاده از انرژی حرارتی سامانه خورشیدی فتوولتاییک حرارتی دارای متمرکزکننده وجود دارد. از میان تمامی این سامانه‌ها؛ سامانه تولید سه‌گانه سرمایش، گرمایش و توان عملکرد مناسبی را ارائه می‌دهد<sup>[9]</sup>. دو روش متداول ارائه سرمایش در چنین سامانه‌ای استفاده از پمپ حرارتی و چیلر جذبی است.

در تحقیق ارائه شده توسط لئونفورت و همکاران، طرح جدیدی برای ساختار پمپ حرارتی که بوسیله سامانه خورشیدی داری کلکتور فتوولتاییک حرارتی تأمین انرژی می‌شود مورد مطالعه قرار گرفته است. این مجموعه برای تأمین سرمایش، گرمایش و آب گرم مصرفی یک ساختمان مسکونی استفاده شده است. نتایج این تحقیق نمایش‌دهنده افزایش بازده الکتریکی و حرارتی کلکتور و عملکرد فصلی پمپ حرارتی است<sup>[10]</sup>.

دیمی دشت بیاض و همکاران در مطالعه دیگری به مدل‌سازی سامانه خورشیدی فتوولتاییک حرارتی دارای متمرکزکننده ترکیب شده با یک پمپ حرارتی پرداخته‌اند. این تحقیق برای مکانی در مشهد تحلیل و با داده‌های آزمایشگاهی اعتبارسنجی شده است. در این تحقیق بیان شده است با افزایش دبی جریان نانوسیال دمای پنل فتوولتاییک و سیال خروجی کاهش می‌یابد که به موجب آن بازده الکتریکی و حرارتی افزایش یافته اما در همین زمان بازده انرژی سامانه کاهش می‌یابد<sup>[11]</sup>.

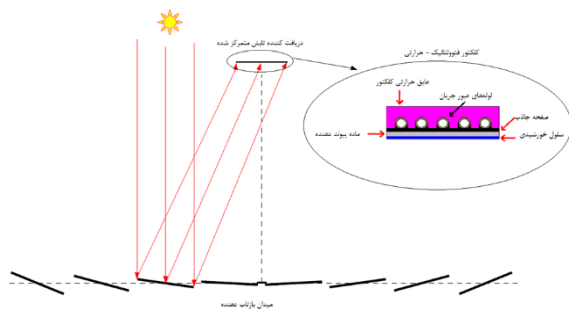
مطالعه دیگری بر روی بهبود ترموآکونومیک سامانه تولید سه‌گانه توسط کالیزه و همکاران صورت گرفته است. تولیدات این سامانه گرمایش، سرمایش و الکتریسیته هستند. این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار ترنسیس انجام گرفته است. نگارندگان دریافتند چنین سامانه‌ای به ۱۳۹ درصد صرفه‌جویی در انرژی می‌انجامد که این امر به موجب تولید انرژی بیش از نیاز مصرفی است. دوره بازگشت سرمایه برای چنین سامانه‌ای نیز ۱۹ سال بیان شده است<sup>[12]</sup>.

عرب‌کوهسار و سعدی در تحقیق خود به بررسی فنی عملکرد انواع چیلرهای جذبی دارای تأمین انرژی از منبع انرژی خورشیدی پرداخته‌اند. چیلرهای تک، دو و سه اثره در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. از کلکتور سهموی جهت متمرکز کردن پرتوهای خورشیدی در این سامانه استفاده می‌شود. مکان مدنظر این تحقیق دانمارک است. استفاده از چیلر دو و سه اثره موجب کاهش ۴۵ و ۵۰ درصدی هزینه سایر تجهیزات سامانه ترکیبی می‌شود<sup>[13]</sup>.



شکل ۱) شماتیک سامانه گرمایش، سرمایش و توان سامانه تولید سه‌گانه خورشیدی جهت تأمین انرژی مورد نیاز سامانه تهویه مطبوع یک واحد صنعتی.

۰/۱ متر، ضریب تمرکز ۱۵ خورشید، بازده نوری ۸۱ درصد، ۹۲ درصد جذب جاذب حرارتی کلکتور و ۱۸ درصد بازتابش جاذب حرارتی کلکتور هستند [14]. شکل ۲ نمایش دهنده ساختار خورشیدی مورد استفاده است.



شکل ۲) طرح‌واره ساختار خورشیدی شامل متمرکزکننده‌های بازتابشی فرنل خطی و کلکتور فتوولتائیک - حرارتی.

### کلکتور فتوولتائیک - حرارتی

پنل‌های فتوولتائیک مورد استفاده از نوع سه‌لایه با بازده ۱۶ درصد در شرایط نرمال، ضریب جذب ۰/۹، ضریب هدایت حرارتی ۱۴۸ وات بر متر کلوین و ضخامت ۶ میلی‌متر هستند [15]. برای انتقال حرارت به سیال عامل در این بخش، از عبور لوله‌های موازی در داخل جاذب حرارتی استفاده می‌شود. جنس جاذب از آلومینوم نترید با ضریب انتقال حرارت ۱۱۱۶ کیلو ژول بر ساعت مترکلوین است. سیال عام این بخش دارای چگالی ۸۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب و گرمای ویژه ۲/۱۴ کیلو ژول بر کیلوگرم کلوین است.

### ساختار مجتمع

در این بررسی یک مجتمع صنعتی دارای دو سازه به عنوان کارگاه، یک ساختمان مدیریتی و یک سازه انبار در نظر گرفته شده است. شکل ۳ نقشه این سازه را نمایش می‌دهد. مساحت هر کارگاه، انباری و ساختمان مدیریتی به ترتیب ۸۰۰، ۶۰۰ و ۲۰۰ متر مربع است. ارتفاع ساختمان‌های کارگاهی و مدیریتی به ترتیب ۷/۵ و

در این مطالعه یک سامانه جدید تولید سه‌گانه خورشیدی تولید سرمایش، گرمایش و توان با استفاده از کلکتور فتوولتائیک حرارتی دارای متمرکزکننده در راستای رفع نیازهای سامانه تهویه مطبوع یک واحد صنعتی پیشنهاد شده است. متمرکزکننده کلکتور فتوولتائیک حرارتی از نوع فرنل خطی و سلول‌های فتوولتائیک سه‌لایه است. یک چیلر جذبی دو اثره لیتیوم بروماید آب بخار جهت سامانه اصلی سرمایش مدنظر است. همچنین یک پمپ حرارتی برای بهبود عملکرد سامانه مورد استفاده قرار گرفته است. تحلیل پویای چنین سامانه‌ای برای اولین بار انجام پذیرفته است. این تحلیل با استفاده از شبیه‌سازی مدل نرم‌افزار ترنسیس و ای‌ای‌اس صورت گرفته است.

## ۲- شرح مسئله

### ۲-۱- نحوه عملکرد ساختار مورد مطالعه

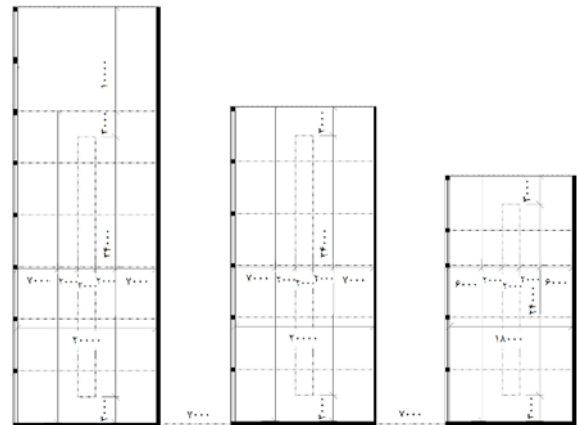
طرح‌واره سامانه سرمایش، گرمایش و تولید الکتریسیته خورشیدی در شکل ۱ نمایش داده شده است. این سامانه با توجه به نیاز مجموعه به گرمایش و سرمایش، چرخه مورد نیاز را فعال‌سازی می‌نماید. در شرایطی که مجموعه نیاز به گرمایش داشته باشد، انرژی حرارتی حاصل از کلکتورها به سیال عامل چرخه گرمایش انتقال داده می‌شود. در صورتی که دمای سیال عامل چرخه گرمایش کمتر از دمای مورد نیاز برای سامانه تهویه مطبوع باشد پمپ حرارتی وارد مدار می‌شود و با استفاده از انرژی الکتریکی از شبکه برق، دمای سیال عامل را افزایش می‌دهد. در صورت عدم توان پمپ حرارتی در تأمین انرژی برای رساندن دمای سیال چرخه گرمایش به دمای مدنظر سامانه تهویه مطبوع، گرم‌کن پشتیبان وارد مدار شده و انرژی مورد نیاز را تأمین می‌نماید. در شرایطی که مجموعه نیاز به سرمایش داشته باشد، انرژی حرارتی کلکتورها به سیال عامل چرخه سرمایش انتقال داده می‌شود. در شرایطی که دمای سیال عامل این چرخه کمتر از دمای عملکرد چیلر جذبی دواثره باشد، چرخه سرمایش پمپ حرارتی فعال می‌گردد. در حالتی که چرخه سرمایش پمپ حرارتی توانایی پاسخ‌گویی به نیاز سرمایشی مجموعه را نداشته باشد گرم‌کن پشتیبان چرخه سرمایش وارد عمل شده و انرژی مورد نیاز برای راه‌اندازی چیلر جذبی دو اثره را فراهم می‌آورد. در شرایطی نیز دمای سیال عامل چرخه سرمایش برای عملکرد چیلر جذبی مناسب باشد تنها این بخش از سامانه سرمایش فعال می‌شود.

### ۲-۲- اجزای ساختار مورد مطالعه

#### سامانه متمرکزکننده

در این بررسی از متمرکزکننده‌های بازتابشی فرنل خطی استفاده می‌شود. این بخش از سامانه همان گونه که از نام آن بر می‌آید، وظیفه تمرکز تابش مستقیم خورشیدی را بر روی جاذب (کلکتور فتوولتائیک - حرارتی) بر عهده دارد. متمرکزکننده‌های مدنظر در این مطالعه دارای ۶ متر طول، ۲ متر عرض، ۲۰ عدد آینه با عرض

۴/۵ متر است. همچنین این ساختمان‌ها دارای ضریب تعویض هوای ۳، ۲/۱، ۰/۸ و ۰/۶ هستند. دیوارهای خارجی و سقف دارای یو ولیو 533/1 (u value) و ۲/۱۵۵ وات بر متر مربع کلوبین هستند. همچنین زمان کارکرد این کارگاه از ساعت ۶ تا ۲۰ بوده و با توجه به شرایط مورد نیاز این مجتمع، دمای مطبوع برای تمامی ساختمان‌ها در تابستان ۲۶ درجه سلسیوس و در زمستان ۲۴ درجه سلسیوس است. در این تحقیق از هدررفت‌های انرژی در سامانه تهویه مطبوع صرف‌نظر شده است.



شکل ۳) نقشه ساختمان‌های مجموعه صنعتی.

### چیلر جذبی دو اثره

عملکرد چیلرهای جذبی بر اساس ضریب عملکرد بصورت کلی بر اساس معادله ۱ بیان می‌شود.

$$COP = \frac{|Q_c|}{Q_H} \quad (1)$$

در رابطه ۱؛ COP،  $Q_c$  و  $Q_H$  به ترتیب بیانگر ضریب عملکرد، گرمای گرفته شده از سیال خنک‌کننده (سیال چرخه تهویه مطبوع) و گرمای دریافتی از منبع گرم هستند. چیلر جذبی دو اثره لیتیوم بروماید آب در مقایسه با نوع تک‌اثره دارای ضریب عملکرد بالاتری است [16]. در این بررسی از چیلر جذبی دو اثره بخار، ساخت کارخانه ویونا دارای ضریب عملکرد ۱/۳ و ظرفیت ۱۰۰ تن تبرید استفاده می‌شود [17]. دما، فشار و دبی بخار ورودی در شرایط طراحی این دستگاه به ترتیب ۱۶۰ درجه سلسیوس، ۰/۵۱۷۱ مگا پاسکال و ۴۰۸ کیلوگرم در ساعت هستند.

### تانکرهای ذخیره

پویا بودن انرژی خورشیدی سبب می‌گردد که میزان انرژی تولیدی این سامانه نیز متغیر باشد. برای بهبود شرایط پایداری در سامانه های خورشیدی، معمولاً از ذخیره‌سازهای انرژی حرارتی در این سامانه ها استفاده می‌شود [18]. در این مطالعه به منظور بهبود عملکرد سامانه با در نظر داشتن ساختار اصلی سامانه از دو مخزن سیال عایق استفاده می‌گردد. ظرفیت هر یک از این مخزن‌ها ۵ متر مکعب است.

### مبدل‌های حرارتی

سیال مورد نظر برای استفاده در سامانه تهویه مطبوع آب است اما سیال عامل چرخه خورشیدی نوعی روغن است. برای انتقال انرژی حرارتی از چرخه خورشیدی به چرخه تهویه مطبوع بدون اختلاط جریان باید از یک مبدل حرارتی استفاده نمود. در این تحقیق از مبدل حرارتی پوسته‌ای لوله‌ای (Shell-and-tube) که یکی از گونه‌های پرکاربرد است استفاده می‌شود [19]. ضریب انتقال حرارت کل و دبی‌های ورودی این ساختار به ترتیب ۷۰۰ وات بر کلوبین و ۲۱۰ کیلوگرم بر ساعت هستند.

همچنین در چرخه سرمایش برای پیش‌گرمایش بخار چگالیده شده خروجی از چیلر، یک مبدل حرارتی قرار داده شده است تا با استفاده از سیال خروجی از مولد بخار دمای آن را افزایش دهد. این مبدل دارای تفاوت دمای نقطه به نقطه (Pinchpoint Temperature Difference) و میل کننده دمایی (Approach Temperature) ۱۵ و ۳ درجه سلسیوس به ترتیب است.

### مولد بخار

عملکرد چیلر جذبی نیازمند بخار دارای دما و فشار مشخصی است. برای تأمین این بخار در شرایطی که نیاز به در مدار قرارگرفتن چیلر است؛ یک مبدل بخار، انرژی جریان سیال را به بخار چگالیده شده خروجی از مبدل حرارتی چرخه سرمایش می‌دهد. این مبدل دارای تفاوت دمای نقطه به نقطه ۷ درجه سلسیوس است [20].

### برج خنک‌کننده

در هنگام استفاده از چیلر جذبی برای تولید سرمایش، مقداری انرژی حرارتی نیز در چرخه جذبی تولید می‌شود که باید از سامانه خارج شود. در این تحقیق از برج خنک‌کننده شرکت ساراول که برای شرایط دمای ورودی سیال ۳۶/۱۱ درجه سلسیوس دمای خروجی سیال ۲۹/۴۴ درجه سلسیوس دمای ورودی حباب‌تر ۱۷ درجه سلسیوس و دبی سیال و هوای ۸۱۷۶۴/۸۹ کیلوگرم بر ساعت و ۲۷۰۷۳ (CFM) استفاده می‌شود [21].

### پمپ حرارتی

پمپ حرارتی یک سامانه مناسب برای تأمین بخش یا تمامی نیاز انرژی ساختمان با استفاده از الکتریسیته تولیدی سامانه خورشیدی و یا شبکه است. از مهم‌ترین عوامل مناسب بودن این سامانه می‌توان به ضریب عملکرد بالای آن اشاره نمود. این سامانه با توجه به شرایط در ازای یک واحد انرژی الکتریکی، ۵ تا ۷ واحد انرژی به سامانه تحویل می‌دهد. در این مطالعه از مجموعه‌ای از پمپ‌های حرارتی شرکت تری به مجموع ظرفیت ۳۰ تن تبرید استفاده می‌شود [9].

### گرمایش‌های پشتیبان

گرمایش پشتیبان با توجه به نیاز سامانه در شرایطی که دیگر سامانه ها قادر به تأمین انرژی مورد نیاز نباشند وارد مدار شده و انرژی لازم سامانه را برای تأمین سرمایش و گرمایش برآورده

در روابط فوق بازده اپتیکی ( $\eta_{opt}$ )، طول فرنل خطی  $L$ ، فاصله دو مرکز صفحه‌های این فرنل خطی  $W$ ، ارتفاع جاذب از سطح فرنل خطی  $F$  و فاصله مرکز دو صفحه متمرکزکننده مرکزی فرنل خطی  $2D_w$  است.

در بخش بعد مدل نوع ۵۶۰ از کتابخانه تس (TES) برای تحلیل عملکرد کلکتور استفاده می‌شود.

### ۳-۳- بارهای حرارتی مجتمع

مدل نوع ۵۶ (Type56-TRNBuild) ترنسیس برای تحلیل بارهای ساختمان طراحی شده است. برای تولید این مدل اولیه از نرم‌افزار اسکچ‌آپ استفاده می‌شود. همچنین در این مدل امکان تعریف و تغییر بسیاری از عوامل مؤثر بر بار مجتمع وجود دارد.

### ۳-۴- چیلر جذبی دواتره

مدل مورد استفاده برای چیلر جذبی دواتره بخار، مدل نوع ۶۱۵ از کتابخانه تس است. این مدل نیازمند اطلاعات عملکردی سامانه در شرایط مختلف است. مدل‌سازی در نرم‌افزار ای‌ای‌اس بر مبنای کار زو و همکاران انجام پذیرفته است [26].

### ۳-۵- تانکرهای ذخیره

مدل نوع ۱۵۸ ترنسیس یکی از مدل‌هایی است که به صورت گسترده در تحلیل‌هایی که توسط ترنسیس انجام شده است مورد استفاده قرار می‌گیرد [27].

### ۳-۶- مبدل حرارتی

از دیگر اجزایی که در ترنسیس گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند مبدل‌های حرارتی هستند [27]. در این مطالعه از مبدل حرارتی جریان معکوس که در ترنسیس با مدل نوع B-15 مدل‌سازی شده است استفاده می‌شود. همچنین از یک مبدل حرارتی مدل A-608 برای مدل‌سازی مبدل حرارتی در چرخه سرمایش استفاده می‌شود.

### ۳-۷- مولد بخار

سامانه مورد بررسی نیاز به تولید بخار برای راه‌اندازی چیلر جذبی دواتره بخار را دارد، به این منظور از یک مولد بخار با استفاده از سیال دمایی بالا در این ساختار استفاده می‌شود. مدل مدنظر در این مطالعه برای این بخش از سیستم، مدل نوع A-637 است. این مدل با استفاده از عوامل تفاوت دمایی نقطه به نقطه و آنتالپی مورد انتظار در خروجی محاسبات خود را انجام می‌دهد. اریکسن و شرودر به تحلیل بنیادی این ساختار پرداخته‌اند [28].

### ۳-۸- گرمایش پشتیبان

گرمایش پشتیبان از دیگر بخش‌هایی می‌باشد که بخش جداناپذیر از تحلیل‌های سامانه‌های خورشیدی با نرم‌افزار ترنسیس است. برای مدل‌سازی این بخش در این پژوهش مانند بسیاری دیگر از تحقیق‌ها با استفاده از ترنسیس مدل نوع ۷۰۰ استفاده می‌گردد [27].

### ۳-۹- برج خنک‌کننده

مدل نوع ۱۶۸ ترنسیس برای شبیه‌سازی برج خنک‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل با ورود شرایط اسمی دستگاه آماده کاربرد است.

می‌سازد. در این تحقیق از گرمایش پشتیبان با استفاده از دیگ گرمکن گازی استفاده می‌شود. بازده عملکرد دیگ، ثابت و ۹۵ درصد در نظر گرفته می‌شود [22]. همچنین بازده احتراق نیز با ساده‌سازی ۸۵ درصد در دوره عملکرد اعمال می‌شود [23].

## ۳- مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم

جهت مدل‌سازی پویا این سامانه از دو نرم‌افزار ترنسیس (TRNSYS) و ای‌ای‌اس (EES) استفاده می‌شود. نرم‌افزار ترنسیس دارای کاربرد گسترده برای مدل‌سازی سامانه‌ها شامل انرژی‌های تجدیدپذیر، هم در حوزه تحقیقاتی و هم در حوزه اجرایی است [24]. برخی از مدل‌های موجود در ترنسیس بر اساس داده‌های عملکردی سامانه مدل شده، کدنویسی شده‌اند. از نرم‌افزار ای‌ای‌اس برای مدل‌سازی استخراج داده‌های مدل بکار برده شده در ترنسیس استفاده می‌شود. طرح‌واره مدل مورد استفاده ترنسیس در این مطالعه در شکل ۴ آورده شده است.

### ۳-۱- داده‌های آب و هوایی

آغاز هر شبیه‌سازی پویایی نیاز به داده‌های اولیه است. با توجه به سامانه مدنظر در این تحقیق؛ داده‌های مورد نیاز برای شروع تحلیل سامانه، داده‌های آب و هوایی است. به منظور وارد نمودن این داده‌ها در ترنسیس از مدل نوع ۲-۱۵ استفاده می‌شود. این مطالعه در جنوب غربی تهران با طول و عرض جغرافیایی  $37/7^\circ$  و  $51/3^\circ$  درجه و ارتفاع از سطح دریای ۱۱۹۰ متر انجام می‌پذیرد. برای استخراج این اطلاعات از نرم‌افزار متانورم استفاده می‌شود.

### ۳-۲- کلکتور فتوولتائیک - حرارتی دارای متمرکزکننده

جهت مدل‌سازی بخش متمرکزکننده، مدلی در ترنسیس جهت تحلیل متمرکزکننده خطی فرنل وجود ندارد؛ بنابراین با استفاده از معادلات ۲، ۳ و ۴ استخراج شده از تحقیق انجام گرفته توسط بلوس و تزیوانیدیس یک مدل جدید در ترنسیس برای این بخش کدنویسی می‌شود [25].

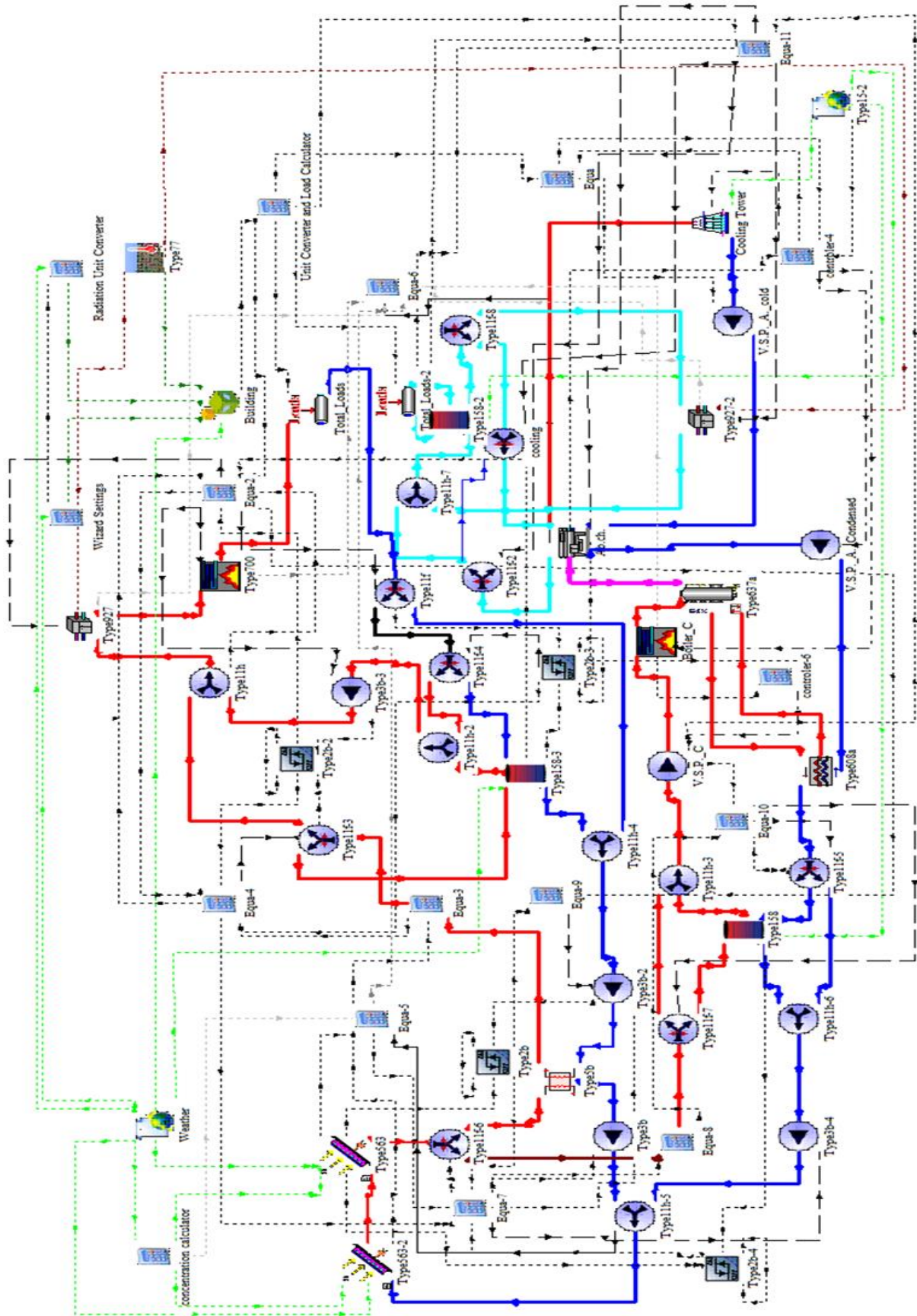
$$\eta_{opt}(\theta_L, \theta_T) = K_L(\theta_L) \times K_T(\theta_T) \times \eta_{opt}(0,0) \quad (2)$$

$$K_L(\theta_L) = \cos(\theta_L) - \frac{F}{L} \sqrt{1 + \left(\frac{W}{4F}\right)^2} \cdot \sin(\theta_L) \quad (3)$$

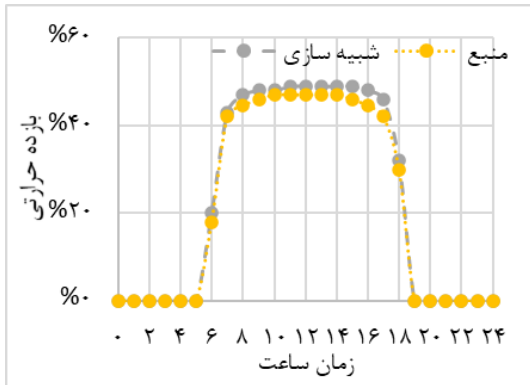
$$K_T(\theta_T) = \begin{cases} \cos\left(\frac{\theta_T}{2}\right) - \frac{\frac{w}{4}}{F + \sqrt{F^2 + \left(\frac{W}{4}\right)^2}} \sin\left(\frac{\theta_T}{2}\right) \\ \cos\left(\frac{\theta_T}{2}\right) - \frac{\frac{w}{4}}{F + \sqrt{F^2 + \left(\frac{W}{4}\right)^2}} \sin\left(\frac{\theta_T}{2}\right) \end{cases} \quad (4)$$

$$\left[ \frac{D_w}{W_0} \cdot \frac{\cos(\theta_T)}{\cos\left(\frac{\theta_T + \phi_m}{2}\right)} \right] : \theta_T \geq \theta_{T,crit}$$





شکل ۴) مدل سامانه تولید سه‌گانه خورشیدی با استفاده از کلکتور فتوولتاییک حرارتی دارای متمرکزکننده، چیلر جذبی دو اثره بخار و پمپ حرارتی جهت تهویه مطبوع یک مجموعه صنعتی در ترنسپس



شکل ۶) مقایسه بازده حرارتی مدل مورد بررسی و مطالعه دل آمو سانچو [18]

#### ۴-۳- مدل چیلر جذبی دو اثره

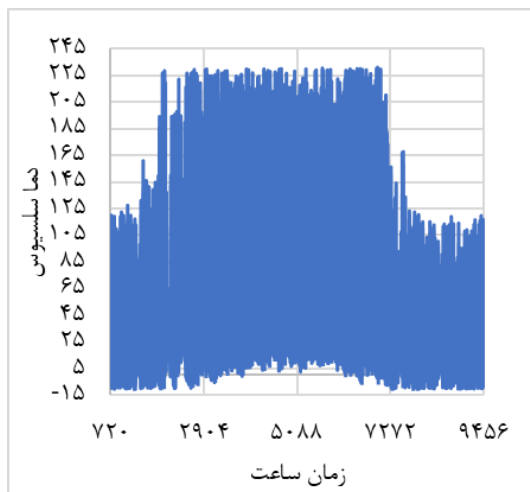
در شرایطی که چیلر در شرایط طراحی خود قرار داشته باشد تمامی پارامترهای خروجی برابر با مقادیر کاتالوگ است. در مقایسه داده‌های این مطالعه و بررسی ارائه شده توسط بین و همکاران، اختلاف ۲ تا ۴ درصدی مشاهده می‌شود [32]. این اختلاف ناشی از طراحی‌های متفاوت دو سامانه است اما با این وجود نتایج دارای روندی مشابه هستند.

#### ۴-۴- مدل پمپ حرارتی

مدل پمپ حرارتی مورد استفاده در این تحقیق دارای عملکردی مشابه کاتالوگ برای شرایط اسمی خود است. مقایسه انجام گرفته بین مدل این تحقیق برای شرایط مورد استفاده در مطالعه هوسوز و دیرک بر روی عملکرد سامانه پمپ حرارتی نشان‌دهنده اختلاف ۰/۵۶ درصدی این دو تحقیق است [33].

#### ۵- بحث و نتایج

اولین و مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر عملکرد چنین سامانه ای، دمای خروجی از کلکتور است. زیرا این متغیر مستقیماً بر میزان بازده الکتریکی و حرارتی چرخه خورشیدی تأثیرگذار است. شکل ۷ نمایش دهنده تغییرات دمای خروجی کلکتور در بازه سالانه است.



شکل ۷) دمای خروجی از کلکتورها در بازه سالانه.

#### ۳-۱- پمپ حرارتی

پمپ حرارتی در ترنسپس توسط نوع ۹۲۷ مدل‌سازی شده است. این مدل بر پایه داده‌های عملکردی پمپ حرارتی در شرایط متفاوت است. برای استفاده از این مدل نیاز به تولید دو فایل داده می‌باشد. برای استخراج این داده‌ها از معادلات ارائه شده در نوشته جیمز و ولش در کنوینسی ای‌ای اس استفاده شده است [29].

#### ۴- اعتبارسنجی

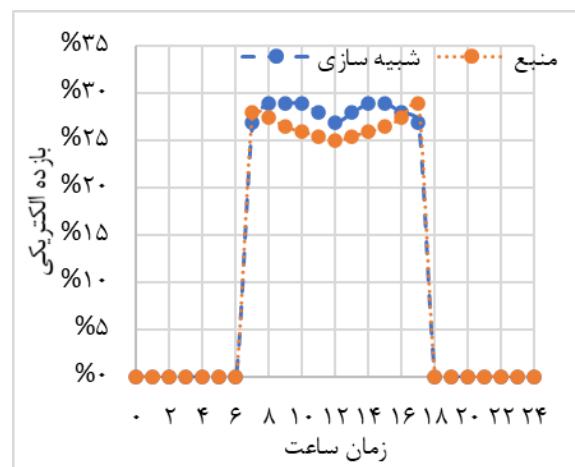
تا جایی که نویسندگان اطلاع دارند هیچ پژوهشی در این زمینه در بردارنده تمامی اجزای مورد بررسی در این مطالعه موجود نیست. از این رو برای اعتبارسنجی این تحقیق از مطالعاتی که دارای تشابه خوبی باشند استفاده می‌شود.

#### ۴-۱- مدل ساختمان

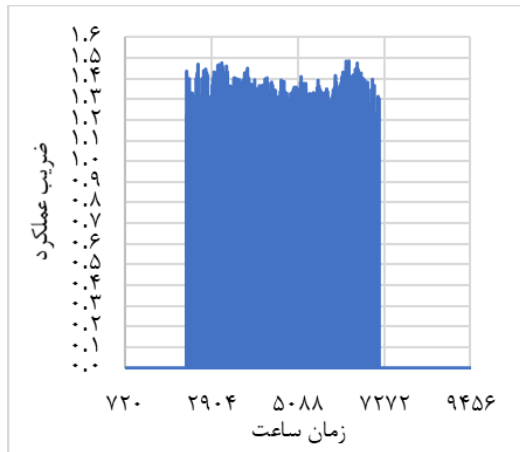
خدا کرمی و همکاران در تحقیقی به بررسی انرژی یک مجموع بیمارستانی پرداخته‌اند [30]. با در نظر گرفتن سازه مورد نظر در تحقیق خدا کرمی و همکاران در مدل مورد استفاده در این مطالعه داده‌ها نمایش دهنده نیاز به ۳/۷۱ درصد گرمایش و ۴/۳۴ درصد سرمایش بیشتر این مدل نسبت به تحقیق خدا کرمی و همکاران است. این اختلاف با توجه به عدم استفاده از داده‌های آب و هوایی یکسان میزان قابل قبولی است.

#### ۴-۲- مدل کلکتور فتوولتائیک - حرارتی دارای متمرکزکننده

برای اعتبارسنجی مدل این بخش، از مطالعه انجام‌گرفته توسط دل آمو سانچو بر روی یک سامانه خورشیدی با کلکتور فتوولتائیک - حرارتی دارای متمرکزکننده با ضریب تمرکز ۱۰ خورشید در مادرید اسپانیا استفاده می‌شود [31]. برای این منظور داده‌های بازده الکتریکی و حرارتی این سامانه در کنار داده‌های ارائه شده در مقاله در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده‌اند. این داده‌ها نشان‌دهنده اختلاف تا ۱۰ درصد داده‌های این تحقیق و تحقیق مورد استناد است.



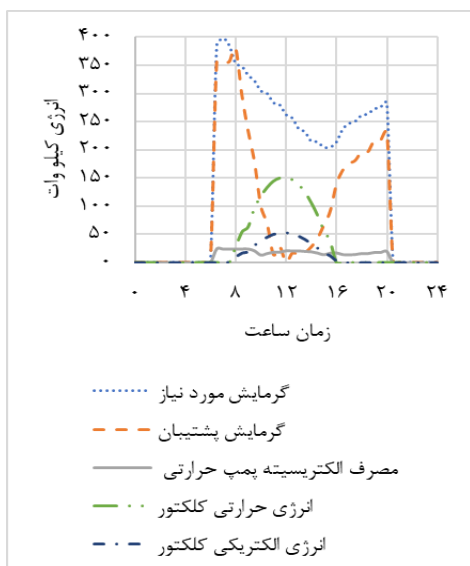
شکل ۸) مقایسه بازده الکتریکی مدل مورد بررسی و مطالعه دل آمو سانچو [31]



شکل ۹) ضریب عملکرد چیلر در طول دوره عملکرد.

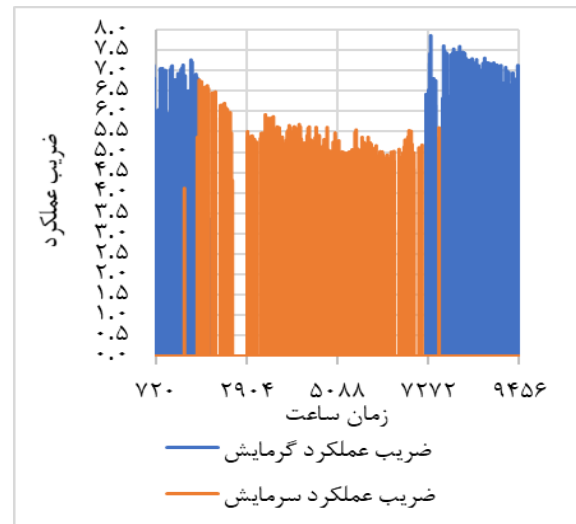
برسد و با عبور از شرایط طراحی (افزایش بیشتر دما) این مقدار به روند کاهنده خود ادامه می‌دهد. در این تحقیق فشار بخار ورودی ثابت در نظر گرفته شده است.

شکل ۱۰ بیانگر انرژی‌های گرمایش مورد نیاز ساختمان، گرمایش پشتیبان، الکتریکی مورد نیاز پمپ حرارتی و الکتریکی - حرارتی تولیدی کلکتور در یک روز زمستانی است. بر مبنای این داده‌ها، در فصل زمستان سامانه پیشنهادی مطابق پیش‌بینی به هر دو سامانه گرمایش پشتیبان و پمپ حرارتی نیاز دارد. نکته دارای اهمیت در این نمودار، نمایش انرژی گرمایش پشتیبان با در نظر گرفتن بازده مبدل حرارتی و سوخت است که در مجموع ۲۵ درصد بیشتر از گرمای خالص قابل حصول از مبدل را نمایش می‌دهد. انرژی الکتریکی تولیدی از پنل این ساختار در تمام دوره عملکرد چرخه گرمایش پاسخگوی نیاز پمپ حرارتی مورد استفاده نیست، بر این مبنای باید در زمان‌هایی الکتریسیته تولیدی به شبکه فروخته و در زمانهایی نیز باید خریداری شود.



شکل ۱۰) انرژی تولیدی و مصرفی در ۵ دی ماه سامانه تولید سه‌گانه خورشیدی جهت تأمین انرژی مورد نیاز سامانه تهویه مطبوع یک واحد صنعتی.

بازده حرارتی کلکتورهای خورشیدی در فصل نیاز به گرمایش و سرمایش به ترتیب ۵۲ تا ۵۴ و ۴۰ تا ۴۶ درصد محاسبه شد. بازده الکتریکی این کلکتورها نیز در فصل نیاز به گرمایش و سرمایش به ترتیب ۱۹ تا ۲۵ و ۱۶ تا ۲۲ درصد به دست آمده است. باید توجه داشت که این بازده الکتریکی مناسب سامانه حاصل از استفاده از سلول‌های الکتریکی سه‌لایه که نسبت به دما حساسیت کمتری دارند، است.



شکل ۸) ضریب عملکرد پمپ حرارتی در دوره سالانه.

یکی دیگر از عوامل مؤثر در بازده چنین سامانه ای ضریب عملکرد پمپ حرارتی است. هرچه میزان این عامل بیشتر باشد سامانه، عملکرد مناسب‌تری خواهد داشت. این عامل تحت تأثیر دماهای ورودی است. شکل ۸ ضرایب عملکرد چرخه سرمایش و گرمایش را در بازه سالانه به نمایش می‌گذارد. بیشینه ضرایب عملکرد در شرایط چرخه گرمایش و سرمایش به ترتیب ۷/۸۳ و ۶/۷۷ محاسبه شده‌اند. این مقادیر دارای همپوشانی با ماهیت ذاتی پمپ حرارتی است که ضریب عملکرد چرخه گرمایش یک واحد بیشتر از چرخه سرمایش است.

تأمین سرمایش ساختار مورد بررسی عمدتاً به عهده چیلر جذبی دواثره است. ضریب عملکرد چیلر یک عاملی است که به واسطه آن می‌توان تمامی عوامل دیگر اثرگذار در عملکرد چیلر را جمع‌بندی نمود. نمای کلی از ضریب عملکرد چیلر در دوره سالانه در شکل ۹ به نمایش درآمده است. بیشینه ضریب عملکرد با مقدار ۱/۴۸ در زمانی حاصل می‌شود که بار حرارتی کمتر از بار اسمی و دمای ورودی از برج خنک‌کننده نیز کمتر از دمای ورودی چیلر در شرایط اسمی است. کمینه این مقدار ۱/۲ در شرایطی که دمای ورودی از برج خنک‌کننده بیشتر از دمای طراحی و بار سرمایش مورد نیاز نزدیک به بار اسمی دستگاه است حاصل می‌شود. در شرایط کلی با میل دما و بار سرمایشی تولیدی چیلر به شرایط طراحی، مقدار ضریب عملکرد کاهش یافته تا به مقدار طراحی ۱/۳



داده‌های استخراج شده برای دو سامانه مشابه با یک تفاوت اساسی که یکی از آن‌ها از انرژی خورشیدی استفاده می‌نمایند در جدول ۲ آورده شده‌اند. بر اساس این نتایج، استفاده از یک سامانه خورشیدی دارای کلکتور فتوولتاییک - حرارتی متمرکزکننده موجب کاهش ۱۹ و ۳۹ درصدی در نیاز به گرمایش پشتیبان و انرژی مصرفی پمپ حرارتی در چرخه گرمایش می‌شود. در مرحله دوم چنین ساختاری میزان استفاده از گرمایش پشتیبان و انرژی مصرفی پمپ حرارتی در چرخه گرمایش را به ترتیب ۶۱ و ۴۹ درصد تقلیل می‌دهد. در نهایت نیز این سامانه ۱۰/۱۰۶ مگاوات ساعت انرژی تولید می‌نماید که هم می‌تواند به شبکه فروخته شود و هم مورد استفاده باشد.

جدول ۲) میزان تولید و مصرف انرژی سالانه در دو سامانه یکی دارای سیکل خورشیدی و دیگری فاقد آن (واحدها مگاوات ساعت هستند)

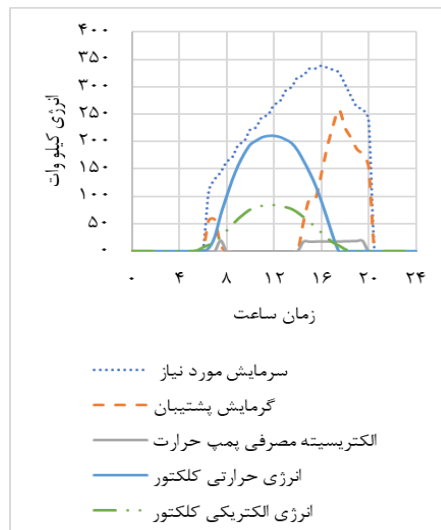
		بدون سیکل خورشیدی	دارای سیکل خورشیدی
سیکل گرمایش	انرژی مصرفی پمپ حرارتی	۴۸/۰۵	۲۹/۳۲
	گرمایش پشتیبان	۲۳۰/۶۰	۱۸۷/۰۴
سیکل سرمایش	انرژی مصرفی پمپ حرارتی	۲۴/۸۲	۱۲/۷۷
	گرمایش پشتیبان	۱۹۷/۱۰	۷۷/۰۳
کلکتور	انرژی الکتریکی	۰	۱۰/۰۶
	انرژی حرارتی	۰	۲۴۰/۷۲

جدول ۳) میزان تولید و مصرف انرژی سالانه در دو سامانه یکی دارای پمپ حرارتی و دیگری فاقد آن (واحدها مگاوات ساعت هستند)

		بدون پمپ حرارتی	دارای پمپ حرارتی
سیکل گرمایش	انرژی مصرفی پمپ حرارتی	۰	۲۹/۳۲
	گرمایش پشتیبان	۳۳۹/۲۰	۱۸۷/۰۴
سیکل سرمایش	انرژی مصرفی پمپ حرارتی	۰	۱۲/۷۷
	گرمایش پشتیبان	۱۴۵/۴۵	۷۷/۰۳
کلکتور	انرژی الکتریکی	۱۰/۰۶	۱۰/۰۶
	انرژی حرارتی	۲۴۰/۷۲	۲۴۰/۷۲

مقایسه دیگری میان میزان تولید و مصرف انرژی سامانه خورشیدی پیشنهادی دارای پمپ حرارتی و شرایطی که این سامانه فاقد آن باشد در جدول ۳ آورده شده است. اگرچه سامانه فاقد پمپ حرارتی میزان انرژی الکتریکی کمتری نسبت به سامانه اصلی دارد اما دارای مصرف انرژی گرمایش پشتیبان ۴۳ و ۴۷ بیشتری به ترتیب در چرخه های گرمایشی و سرمایشی است. این نکته دارای اهمیت است که اختلافی در میزان انرژی حرارتی و الکتریکی تولیدی از کلکتور میان این دو ساختار وجود ندارد.

عملکرد انرژی این سامانه در یک روز تابستانی در شکل ۱۱ آورده شده است. بر مبنای این داده‌ها؛ سامانه در این حالت نیز مانند شرایط یک روز زمستانی با توجه به وضعیت الکتریسیته گاهی به شبکه ارائه و گاهی از آن دریافت می‌شود.



شکل ۱۱) انرژی تولیدی و مصرفی ۳۰ تیر ماه سامانه تولید سه‌گانه خورشیدی برای تأمین انرژی مورد نیاز سامانه تهویه مطبوع یک واحد صنعتی.

برای تحلیل عملکرد سامانه پیشنهادی در تأمین نیازهای تهویه مطبوع مجموعه صنعتی مدنظر، میزان انرژی برودتی و گرمایش کل این مجموعه به تفکیک در جدول ۱ آورده شده است. عوامل ایجاد تفاوت در میزان انرژی مورد نیاز ساختمان‌ها؛ نرخ تعویض هوا، میزان سایه‌اندازی و اشتراک دیوار با ساختمان مجاور هستند. کارگاه ۱ که دارای ابعادی مشابه کارگاه ۲ است نیاز به انرژی بیشتری دارد. به همین صورت ساختمان ۲ و انبار به علت نرخ تعویض هوای کمتر دارای نیاز انرژی کمتری است. ۲۳ دی‌ماه ساعت ۷، این مجموعه به بیشینه انرژی گرمایشی و ۳۰ تیرماه ساعت ۱۶ به بیشترین میزان برودت نیاز دارد.

جدول ۱) بارهای سرمایشی و گرمایشی مجموعه

	کارگاه یک		کارگاه دو	
	گرمایش	سرمایش	گرمایش	سرمایش
انرژی مگاوات ساعت	۱۷۶/۲۲	۱۲۰/۹۳	۱۳۶/۴۸	۱۱۴/۸۶
ساختمان مدیریت	انبار			
سرمایش	گرمایش	سرمایش	گرمایش	سرمایش
انرژی مگاوات ساعت	۶۰/۶۱	۷۹/۳۸	۱۹/۹۲	۱۲/۶۳
کل مجموعه	گرمایش			
سرمایش	گرمایش			
انرژی مگاوات ساعت	۳۹۳/۲۲		۳۲۷/۸۰	

جدول ۴) مقایسه انرژی تولیدی و مصرفی سالانه سامانه مورد مطالعه با سه کلکتور متمرکز کننده حرارتی، غیر متمرکز فتوولتاییک حرارتی و متمرکز فتوولتاییک حرارتی (واحدها مگاوات ساعت هستند)

کلکتور فتوولتاییک حرارتی	کلکتور متمرکزکننده حرارتی	سامانه مورد بررسی	
		سیکل گرمایش	سرمایش
۲۳۰/۷۸	۱۷۵/۰۱	گرمایش پشتیبان ۱۸۷/۰۴	انرژی مصرفی پمپ حرارتی ۲۹/۳۲
۴۷/۸۹	۲۶/۴۸	گرمایش پشتیبان ۷۷/۰۳	انرژی مصرفی پمپ حرارتی ۱۲/۷۷
۱۸۱/۷۷	۵۷/۹۹	گرمایش پشتیبان ۷۷/۰۳	انرژی مصرفی پمپ حرارتی ۱۲/۷۷
۲۴/۸۳	۲۱/۴۳	گرمایش پشتیبان ۷۷/۰۳	انرژی مصرفی پمپ حرارتی ۱۲/۷۷
۰/۹۷	۲۴۳/۷۴	انرژی حرارتی ۲۴۰/۷۲	انرژی الکتریکی ۱۰۱/۰۶
۱۲۳/۱۴	۰	انرژی حرارتی ۲۴۰/۷۲	انرژی الکتریکی ۱۰۱/۰۶

برای تحلیل بهتر عملکرد کلکتور متمرکزکننده نتایج میزان تولید و استفاده از انرژی سامانه پیشنهادی با این سامانه در شرایطی که از کلکتور متمرکزکننده حرارتی و کلکتور فتوولتاییک حرارتی بدون متمرکزکننده دارای سطح پوشش یکسان در نظر گرفته شود در جدول ۴ آورده شده است. بر اساس داده‌ها، حاصل سامانه ای دارای کلکتور متمرکزکننده حرارتی کمترین میزان نیاز به انرژی گرمایش‌های پشتیبان را دارد. در رتبه دوم در این مقایسه، کلکتور متمرکزکننده فتوولتاییک حرارتی با ۷ و ۳۲ درصد به ترتیب گرمایش پشتیبان چرخه گرمایش و سرمایش نسبت به رتبه اول قرار دارد. در رتبه سوم نیز کلکتور فتوولتاییک حرارتی با ۳۱ و ۳۱۸ درصد به ترتیب گرمایش پشتیبان چرخه گرمایش و سرمایش نسبت به رتبه اول قرار دارد. سامانه دارای کلکتور متمرکزکننده فتوولتاییک حرارتی کمترین میزان مصرف انرژی مصرفی پمپ حرارتی است. کلکتور فتوولتاییک حرارتی داری بیشینه تولید الکتریکی است. اما خلاف انتظار این تفاوت با کلکتور متمرکزکننده فتوولتاییک حرارتی ۱۸ درصد است که ناشی از استفاده از سلول‌های فتوولتاییک سه‌لایه است. زیرا این سلول‌ها تأثیرپذیری کمتری از تغییرات دمایی دارند.

#### ۶- نتیجه‌گیری

سامانه مورد مطالعه در این تحقیق یک سامانه سرمایش - گرمایش خورشیدی است. چرخه خورشیدی این ساختار از کلکتور فتوولتاییک حرارتی دارای متمرکزکننده تشکیل شده است. متمرکزکننده‌های مورد استفاده در این ساختار از نوع فرنل خطی هستند. همچنین از سلول‌های خورشیدی سه‌لایه برای پنل‌های فتوولتاییک استفاده شده است. ساختار دارای دو کلکتور بصورت سری و ۲۵ عدد از این سری‌ها با ارتباط موازی جهت تأمین انرژی است. برای تأمین گرمایش یک پمپ حرارتی با ظرفیت ۳۰ تن تبرید و یک گرمایش پشتیبان همگام با سامانه خورشیدی استفاده شده است. به منظور تأمین سرمایش سامانه نیز از یک چیلر جذبی

۱۰۰ تن تبرید و پمپ حرارتی ۳۰ تن همزمان با توجه به شرایط استفاده می‌شود. چیلر جذبی مورد استفاده از نوع لیتیموم بروماید آب دواثره بخار است. این ساختار جهت تأمین نیازهای تهویه مطبوع یک مجموعه صنعتی مورد استفاده و تحلیل قرار می‌گیرد. مکان در نظر گرفته شده برای این تحلیل جنوب غربی تهران است. اعتبارسنجی مدل‌های مورد استفاده با استفاده از داده‌های مطالعات دیگر و داده‌های کاتالوگ‌های شرکت سازنده انجام پذیرفته است.

مهم‌ترین نتایج حاصل از این پژوهش در ادامه آورده شده‌اند.

- بازده متوسط الکتریکی و حرارتی کلکتور فتوولتاییک حرارتی دارای متمرکزکننده به ترتیب ۲۰ و ۵۱ درصد حاصل شده‌اند.
- کلکتور فتوولتاییک حرارتی دارای متمرکزکننده در مقایسه با کلکتور حرارتی دارای متمرکزکننده و کلکتور فتوولتاییک حرارتی با سطح یکسان دارای تولید انرژی به ترتیب ۲۸ و ۶۴ درصد بیشتر است.
- انرژی الکتریکی و حرارتی تولیدی سالانه کلکتور به ترتیب ۲۴۰/۷۲ و ۱۰۱/۰۶ مگاوات ساعت است.
- استفاده از این کلکتور فتوولتاییک حرارتی و متمرکز فتوولتاییک حرارتی در این سامانه موجب کاهش نیاز به گرمایش‌های پشتیبان به میزان ۶۲ درصد می‌شود.
- ضریب عملکرد متوسط چیلر جذبی ۱/۲۸ است.
- ضریب عملکرد گرمایش و سرمایش متوسط پمپ حرارتی به ترتیب ۴/۵ و ۵/۵ است.
- استفاده از پمپ حرارتی در سامانه در مقایسه با عدم استفاده از آن موجب کاهش نیاز به انرژی به مقدار ۵۸ درصد می‌شود.
- میزان انرژی مصرفی سالانه پمپ حرارتی ۴۲/۰۹ مگاوات ساعت است.
- ساختار خورشیدی با ابعاد مدنظر به تنهایی توانایی تأمین تمام انرژی لازم جهت تهویه مطبوع این مجتمع را ندارد و نیاز به گرمایش پشتیبان ۲۶۴/۰۷ مگاوات ساعت در سال است.
- در این مقاله تحلیل انرژی عملکرد یک سامانه خورشیدی متمرکز دارای کلکتور فتوولتاییک حرارتی برای تأمین انرژی سامانه تهویه مطبوع یک مجتمع صنعتی مورد تحلیل انرژی قرار گرفته است.

#### زمینه‌های تحقیقات آینده

- استفاده از یک سامانه پمپ حرارتی و سیکل تولید توان مانند رانکین آلی برای تولید تمام سرمایش مورد نیاز.
- تحلیل اقتصادی سامانه گرمایش و سرمایش و تولید توان با استفاده از کلکتور فتوولتاییک حرارتی دارای متمرکزکننده.
- استفاده از دیگر انواع ساختارهای متمرکزکننده در این ساختار.

7- Shoeibi S, Kargarsharifabad H, Mirjalily SAA, Zargarazad M. Performance Analysis of Finned Photovoltaic/Thermal Solar Air Dryer with Using a Compound Parabolic Concentrator. *Applied Energy*. 2021;304:117778.

8- Liu Y, Zhang H, Chen H. Experimental Study of an Indirect-Expansion Heat Pump System Based on Solar Low-concentrating Photovoltaic/Thermal Collectors. *Renewable Energy*. 2020;157:718-30.

9- Chen H, Li Z, Xu Y. Evaluation and Comparison of Solar Trigenation Systems Based on Photovoltaic Thermal Collectors for Subtropical Climates. *Energy Conversion and Management*. 2019;199:111959.

10- Leonforte F, Miglioli A, Del Pero C, Aste N, Cristiani N, Croci L, et al. Design and Performance Monitoring of a Novel Photovoltaic-thermal Solar-assisted Heat Pump System for Residential Applications. *Applied Thermal Engineering*. 2022;210:118304.

11- Deymi-Dashtebayaz M, Rezapour M, Farahnak M. Modeling of a Novel Nanofluid-based Concentrated Photovoltaic Thermal System Coupled with a Heat Pump Cycle (CPVT-HP). *Applied Thermal Engineering*. 2022;201:117765.

12- Calise F, Cappiello FL, Dentice d'Accadia M, Vicidomini M. Thermo-economic Optimization of a Novel Hybrid Renewable Trigenation Plant. *Renewable Energy*. 2021;175:532-49.

13- Arabkoohsar A, Sadi M. Technical Comparison of Different Solar-powered Absorption Chiller Designs for Co-supply of Heat and Cold Networks. *Energy Conversion and Management*. 2020;206:112343.

14- Grena R, Tarquini P. Solar Linear Fresnel Collector Using Molten Nitrates as Heat Transfer Fluid. *Energy*. 2011;36(2):1048-56.

15- Helmers H, Schachtner M, Bett AW. Influence of Temperature and Irradiance on Triple-junction Solar Subcells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2013;116:144-52.

16- Chahartaghi M, Golmohammadi H, Shojaei AF. Performance Analysis and Optimization of New Double Effect Lithium Bromide-water Absorption Chiller with Series and Parallel Flows. *International Journal of Refrigeration*. 2019;97:73-87.

17- viunahvac. viunahvac catalog. 1400.

18- Dahash A, Ochs F, Janetti MB, Streicher W. Advances in Seasonal Thermal Energy Storage for Solar District Heating Applications: A Critical Review on Large-scale Hot-water Tank and Pit Thermal Energy Storage Systems. *Applied Energy*. 2019;239:296-315.

19- Cengel YA, Boles MA, Kanoğlu M. *Thermodynamics: an Engineering Approach*: McGraw-hill New York; 2011.

20- Sun J, Liu Q, Duan Y. Effects of Evaporator Pinch Point Temperature Difference on Thermo-economic Performance of Geothermal Organic Rankine Cycle Systems. *Geothermics*. 2018;75:249-58.

21- Corporation S. *Saravel Corporation catalog*. 2020.

22- Bonaros V, Gelegenis J, Harris D, Giannakidis G, Zervas K. Analysis of the energy and cost savings caused by using condensing boilers for heating dwellings in Greece. In *The 5th International Conference on Applied Energy ICAE 2013*.

• تحلیل اثرات استفاده از انواع ساختارهای جاذب‌های حرارتی و سیال‌های عامل در این سامانه مانند ریزلوله ها ، مواد متخلخل، نانوسیال‌ها و غیره.

#### فهرست علائم

COP	ضریب عملکرد
$2D_w$	فاصله مرکز دو صفحه متمرکزکننده مرکزی فرنل (m)
F	ارتفاع جاذب از سطح فرنل (m)
L	طول فرنل (m)
$Q_c$	گرمای گرفته شده از سیال خنک‌کننده (w)
$Q_H$	گرمای دریافتی از منبع گرم (w)
W	فاصله دو مرکز صفحه‌های فرنل (m)

علایم یونانی

$\eta_{opt}$  بازده اپتیکی

**تأییدیه اخلاقی:** محتویات علمی این مقاله حاصل پژوهش نویسندگان است و در هیچ نشریه ایرانی و غیر ایرانی منتشر نشده است.

**تعارض منافع:** در این مقاله از برخی نتایج حاصل از رساله دکتری نویسنده اول استفاده شده است. هیچ تعارض منافع دیگری برای اظهار وجود ندارد.

**منابع مالی:** تمامی منابع مالی این تحقیق توسط نویسندگان مقاله تأمین شده است.

#### منابع

1- Panwar NL, Kaushik SC, Kothari S. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2011;15(3):1513-24..

2- Eisenberg R, Nocera DG. Preface: Overview of the Forum on Solar and Renewable Energy. *Inorganic Chemistry*. 2005;44(20):6799-801.

3- Chaibi Y, El Rhafiki T, Simón-Allué R, Guedea I, Luaces SC, Gajate OC, et al. Air-based Hybrid Photovoltaic/Thermal Systems: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2021;295:126211.

4- Kong X, Zhang L, Xu W, Li H, Kang Y, Wu J, et al. Performance Comparative Study of a Concentrating Photovoltaic/Thermal Phase Change System with Different Heatsinks. *Applied Thermal Engineering*. 2022;208:118223.

5- Khouya A. Performance Analysis and Optimization of a Trilateral Organic Rankine Powered by a Concentrated Photovoltaic Thermal System. *Energy*. 2022;247:123439.

6- Chandan, Baig H, ali Tahir A, Reddy KS, Mallick TK, Pesala B. Performance Improvement of a Desiccant Based Cooling System by Mitigation of Non-uniform Illumination on the Coupled Low Concentrating Photovoltaic Thermal Units. *Energy Conversion and Management*. 2022;257:115438.

- 23- Jayamaha DL. Energy-efficient building systems. McGraw-hill publishing Company; 2007.
- 24- Klein SA. TRNSYS-A transient system simulation program. University of Wisconsin-Madison, Engineering Experiment Station Report. 1988:38-12.
- 25- Bellos E, Tzivanidis C. Development of Analytical Expressions for the Incident Angle Modifiers of a Linear Fresnel Reflector. *Solar Energy*. 2018;173:769-79.
- 26- Xu GP, Dai YQ, Tou KW, Tso CP. Theoretical Analysis and Optimization of a Double-effect Series-flow-type Absorption Chiller. *Applied Thermal Engineering*. 1996;16(12):975-87.
- 27- Shrivastava RL, Vinod K, Untawale SP. Modeling and Simulation of Solar Water Heater: A TRNSYS Perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;67:126-43.
- 28- Eriksen VL, Schroeder JE. Other/unique HRSGs. In: *Heat Recovery Steam Generator Technology 2017*; (pp. 379-396). Woodhead Publishing.
- 29- James RW, Welch TC. Chapter 9 - Refrigeration and Heat-Pump Systems. In: Legg R, editor. *Air Conditioning System Design*: Butterworth-Heinemann; 2017. p. 167-89.
- 30- Khodakarami J, Knight I, Nasrollahi N. Reducing the Demands of Heating and Cooling in Iranian hospitals. *Renewable Energy*. 2009;34(4):1162-8.
- 31- del Amo Sancho A. Solar Trigenation: A Transitory Simulation of HVAC Systems Using Different Typologies of Hybrid Panels. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2014;2(1):1-14.
- 32- Yin H, Qu M, Archer DH. Model Based Experimental Performance Analysis of a Microscale LiBr-H<sub>2</sub>O Steam-driven Double-effect Absorption Chiller. *Applied Thermal Engineering*. 2010;30(13):1741-50.
- 33- Hosoz M, Direk M. Performance Evaluation of an Integrated Automotive Air Conditioning and Heat Pump System. *Energy Conversion and Management*. 2006;47(5):545-59.