



## Energy and Exergy Analysis of Photovoltaic Thermal System (PV/T) With Water Flow

M. Mazidi Sharfabadi<sup>1\*</sup>, M. Rasaei<sup>2</sup>, N. Davoudi<sup>3</sup>

1- Assistant Professor of Mechanical Engineering, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran

2- M. Sc. Graduated of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran

3- M. Sc. Graduated of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran

Email: mazidim@ripi.ir

### Abstract

*In this work, the performance of a solar system, in more detail, the thermal photovoltaic system is investigated. Numerical study has been done through coding in MATLAB software and by simultaneously solving equations related to the electrical and thermal parts, which provides the possibility of performing various investigations on the system. It is noteworthy that the PV part of this code, which is entirely accurate, can also use independently for photovoltaic systems. Numerical study has three features: parametric study, and collector performance in one day and in one year. As the wind speed increases from zero to 14 m/s, the electrical efficiency increases by about 4%, the thermal efficiency decreases by about 22%, and the overall efficiency of the system decreases by 18%; Therefore, there is a possibility of drastic changes in the performance of the system with changes in wind speed. By increasing the amount of radiation from 350 to 1050 W/m<sup>2</sup>, the electrical, thermal and overall efficiency shows a 1% decrease, 16% increase and 14% increase, respectively. Assuming an increase in the ambient temperature from 5 to 60 °C, the electrical efficiency decreases by 2.5%, the thermal efficiency increases by 0.5% and the overall efficiency decreases by 2%. Also, the results show that the thermal output power of the photovoltaic thermal system varies between 280 and 460 Watts and the electrical output power varies between 120 and 190 Watts throughout the year.*

Received: 13 August 2022

Accepted: 6 March 2023

Page Number: 20-37

### Keywords:

Solar Energy,  
Thermal Photovoltaic  
System,  
Energy and Exergy  
Analysis

### Please Cite this Article Using:

Mazidi Sharfabadi, M., Rasaei, M., & Davoudi, N. (2024). Energy and Exergy Analysis of Photovoltaic Thermal System (PV/T) With Water Flow. *Iranian Chemical Engineering Journal*, 22(131), 20-37, [In Persian].



## تحلیل انرژی و انرژی سامانه فتوولتائیک حرارتی (PV/T) با جریان آب

محمد مزیدی شرف آبادی<sup>۱\*</sup>، مهران رسائی<sup>۲</sup>، نرگس داودی<sup>۳</sup>

۱- استادیار مهندسی مکانیک، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران

۲- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، تهران

۳- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

پیام نگار: mazidim@ripi.ir

### چکیده

در این مطالعه عملکرد یک سامانه فتوولتائیک حرارتی خورشیدی بررسی شده است. مطالعه عددی با کدنویسی در نرم افزار متلب و با حل همزمان معادلات مربوط به بخش الکتریکی و حرارتی انجام گرفته است که امکان انجام بررسی های مختلف بر روی سامانه را فراهم می سازد. مطالعه عددی دارای سه بخش مطالعه مشخصه ای عوامل محیطی، عملکرد سامانه در یک روز و در یک سال است. با افزایش سرعت باد از صفر تا ۱۴ متر بر ثانیه، بازده الکتریکی حدود ۴٪ افزایش، بازده حرارتی حدود ۲۲٪ کاهش و بازده کلی سامانه ۱۸٪ کاهش می یابد؛ بنابراین امکان تغییرات شدیدی در عملکرد سامانه با تغییرات سرعت باد وجود دارد. با افزایش میزان تابش از ۳۵۰ تا ۱۰۵۰ وات بر مترمربع بازده الکتریکی، حرارتی و بازده کلی به ترتیب ۱٪ کاهش، ۱۶٪ افزایش و ۱۴٪ افزایش را نشان می دهد. با فرض افزایش دمای محیط از ۵ تا ۶۰ درجه سلسیوس، بازده انرژی الکتریکی ۲/۵٪ کاهش، بازده حرارتی حدود ۰/۵٪ افزایش و بازده کلی حدود ۲٪ کاهش می یابد. همچنین، نتایج نشان می دهند که توان خروجی حرارتی سامانه فتوولتائیک حرارتی مورد بررسی بین ۲۸۰ تا ۴۶۰ وات و توان خروجی الکتریکی بین ۱۲۰ تا ۱۹۰ وات در طول سال تغییر می کند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۲  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵  
شماره صفحات: ۲۰ تا ۳۷

### کلیدواژه ها:

انرژی خورشیدی،  
سامانه فتوولتائیک حرارتی،  
آنالیز انرژی و انرژی

\* تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده توسعه و بهینه سازی فناوری های انرژی، گروه پژوهش بهینه سازی انرژی

### استناد به مقاله:

مزیدی شرف آبادی، محمد، رسائی، مهران، و داودی، نرگس. (۱۴۰۲). تحلیل انرژی و انرژی سامانه فتوولتائیک حرارتی (PV/T) با جریان آب، نشریه مهندسی شیمی ایران، ۲۲(۱۳۱): ۳۷-۲۰.

## ۱. مقدمه

از یک سو افزایش روزافزون تقاضای انرژی و از دیگر سو اثرات نامطلوب سامانه‌های انرژی سنتی و رایج بر محیط زیست، محققان را به مطالعه در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر، نه فقط برای تولید انرژی (خصوصاً برق)، بلکه برای ایجاد سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر مانند فتوولتائیک حرارتی (PV/T) سوق داده است. انرژی خورشیدی منبع انرژی تجدیدپذیر است که توجه دانشمندان بسیاری را به خود جلب کرده است، زیرا سامانه‌های مبتنی بر انرژی خورشیدی دارای برتری‌هایی مانند کاربردهای متنوع، هزینه‌های نگهداری پایین و آلاینده‌گی کمتر کربن هستند [۱ و ۲].

کلکتورهای ترکیبی فتوولتائیک حرارتی، فناوری فتوولتائیک و کلکتورهای حرارتی را در یک سامانه ترکیب کرده و برتری‌های آن‌ها را به حداکثر می‌رساند و می‌تواند به‌طور هم‌زمان انرژی الکتریکی و حرارتی تولید کند. این مسأله موجب می‌شود که در مقایسه با سامانه‌های جداگانه فتوولتائیک و کلکتور حرارتی، بازده تبدیل کلی تابش خورشیدی افزایش پیدا کند. سامانه‌های فتوولتائیک حرارتی نوعی از فناوری میکرو تولید هم‌زمان برق و حرارت هستند که می‌تواند به‌طور بسیار کارآمدی در مصرف‌های خانگی استفاده شود و تولید گرما و برق را به‌طور مستقیم برای مصرف‌کننده نهایی به ارمغان بیاورد. علاوه بر این، سامانه‌های فتوولتائیک حرارتی بازگشت سرمایه اولیه بهتری در مقایسه با سامانه‌های جداگانه دارند [۳ و ۴]. در استفاده هم‌زمان از کلکتور و صفحه فتوولتائیک، با جاری شدن سیال در زیر صفحه فتوولتائیک، دمای صفحه کم می‌شود و بنابراین بازده الکتریکی آن افزایش می‌یابد و این یکی از مهم‌ترین برتری‌های سامانه‌های فتوولتائیک حرارتی است.

سامانه فتوولتائیک حرارتی را نخستین بار کرن [۵] در دهه ۱۹۷۰ معرفی کرد و از آن زمان با نرخ آهسته‌ای در حال توسعه بوده؛ اما در دهه گذشته نسبتاً مورد استقبال قرار گرفته است. با این حال، فناوری فتوولتائیک حرارتی هنوز در تحقیقات دانشگاهی یا در بازار تجاری به خوبی تثبیت و پایدار نشده است. در سال‌های اخیر، تحقیقات روی سامانه‌های فتوولتائیک حرارتی بر توسعه فناوری، مدل‌سازی، ادغام با انواع تجهیزات تهویه مطبوع، پمپ‌های حرارتی و بهینه‌سازی متمرکز شده است. دسته‌ای از تحقیقات بر توسعه کلکتورهای فتوولتائیک حرارتی به‌منظور بهبود روش‌های طراحی و

افزایش بازده تبدیل انرژی خورشیدی تمرکز می‌کند [۶-۸]. دسته دیگر فناوری‌های فتوولتائیک حرارتی را با ساختمان‌ها ادغام و عملکرد عملیاتی آن را ارزیابی و برتری‌های واقعی صرفه‌جویی انرژی آن را بررسی می‌کند [۹-۱۱]. مطالعه حاضر در دسته اول قرار می‌گیرد. در این مقاله، با هدف تحلیل یک سامانه فتوولتائیک حرارتی، دو بخش الکتریکی و حرارتی جداگانه ارزیابی می‌شوند که نتایج آن می‌تواند منجر به بهبود عملکرد سامانه شود.

ساختارهای مختلفی از فتوولتائیک حرارتی ایجاد شده است که عملکرد آن‌ها با توجه به مشخصه‌های متعدد نظیر، شرایط نور، ساختار هندسی و خواص ترموفیزیکی، نوع سیال، سرعت و جهت باد، تابش خورشیدی و دمای محیط متفاوت است. مدل‌های متفاوتی در مقالات برای ساختارها و شرایط آب و هوایی مختلف شناسایی و ارزیابی شده‌اند. یک مدل فتوولتائیک حرارتی صفحه و لوله را رجب و همکاران [۱۲] توسعه دادند و عملکرد آن را در تونس شبیه‌سازی کردند. هم‌چنین در کاری دیگر، مدلی برای ارزیابی بازده روزانه و سالانه یک کلکتور فتوولتائیک حرارتی رول باند لایه‌نازک در شهر میلان ایتالیا پیشنهاد شده است [۱۳].

در این مقاله تلاش شده است که مطالب و نتایج تحقیق و بررسی شوند که حائز اهمیت ویژه در پیش‌برد علم و باعث ایجاد نوآوری‌ها در سامانه‌های فتوولتائیک حرارتی هستند. در این تحقیق مدل‌سازی بخش الکتریکی یعنی صفحه فتوولتائیک به‌طور جداگانه انجام و نتایج آن با مدل‌سازی بخش کلکتور خورشیدی کوپل شده است. در اکثر مقالات موجود به‌علت پیچیدگی موضوعی و زمان‌بر بودن اجرای برنامه از این امر صرف‌نظر می‌شود. در این مطالعه مدل سلول فتوولتائیک به‌طور جداگانه و با در نظر گرفتن تمامی مشخصه‌های طراحی لازم با نرم‌افزار متلب مدل‌سازی شده که نتایج دقیق‌تری را به‌همراه دارد. هم‌چنین در کدنویسی این بخش به‌علت وابستگی چندین مشخصه طراحی مانند دمای سلول، دمای صفحه جاذب، بازده الکتریکی سلول و درنهایت دمای خروجی سیال خروجی از کلکتور، به فرمول‌های تخمینی بسنده نشده و تمامی نتایج با استفاده از حلقه‌های مورد استفاده با دقت مناسب حساب شده‌اند. برای به‌دست‌آوردن نتایج نیز تمامی مشخصه‌های درگیر در بازده یک سامانه فتوولتائیک حرارتی وارد و ورودی‌های مسأله به‌شکل دقیق از منابع و مراجع معتبر استخراج شده‌اند.

## ۲. مدل سازی

### ۱-۲ مدل سازی بخش الکتریکی

نخستین گام برای مدل سازی، رسم مدار الکتریکی معادل است [۱۴]. شکل (۱) مدار معادل یک سلول مستقل، یک ماژول یا آرایه ای از سلول هاست که شامل یک منبع جریان است که جریان  $I_L$  را در مدار القا می کند.  $R_S$  و  $R_{sh}$  به ترتیب مقاومت شنت (یا موازی درونی) و مقاومت سری درونی مدار هستند.  $I_D$  جریان الکتریکی در محل اتصال پایه های  $n$  و  $p$  سلول است و به عنوان جریان اتصال شناخته می شود.  $I_{sh}$  جریان عبوری از مقاومت های موازی است و  $I$  جریانی است که از باری به مقاومت  $R_{load}$  که افت پتانسیل  $V$  را سبب می شود، می گذرد.

مبنای مدل سازی بخش الکتریکی، معادله زیر است که رابطه جریان و ولتاژ را در مدار شکل (۱) در شدت تابش و دما ثابت، بیان می کند:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} = I_L - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V - IR_S}{a}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{sh}} \quad (1)$$

که در آن  $I_0$  جریان اشباع بازگشتی دیود یا جریان تاریک و  $a$  ضریب اصلاح شده ایده آل بودن است. جریان اشباع بازگشتی دیود یا جریان تاریک حداقل جریانی است که لازم است در نیمه رسانا برقرار شود تا یک جفت  $n$  و  $p$  تشکیل شود. ضریب  $a$  وابسته به ضریب ایده آل

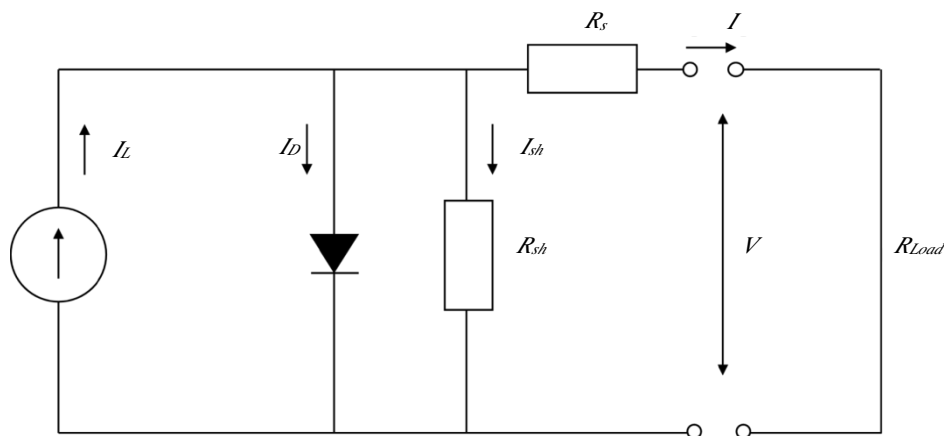
بودن  $n$  و سایر کمیت های فیزیکی است.  $n$  برای دیود ایده آل برابر ۱ و برای دیود غیرایده آل بین ۱ تا ۲ است.

مطابق رابطه، مقادیر پنج مشخصه  $a, R_{sh}, R_S, I_0, I_L$  در شرایط عملیاتی مختلف، برای محاسبه جریان برحسب ولتاژ مورد نیاز است. برای محاسبه این پنج مشخصه، نیاز به پنج معادله مستقل است. استخراج معادلات و محاسبه این پنج مشخصه ابتدا در شرایط مرجع، یعنی تابش لحظه ای  $(W/m^2)$   $1000$  دمای سلول  $298 K$  و طیف نشری متناظر با جرم هوای  $1/5 G$  انجام می گیرد؛ زیرا معمولاً مقدار ولتاژ مدار باز، جریان اتصال کوتاه، ولتاژ و جریان در نقطه بیشترین توان در شرایط مرجع و همین طور، ضریب دمایی جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز به وسیله شرکت سازنده گزارش می شود. برای مدل سازی این بخش از تحقیق مزیدی و همکاران [۱۴] استفاده شد و روابط کامل در آن مرجع آورده شده است.

### ۲-۲ مدل سازی بخش حرارتی

در این بخش، تحلیل اصلی به کمک معادلات بقای انرژی برای هر جزء سامانه انجام می شود. به منظور نوشتن معادله تعادل انرژی برای هر جزء از سامانه ترکیبی فتوولتائیک حرارتی لازم است تا فرضیات زیر در نظر گرفته [۱۵]:

- ظرفیت حرارتی کلکتور فتوولتائیک حرارتی در مقایسه با ظرفیت حرارتی آب در مخزن ذخیره نادیده گرفته شده است.



شکل ۱. طرحواره مدار معادل سلول خورشیدی.

Figure 1. Schematic of equivalent circuit of solar cell.

### ۳. معادلات بازده انرژی و آگزری

برای محاسبه بهره‌وری انرژی در قسمت حرارتی از تعریف بازده حرارتی لحظه‌ای کلکتور با بیان زیر استفاده می‌شود:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_u}{A \times I(t)} \quad (5)$$

در این معادله A سطح صفحه فتوولتائیک حرارتی است. هم‌چنین،  $\dot{Q}_u$  میزان انرژی مفید منتقل شده با صفحه به سیال است. در سامانه فتوولتائیک حرارتی مد نظر در این مطالعه تمامی سطح کلکتور به وسیله سلول‌های فتوولتائیک پوشیده شده است؛ بنابراین با استفاده از معادله (5) معادله بازده لحظه‌ای کلکتور به شکل زیر حاصل می‌شود:

$$\eta_{th} = F_{Rm} \left( PF(\alpha\tau)_{m,eff} - \frac{U_{L,m}(T_{fi} - T_a)}{I(t)} \right) \quad (6)$$

که در آن  $F_{Rm}$  ضریب نرخ جریان، PF ضریب جریمه ناشی از جذب زیر ماژول فتوولتائیک و  $U_{L,m}$  ضریب انتقال حرارت کلی از سطح سیاه به محیط است. برای محاسبه بازده انرژی بخش الکتریکی فرض می‌شود که دمای سطح در تمام صفحه یکسان است که فرض معقولی است. با این فرضیات بازده انرژی الکتریکی صفحه  $\eta_{el}$  از رابطه (7) حساب می‌شود.

$$\eta_{el} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{A \times I(t)} \quad (7)$$

زیرنویس mp مربوط به نقطه بیشترین توان است و مقدار جریان و ولتاژ آن به ترتیب  $I_{mp}$  و  $V_{mp}$  است. با استفاده از این معادلات، بازده کلی انرژی سامانه فتوولتائیک حرارتی به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\eta_{total} = \eta_{th} + \eta_{el} \quad (9)$$

آگزری سامانه، بیشترین کار مفید ممکن طی یک فرایند است که سامانه را به تعادل با منبع گرمایی می‌رساند. هنگامی که دمای محیط با دمای سامانه متفاوت است، آگزری، ظرفیت سامانه برای

• به دلیل حالت عملکردی سامانه، اختلاف دما در آب مخزن ذخیره وجود ندارد.

• در این مطالعه هدایت حرارتی یک‌بعدی در نظر گرفته شده است که برای مطالعه حاضر تقریب خوبی است.

• سامانه در حالت شبه‌تعادلی مدل شده است.

معادلات تعادل انرژی در هر بخش سامانه فتوولتائیک حرارتی به صورت زیر است:

۱. برای سلول‌های خورشیدی ماژول فتوولتائیک:

$$\alpha_c \tau_c \beta_c I(t) W dx = [U_{t,c,a}(T_c - T_a) + h_{c,p}(T_c - T_p)] W dx + \eta_c \tau_c \beta_c I(t) W dx \quad (2)$$

که در این معادله  $\alpha_c$  ضریب جذب،  $\tau_c$  ضریب گذردهی،  $\beta_c$  ضریب جمع‌شدگی<sup>۱</sup>،  $I(t)$  شدت تابش نور لحظه‌ای، W عرض کلکتور،  $U_{t,c,a}$  ضریب انتقال حرارت سطح از سلول خورشیدی به محیط از راه پوشش شیشه‌ای،  $h_{c,p}$  ضریب جابه‌جایی حرارتی بین سلول خورشیدی و صفحه جذب،  $\eta_c$  بازده سلول خورشیدی و هم‌چنین  $T_a$ ،  $T_c$  و  $T_p$  به ترتیب دماهای سلول، محیط و صفحه جذب هستند.

۲. برای صفحه جذب انتهایی قرارگرفته در زیر ماژول فتوولتائیک:

$$\alpha_p \tau_g^2 (1 - \beta_c) I(t) + h_{c,p}(T_c - T_p) = h_{p,f}(T_p - T_f) \quad (3)$$

در این معادله  $h_{p,f}$  ضریب جابه‌جایی حرارتی میان صفحه جذب و سیال و  $T_f$  دمای سیال است.

۳. برای آب جاری در لوله‌های کلکتور خورشیدی زیر ماژول فتوولتائیک:

$$\dot{m}_f C_f \frac{dT_f}{dx} dx = F' h_{p,f}(T_p - T_f) W dx \quad (4)$$

در این معادله  $\dot{m}_f$  دبی جرمی سیال درون کلکتور،  $C_f$  گرمای ویژه سیال و  $F'$  ضریب بازده کلکتور صفحه تخت است.

1. Packing Factor

در تمامی بخش‌های این قسمت مقادیر ثابت‌ها و متغیرهای طراحی مطابق جدول (۱) و جدول (۲) است. این مقادیر براساس داده‌های ارائه شده در کاتالوگ سامانه فتوولتائیک حرارتی ۲۵۰ واتی ساخت شرکت FDE ایتالیا استخراج و استفاده شده است. همچنین، سایر اطلاعات، از داده‌های منتشر شده در مقالات و کتب معتبر و در موارد مشابه با سامانه یادشده استفاده شده است [۵].

جدول ۱. مقادیر متغیرهای حرارتی سامانه فتوولتائیک حرارتی.

Table 1. Values of thermal parameters of thermal photovoltaic system.

parameter	Value	parameter	value
$A(m^2)$	1.65	$T_{fi}(^{\circ}C)$	27
$C_f \left(\frac{J}{kg K}\right)$	4190	$T_{Sun}(^{\circ}C)$	5505
$F'$	0.968	$U_{t,c,a} \left(\frac{W}{m^2 K}\right)$	905
$F_{Rm}$	0.96	$W(m)$	0.125
$h_{c,p} \left(\frac{W}{m^2}\right)$	5.7	$V\left(\frac{m}{s}\right)$	1.2
$h_{p,f} \left(\frac{W}{m^2}\right)$	100	$\alpha_c$	0.85
$I\left(\frac{W}{m^2}\right)$	800	$\alpha_p$	0.8
$\dot{m}_f \left(\frac{kg}{s}\right)$	0.05	$\beta_c$	0.82
$PF$	0.965	$\tau_c$	0.95
$T_a(^{\circ}C)$	27	$\tau_g$	0.95

جدول ۲. مقادیر متغیرهای الکتریکی سامانه فتوولتائیک حرارتی.

Table 2. Values of electrical parameters of thermal photovoltaic system.

parameter	value
$P_{mp}(W)$	250
$V_{oc}(V)$	37.68
$I_{sc}(A)$	8.81
$V_{mp}(V)$	30.03
$I_{mp}(A)$	8.33
$\mu_{V,oc}(mV/K)$	-90.7
$\mu_{I,sc}(mA/K)$	2.85
No. of cells	60
dimensions(mm)	1666×992×40

ایجاد یک تغییر است؛ وقتی که این سامانه به تعادل با محیط برسد. بعد از این که سامانه و محیط اطراف به تعادل برسند، انرژی صفر می‌شود. در مورد انرژی حرارتی می‌توان بیان کرد که باتوجه به مفهوم گفته شده، انرژی حرارتی در انتقال بین دو منبع با دماهای نزدیک به هم بسیار اندک خواهد بود، زیرا عامل اصلی انتقال حرارتی همین اختلاف دمای منابع گرم و سرد است؛ ولی انرژی الکتریکی مانند انرژی الکتریکی است و به علت ماهیت آن‌ها، مقادیر آن‌ها یکسان است و برابر با انرژی الکتریکی خروجی سامانه است.

همچنین برای محاسبه انرژی ورودی، الکتریکی و حرارتی از معادلات زیر استفاده می‌شود:

$$EX_{in} = A \times I(t) \left[ 1 - \frac{4}{3} \left( \frac{T_a}{T_{sun}} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{T_a}{T_{sun}} \right)^4 \right] \quad (10)$$

$$EX_{el} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (11)$$

$$EX_{th} = \dot{Q}_u \left[ 1 - \frac{T_a + 273.15}{T_{fo} + 273.15} \right] \quad (12)$$

که در آن  $T_{sun}$  دمای خورشید برحسب کلونین است. با استفاده از معادلات فوق، بازده انرژی بخش الکتریکی، حرارتی و بازدهی انرژی کلی به شکل زیر حاصل می‌شود:

$$\eta_{EX_{el}} = \frac{EX_{el}}{EX_{in}} \quad (13)$$

$$\eta_{EX_{th}} = \frac{EX_{th}}{EX_{in}} \quad (14)$$

$$\eta_{EX_{total}} = \frac{EX_{el} + EX_{th}}{EX_{in}} \quad (15)$$

#### ۴. نتایج و تفسیر آن‌ها

در این بخش، نتایج این مطالعه به ترتیب در سه بخش ارائه شده است؛ در بخش اول به منظور درک بهتر، اثر هر مشخصه محیطی در کارکرد سامانه بررسی شده است. مطالعه مشخصه‌های شرایط محیطی شامل سه مشخصه سرعت باد، شدت تابش نور و دمای محیط است. در دو بخش بعدی عملکرد سامانه فتوولتائیک حرارتی مورد مطالعه در طول یک روز و در طول یک سال بررسی شده است.

## ۱-۴ مطالعه متغیرهای محیطی مؤثر بر کارکرد سامانه

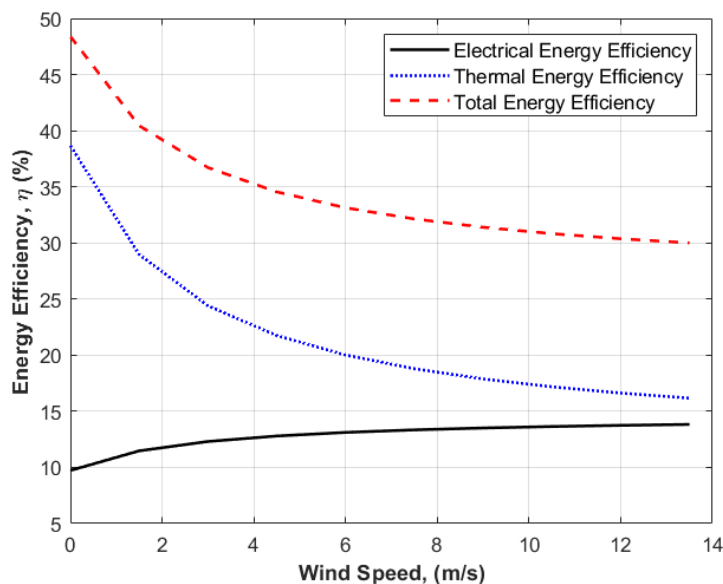
## فتوولتائیک حرارتی

نتایج ارائه شده در این بخش با فرض متغیر بودن تنها یک مشخصه و ثابت بودن سایر متغیرها به دست آمده است.

## ۱-۴-۱ سرعت باد

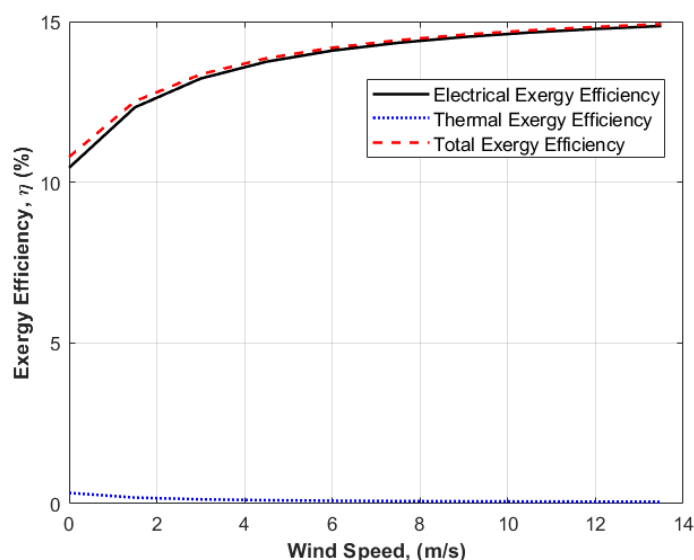
در یک سامانه فتوولتائیک حرارتی با افزایش سرعت باد ضریب

انتقال حرارت جابه‌جایی، افزایش و دمای محیط کاهش می‌یابد و به سمت دمای محیط میل می‌کند. اثر این کاهش دما را می‌توان بر بازده انرژی، بازده اگزرژی و دماهای سلول خورشیدی، صفحه جاذب و سیال خروجی از کلکتور به ترتیب در شکل (۲)، (۳) و (۴) مشاهده کرد.



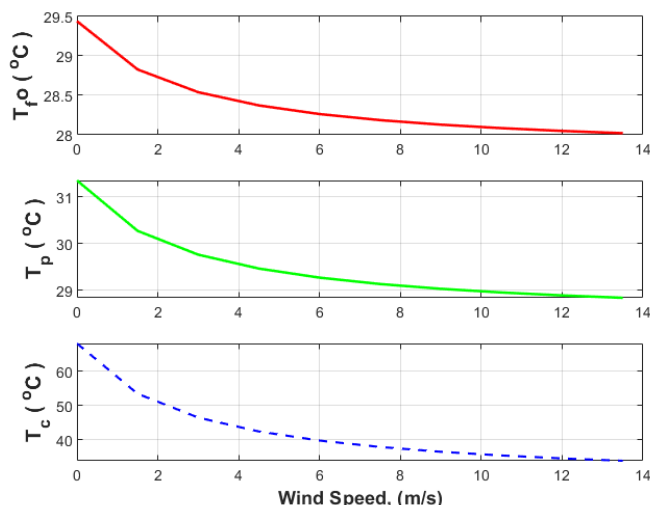
شکل ۲. تغییرات بازدهی انرژی نسبت به تغییرات سرعت باد.

Figure 2. Changes in energy efficiency with changes in wind speed.



شکل ۳. تغییرات بازدهی اگزرژی نسبت به تغییرات سرعت باد.

Figure 3. Changes in exergy efficiency with changes in wind speed.



شکل ۴. تغییرات دمای سلول، دمای صفحه جاذب و دمای خروجی سیال نسبت به تغییرات سرعت باد.

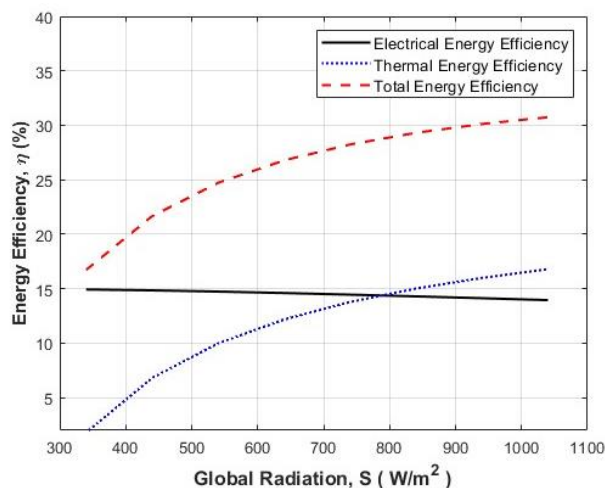
Figure 4. Changes in cell temperature, absorber plate temperature and fluid outlet temperature with wind speed changes.

عملکرد سامانه فتوولتائیک حرارتی است. این متغیر علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز سامانه، اثراتی از جمله افزایش دمای سلول خورشیدی و صفحه جاذب را به همراه دارد. با افزایش دما بازده حرارتی افزایش و بازده الکتریکی کاهش می‌یابد. با افزایش شدت تابش خورشید، همواره شاهد افزایش انرژی ورودی به سامانه فتوولتائیک حرارتی و در نتیجه افزایش توان‌های خروجی، انرژی‌های خروجی و هم‌چنین افزایش تلفات سامانه خواهیم بود. اثر افزایش تابش ورودی بر راندمان انرژی، راندمان انرژی، دماهای سلول خورشیدی، صفحه جاذب و سیال خروجی از کلکتور به ترتیب در شکل (۵)، (۶) و (۷) قابل مشاهده است.

با افزایش سرعت باد، دمای سطح سلول، صفحه جاذب و خروجی آب کلکتور کاهش می‌یابد که میزان این کاهش به ترتیب برابر با ۳۴، ۲/۵ و ۱/۵ سلسیوس است. دلیل این امر نیز افزایش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی است. از دیدگاه توان خروجی نیز باتوجه به ثابت بودن انرژی خورشیدی ورودی، انتظار می‌رود که توان‌های الکتریکی و حرارتی چه از نظر انرژی و چه از نظر انرژی روندی مشابه با بازدهی داشته باشند.

#### ۴-۱-۲ تابش خورشید

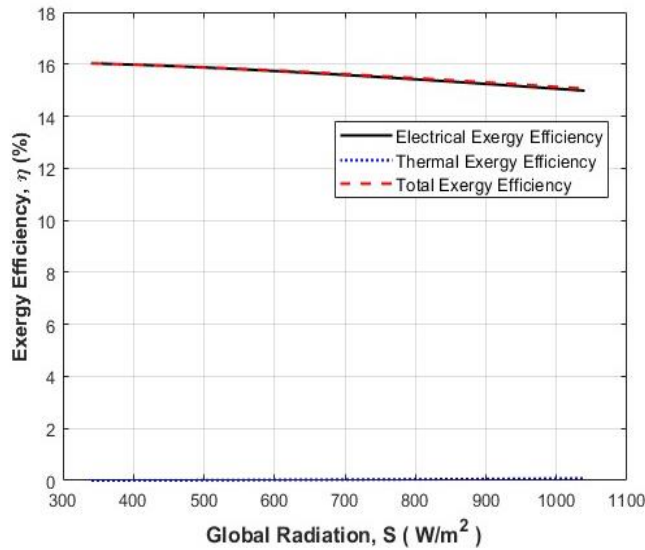
شدت تابش نور خورشید یکی دیگر از عوامل محیطی مؤثر بر



شکل ۵. تغییرات بازدهی انرژی نسبت به تغییرات شدت تابش.

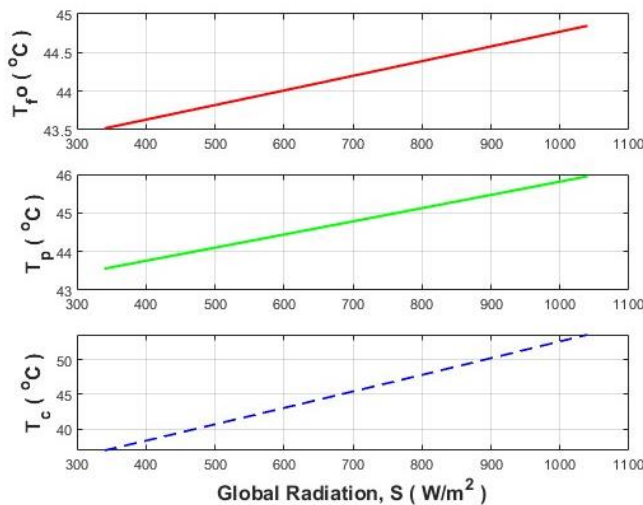
Figure 5. Changes in energy efficiency with changes in radiation intensity.





شکل ۶. تغییرات بازدهی اگزرژی نسبت به تغییرات شدت تابش.

Figure 6. Changes in exergy efficiency with changes in radiation intensity.



شکل ۷. تغییرات دمای سلول، دمای صفحه جاذب و دمای سیال خروجی نسبت به تغییرات شدت تابش.

Figure 7. Changes in cell temperature, absorber plate temperature and fluid outlet temperature with radiation intensity.

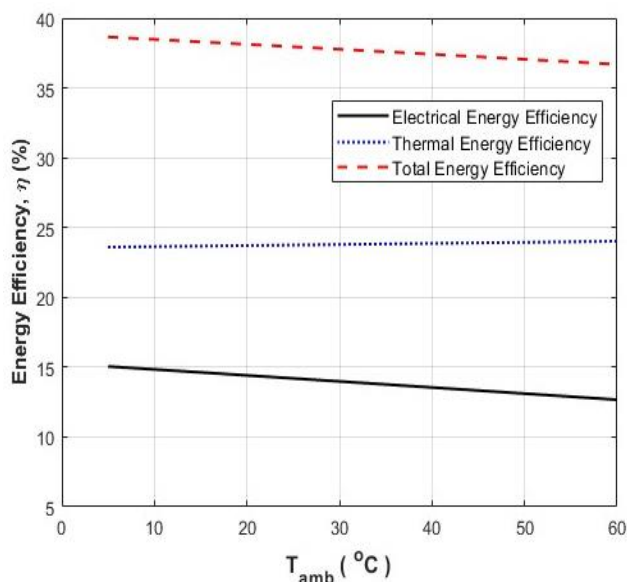
سلول، صفحه و سیال خروجی وجود دارد. این میزان افزایش دما برای سلول با ۳۶ درجه سلسیوس بیشترین و برای دمای خروجی سیال با ۲ درجه سلسیوس، کمترین مقدار را داراست. توان خروجی سامانه فتوولتائیک حرارتی علاوه بر بازده قسمت‌های مختلف، به انرژی ورودی سامانه نیز وابسته است و همان‌طور که مشاهده می‌شود، در شدت تابش‌های بیشتر با اینکه بازده کمتر است، ولی هر دو توان خروجی الکتریکی و حرارتی افزایش پیدا کرده است. این روند به‌طور مشابه در مورد اگزرژی ورودی و خروجی سامانه نیز صادق است.

بررسی‌های مربوط به تأثیر تغییرات شدت تابش خورشید بر بازدهی سامانه فتوولتائیک حرارتی نشان می‌دهد که با افزایش شدت تابش از ۱۵۰ وات بر مترمربع به ۱۰۵۰ وات بر مترمربع، بازدهی انرژی الکتریکی، حرارتی و بازدهی کلی به ترتیب ۳ درصد کاهش، ۱ درصد افزایش و ۲ درصد کاهش را نشان می‌دهد. هم‌چنین، بازده اگزرژی با تغییر این مشخصه‌ها به ترتیب ۲/۵ درصد کاهش، ۰/۳ درصد افزایش و ۲ درصد کاهش را نشان می‌دهد. علت این تغییرات در بازده را باید در اثر تابش بر دمای صفحه خورشیدی جست‌وجو کرد. به‌طور تقریبی یک رابطه خطی میان شدت تابش خورشیدی و دمای

۴-۱-۳ دمای محیط

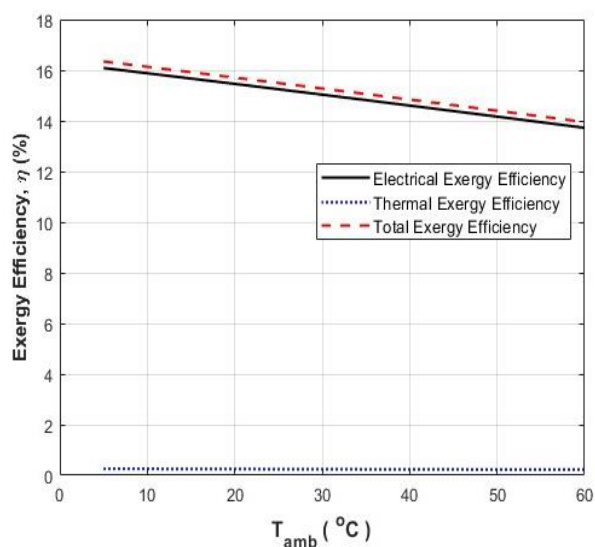
تغییرات عملکردی سامانه، مشابه افزایش سرعت باد است و با افزایش دمای محیط، بازده انرژی و انرژی الکتریکی سامانه کاهش می‌یابد. همچنین، باتوجه به ثابت بودن شدت تابش خورشیدی، انرژی ورودی سامانه ثابت است و تغییرات بازده در هر بخش اثر مستقیم بر توان خروجی و نرخ انرژی خروجی سامانه دارد. به منظور بررسی دقیق تر تغییرات این متغیر بر عملکرد سامانه، می‌توان از شکل (۸) و (۹) بهره برد.

دمای محیط به عنوان آخرین مشخصه محیطی، اثری معکوس و زش باد در عملکرد سامانه دارد. با این وجود، باید دقت کرد که تغییرات دمای محیط همراه خود باعث ایجاد تغییراتی در مقادیر سایر متغیرها نیز می‌شود، به عنوان مثال، دمای سیال ورودی به سامانه فتوولتائیک حرارتی و دمای اولیه سلول و صفحه خورشیدی منطقیاً برابر با دمای محیط در نظر گرفته می‌شود. با این وجود، روند کلی



شکل ۸. تغییرات بازدهی انرژی نسبت به تغییرات دمای محیط.

Figure 8. Changes in energy efficiency with ambient temperature changes.



شکل ۹. تغییرات بازدهی انرژی نسبت به تغییرات دمای محیط.

Figure 9. Changes in exergy efficiency with ambient temperature changes.

$$T(hr) = T_{avg} + \Delta T \times \cos(\omega) \quad (16)$$

$$T_{avg} = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} \quad (17)$$

$$\Delta T = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} \quad (18)$$

$$\omega = 2\pi \times \frac{t-12}{24} \quad (19)$$

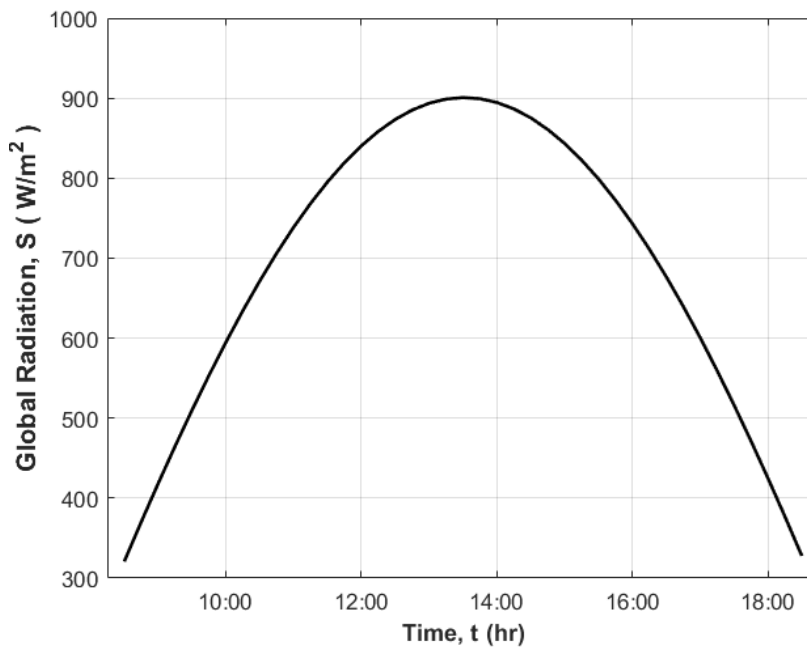
در شکل (۱۰) تغییرات شدت تابش خورشید در طول روز برای شهر تهران در روز ۲۲ اردیبهشت‌ماه ارائه شده است. سایر داده‌های استفاده‌شده در این بخش از مطالعه، مطابق اطلاعات ارائه‌شده در جدول (۱) و (۲) است. مقادیر دماهای کمینه و بیشینه از بانک‌های اطلاعاتی هواشناسی برداشت شده است.

تغییرات بازده انرژی و آگزوری در طول روز به ترتیب در شکل (۱۱) و (۱۲) آورده شده است. نتایج ارائه‌شده برای بازده انرژی نشان از تغییرات ۴ درصدی بازده الکتریکی، ۹ درصدی بازده حرارتی و ۶ درصدی بازده کلی انرژی در طی یک روز دارد.

اثر تغییر دمای محیط را می‌توان مشابه با اثر شدت تابش خورشید در نظر گرفت، با این تفاوت که انرژی ورودی سامانه در این حالت ثابت می‌ماند؛ بنابراین، با فرض افزایش دمای محیط از ۵ تا ۵۰ درجه سلسیوس، بازده انرژی الکتریکی ۶ درصد کاهش، انرژی حرارتی ۱/۵ درصد افزایش و بازده کلی انرژی ۴ درصد کاهش می‌یابد. این روند برای بازده آگزوری نیز صادق است، با این تفاوت که مقدار بازده حرارتی بسیار ناچیز است. روند تغییرات بازده الکتریکی و کلی مشابه یکدیگرند و ۶ درصد کاهش می‌یابند.

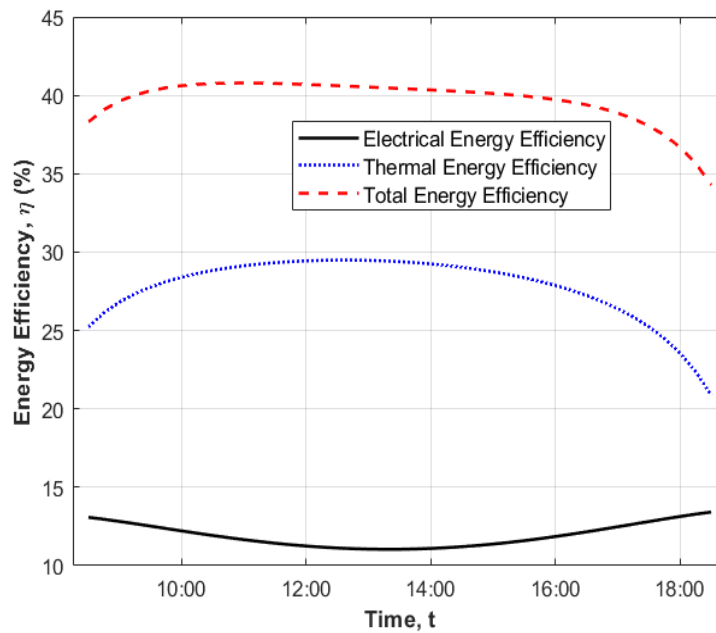
#### ۲-۴ مطالعه کارکرد سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول یک روز

در این بخش دمای محیط در طول روز به کمک معادلات (۱۶) تا (۱۹) تخمین زده شده است که در آن  $t$  زمان بر حسب ساعت است. همچنین، علاوه بر متغیر بودن دمای هوا، باتوجه به کارکرد مداوم سامانه و وجود مخزن ذخیره آب گرم، دمای سیال ورودی به کلکتور باتوجه به حجم مخزن آب متغیر است و دمای سیال ورودی برابر دمای آب مخزن در لحظه اولیه یا همان دمای محیط است.



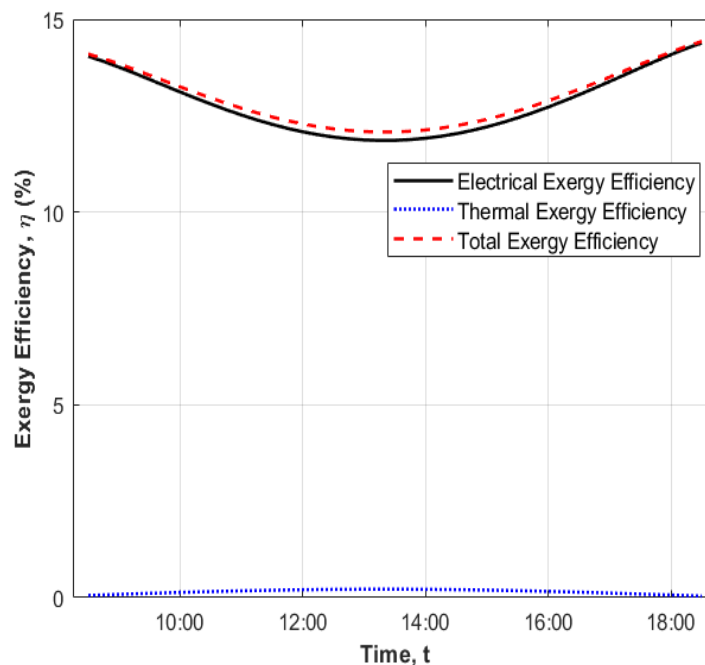
شکل ۱۰. تغییرات شدت تابش خورشیدی در طول روز.

Figure 10. Changes in solar radiation intensity during the day.



شکل ۱۱. تغییرات بازدهی انرژی سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول روز.

Figure 11. Energy efficiency changes of the photovoltaic thermal system during the day.

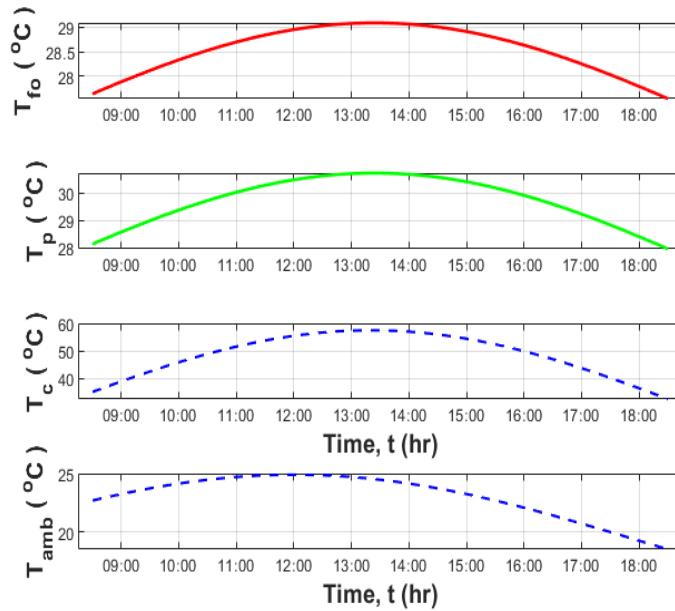


شکل ۱۲. تغییرات بازدهی اگزرژی سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول روز.

Figure 12. Changes in exergy efficiency of the photovoltaic thermal system during the day.

افزایش دما موجب افزایش بازده حرارتی و کاهش بازده الکتریکی خواهد شد که در شکل (۱۱) هم قابل مشاهده است.

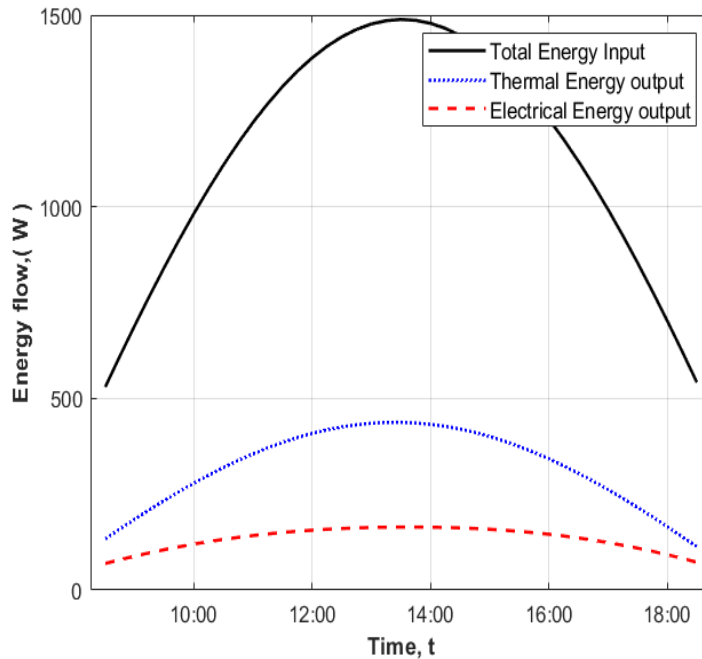
همان طور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، با گذشت زمان در طول روز و افزایش شدت تابش خورشید، شاهد افزایش دما در قسمت‌های مختلف سامانه فتوولتائیک حرارتی خواهیم بود. این



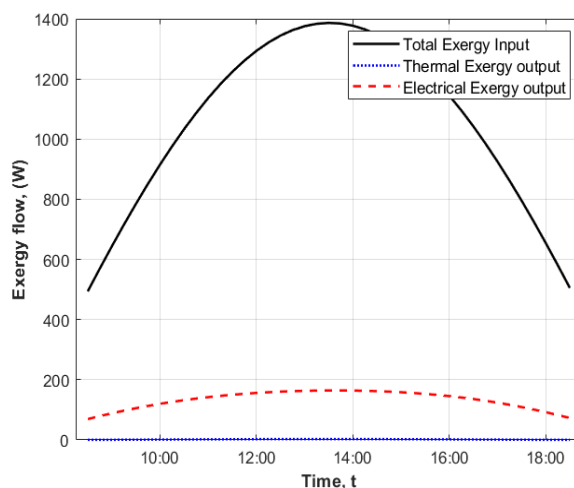
شکل ۱۳. تغییرات دمای سلول خورشیدی، دمای صفحه جذب و دمای سیال خروجی در طول روز.  
Figure 13. Temperature changes in the solar cell, absorber plate and outlet fluid during the day.

انرژی و آگزرژی ورودی و خروجی حرارتی و الکتریکی به سامانه همگی افزایش پیدا می کنند. با توجه به استحصال حرارت از صفحه جذب، مقدار آگزرژی خروجی حرارتی ناچیز است.

تغییرات انرژی و آگزرژی ورودی و خروجی حرارتی و الکتریکی سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول روز به ترتیب در شکل (۱۴) و (۱۵) نشان داده شده است. با افزایش شدت تابش در طول روز،



شکل ۱۴. تغییرات توان ورودی و خروجی سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول روز.  
Figure 14. Changes in the input and output power of the photovoltaic thermal system during the day.



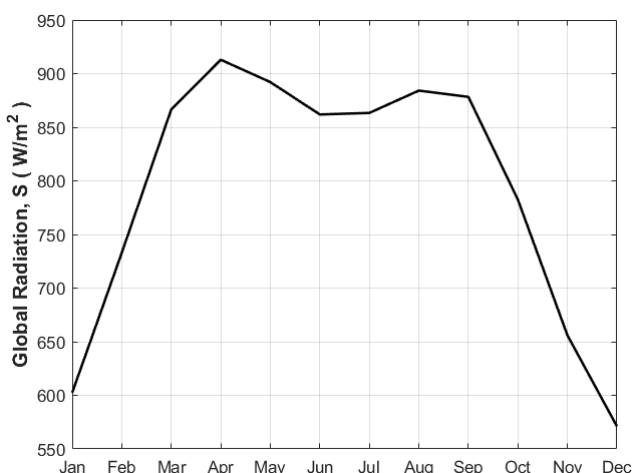
شکل ۱۵. تغییرات اگزرژی ورودی و خروجی سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول روز.  
Figure 15. Input and output exergy changes of the photovoltaic thermal system during the day.

مقادیر شدت تابش خورشید و میانگین دمای بیشینه هوا در طی سه سال و در روز پانزدهم هر ماه استخراج شده و به عنوان مقادیر ورودی در مدل، استفاده شده است. مقادیر شدت تابش خورشید در شکل (۱۶) آورده شده است. هم چنین، به منظور بیان دقیق تر متغیرهای ورودی، میانگین بیشینه دمای روز پانزدهم هر ماه در طی ۳ سال اخیر نیز در جدول (۳) ارائه شده است. سایر مقادیر طراحی مطابق با مقادیر مندرج در جدول (۱) و جدول (۲) است.

در طول یک روز شدت تابش متغیر و بیشینه مقدار آن در حدود ساعت ۱۳:۳۰ رخ می دهد؛ بنابراین انتظار می رود با افزایش دمای هوا و سطح صفحه خورشیدی در حول این زمان، بازده کمینه و توان خروجی بیشینه باشد. بررسی ها نشان می دهد که نسبت بیشینه به کمینه توان خروجی الکتریکی و حرارتی در طول روز به ترتیب تقریباً برابر با ۱/۸ و ۳/۱ هستند. این موضوع نشان از تغییرات چشمگیر توان خروجی در ساعات میانی روز دارد.

### ۳-۴ مطالعه کارکرد سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول یک سال

برای مطالعه عملکرد سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول یک سال،



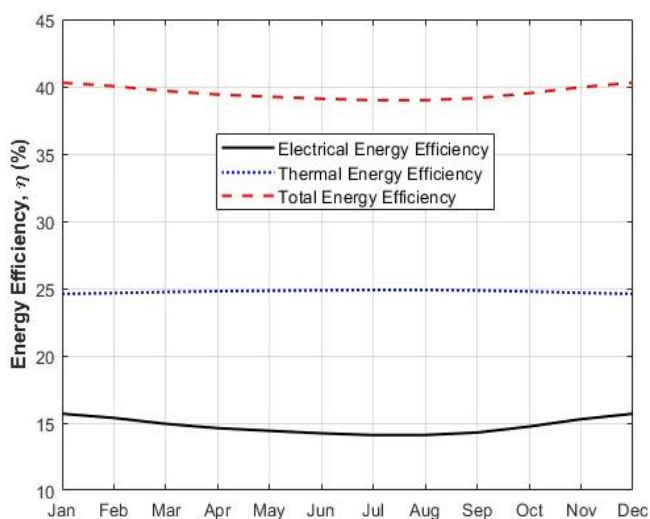
شکل ۱۶. تغییرات شدت تابش خورشیدی در طول یک سال.  
Figure 16. Changes in solar radiation intensity during a year.

جدول ۳. بیشینه دمای روز پانزدهم هر ماه میلادی در ۳ سال متوالی برحسب سلسیوس.

Table 3. The maximum temperature of the 15<sup>th</sup> day of every month in 3 consecutive years in Celsius.

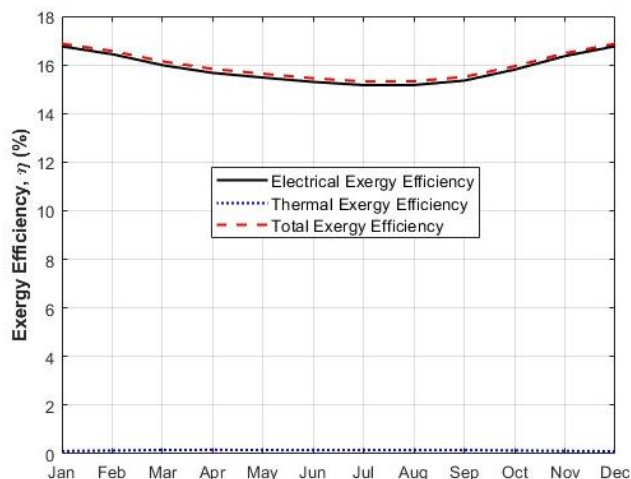
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2018	13.2	12.8	21.4	13.4	24.4	33.4	39.4	36.3	33	25.2	11	15.2
2019	14.4	13.4	16	25.2	30	34	40.7	34	29.6	24.4	14.5	11.4
2020	8.4	7.8	20.2	18	26.2	37	35.6	35	31.2	24	12.3	8

در این بخش برخلاف سایر بخش‌ها، نتایج خروجی دارای پیچیدگی بیشتری است؛ چراکه دو متغیر شدت تابش و دمای هوای محیط هر دو به‌طور مستقل در نتایج اثر می‌گذارند. بازده انرژی و آگزرژی برای سامانه فتوولتائیک حرارتی مورد مطالعه در شکل (۱۷) و (۱۸) آورده شده است.



شکل ۱۷. تغییرات بازدهی انرژی فتوولتائیک حرارتی در طول یک سال.

Figure 17. Changes in the energy efficiency of the photovoltaic thermal system during a year.

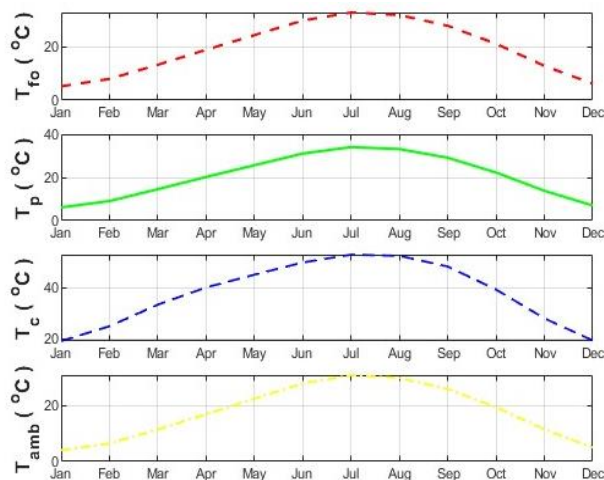


شکل ۱۸. تغییرات بازدهی آگزرژی سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول یک سال.

Figure 18. Changes in the exergy efficiency of the photovoltaic thermal system during a year.

این ماه‌ها بیشینه و بازده الکتریکی کمینه است. تغییرات شدت تابش خورشید و دمای محیط در طول سال به ترتیب حدود ۳۰۰ وات و ۲۷ درجه سلسیوس است. نتایج نشان می‌دهند که توان خروجی حرارتی سامانه فتوولتائیک حرارتی مورد بررسی بین ۲۸۰ تا ۴۶۰ وات و توان خروجی الکتریکی بین ۱۲۰ تا ۱۹۰ وات در طول سال تغییر می‌کنند.

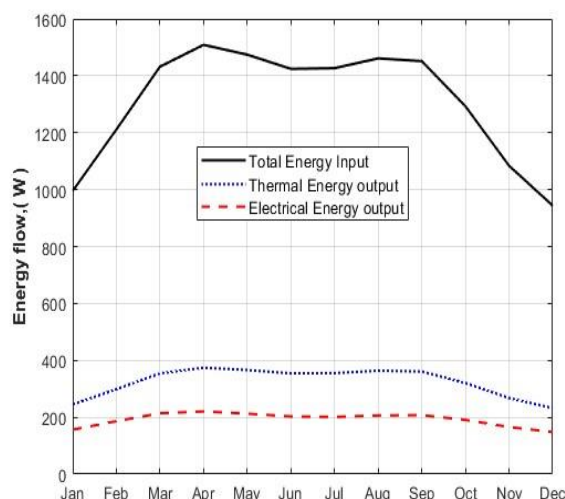
تغییرات دمای محیط، سلول خورشیدی، صفحه جاذب و سیال خروجی از کلکتور در طول سال در شکل (۱۹) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین دما مربوط به ماه‌های خرداد، تیر و مرداد است. همچنین، شدت تابش خورشید در طول این ماه‌ها نیز بیشترین مقدار را داراست؛ بنابراین، همان‌طور که انتظار می‌رود و در بخش‌های قبلی نیز بحث شد، بازده حرارتی در



شکل ۱۹. تغییرات دمای محیط، سلول، صفحه جاذب و سیال خروجی سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول یک سال.

Figure 19. Temperature changes of the environment, cell, absorber plate and outlet fluid of the photovoltaic thermal system during one year.

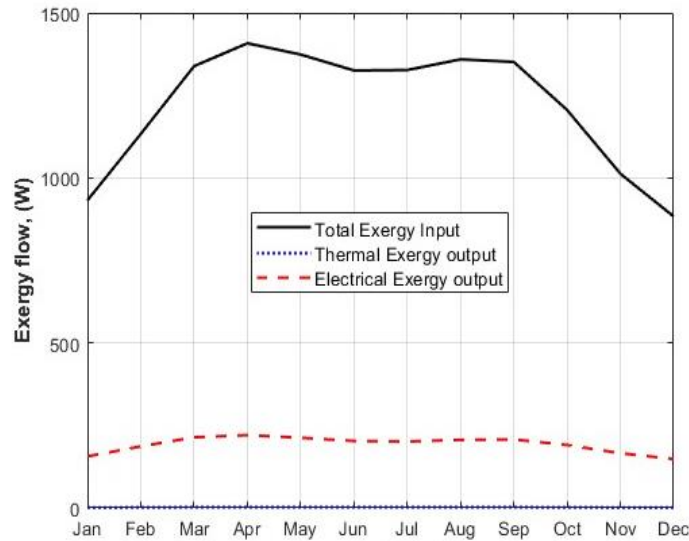
مقادیر توان ورودی و خروجی و همچنین انرژی ورودی و خروجی شکل (۲۰) و (۲۱) ارائه شده‌اند. سامانه فتوولتائیک حرارتی مورد مطالعه نیز برای ماه‌های مختلف در



شکل ۲۰. تغییرات توان ورودی و خروجی سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول یک سال.

Figure 20. Changes in the input and output power of the photovoltaic thermal system during a year.





شکل ۲۱. تغییرات اگزرژی ورودی و خروجی سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول یک سال.  
Figure 21. Changes of input and output exergy of photovoltaic thermal system during a year.

## ۵. نتیجه‌گیری

عملکرد یک سامانه فتوولتائیک حرارتی تحت تأثیر عوامل متفاوتی است؛ یکی از عوامل تأثیرگذار بر کارکرد سامانه‌های فتوولتائیک حرارتی عوامل محیطی همچون سرعت باد، دمای محیط و شدت تابش نور خورشید است. هم‌چنین، متغیرهای طراحی همچون درصد پوشش کلکتور به وسیله سلول‌های فتوولتائیک، ضریب جذب و دفع حرارتی مربوط به سلول خورشیدی و صفحه جذب و هم‌چنین ضرایب انتقال حرارت کلی سامانه که نشان‌دهنده میزان هدر رفت انرژی است، بر عملکرد سامانه فتوولتائیک حرارتی مؤثر هستند. در این مطالعه، مدل‌سازی به کمک داده‌های طراحی یک نمونه سامانه فتوولتائیک حرارتی تجاری ساخته شده انجام و اثر عوامل محیطی بر عملکرد این سامانه مطالعه شد. هم‌چنین عملکرد سامانه فتوولتائیک حرارتی در طول یک روز و هم‌چنین برای ماه‌های مختلف سال بررسی شد.

در این مقاله، دو بخش الکتریکی و حرارتی یک سامانه فتوولتائیک حرارتی نمونه، به‌طور جداگانه مدل‌سازی و نتایج با یکدیگر کوپل شدند؛ به‌طوری‌که بازده الکتریکی حاصل از مدل‌سازی بخش الکتریکی به‌عنوان ورودی مدل‌سازی بخش حرارتی، لحاظ و حل معادلات و ارائه بازده حرارتی و کلی میسر شد. در بخش مطالعه مشخصه‌های عوامل محیطی، بررسی‌ها نشان داد که

با افزایش سرعت باد و در نتیجه افزایش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی، بازده الکتریکی افزایش، ولی بازده حرارتی و کلی و هم‌چنین دماهای مورد مطالعه، یعنی دمای سلول خورشیدی، دمای صفحه جذب و دمای خروجی کلکتور کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که سرعت باد، مشخصه مهمی محسوب می‌شود و ممکن است موجب تغییرات شدیدی در عملکرد سامانه شود. با افزایش شدت تابش، دمای سطح صفحه نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین افزایش شدت تابش موجب افزایش بازده حرارتی و کلی و هم‌چنین دماهای مورد بررسی و از طرفی دیگر باعث کاهش بازده الکتریکی می‌شود. همان‌طور که از یک سامانه خورشیدی انتظار می‌رود عملکرد سامانه کاملاً وابسته به شدت تابش خورشید است. با افزایش دمای محیط و ثابت نگه‌داشتن سایر متغیرها، بازده انرژی و اگزرژی حرارتی افزایش و بازده انرژی و اگزرژی الکتریکی سامانه کاهش می‌یابد و هم‌چنین بازده کلی کم می‌شود.

نتایج ارائه شده برای بازده انرژی نشان از تغییرات ۴ درصدی بازده الکتریکی، ۹ درصدی بازده حرارتی و ۶ درصدی بازده کلی انرژی در طی یک روز دارد. هم‌چنین، نتایج نشان می‌دهد که توان خروجی حرارتی سامانه فتوولتائیک حرارتی مورد بررسی بین ۲۸۰ تا ۴۶۰ وات و توان خروجی الکتریکی بین ۱۲۰ تا ۱۹۰ وات در طول سال تغییر می‌کند.

- [1] Mohaisen, H., Esfahani, J., & Ayani, M. B. (2021). Improvement in the performance and cost of passive solar stills using a finned-wall/built-in condenser: An experimental study. *Renewable Energy*, 168, 170-180. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.056>
- [2] Mohaisen, H. S., Esfahani, J. A., & Ayani, M. B. (2021). Effect of condensing cavity on the performance of a passive solar desalination system: an experimental study. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 5080-5091. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10866-1>
- [3] Ramos Cabal, A., Guarracino, I., Mellor, A., Alonso-Álvarez, D., Ekins-Daukes, N., & Markides, C. (2017). Solar-thermal and hybrid photovoltaic-thermal systems for renewable heating.
- [4] Barbu, M., Siroux, M., & Darie, G. (2021). Numerical model and parametric analysis of a liquid based hybrid photovoltaic thermal (PVT) collector. *Energy Reports*, 7, 7977-7988. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.07.058>
- [5] Kern Jr, E., & Russell, M. (1978). Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems.
- [6] Papoutsis, E., Koronaki, I., & Papaefthimiou, V. (2017). Numerical simulation and parametric study of different types of solar cooling systems under Mediterranean climatic conditions. *Energy and Buildings*, 138, 601-611. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.094>
- [7] Bombarda, P., Di Marcoberardino, G., Lucchini, A., Leva, S., Manzolini, G., Molinaroli, L., Pedranzini, F., & Simonetti, R. (2016). Thermal and electric performances of roll-bond flat plate applied to conventional PV modules for heat recovery. *Applied Thermal Engineering*, 105, 304-313. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.172>
- [8] Guo, J., & Zheng, L. (2017). Numerically study on a new hybrid photovoltaic thermal (PVT) collectors with natural circulation. *Applied Solar Energy*, 53, 316-321. <https://doi.org/10.3103/S0003701X17040077>
- [9] Chow, T., Chan, A., Fong, K., Lo, W., & Song, C. (2005). Energy performance of a solar hybrid collector system in a multistory apartment building. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 219(1), 1-11. <https://doi.org/10.1243/095765005X6872>
- [10] Prabhakant, Agrawal, B., & Tiwari, G. (2010). Return on capital and earned carbon credit by hybrid solar Photovoltaic—wind turbine generators. *Applied Solar Energy*, 46, 33-45. <https://doi.org/10.3103/S0003701X1001007X>
- [11] Agrawal, B., & Tiwari, G. (2010). Life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems. *Energy and Buildings*, 42(9), 1472-1481. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.017>
- [12] Rejeb, O., Dhaou, H., & Jemni, A. (2015). Parameters effect analysis of a photovoltaic thermal collector: Case study for climatic conditions of Monastir, Tunisia. *Energy Conversion and Management*, 89, 409. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.10.018>
- [13] Aste, N., Leonforte, F., & Del Pero, C. (2015). Design, modeling and performance monitoring of a photovoltaic-thermal (PVT) water collector. *Solar Energy*, 112, 85-99. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.11.025>
- [14] Sharfabadi, M., Ghiasi, M., & Seraj, A. (2021). Energy and Exergy Analysis of 190 W Photovoltaic Cell. *Mechanical Engineering*, 21(11), 743-755.
- [15] Touafek, K., Haddadi, M., & Malek, A. (2013). Design and modeling of a photovoltaic thermal collector for domestic air heating and electricity production. *Energy and Buildings*, 59, 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.037>
- [16] Luijten, C., & Kerkhof, E. (2011). Jatropha oil and biogas in a dual fuel CI engine for rural electrification. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1426-1438. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.10.005>
- [17] İlhan Volkan, Ö., M. K. YEŞİLYURT, E. Ç. YILMAZ, and ÖMEROĞLU, G. (2016). Photovoltaic thermal (PVT) solar panels. *International journal of new technology and research*, 2(12): 13-16.