



## مطالعه تجربی درباره ی ناودان جمع کننده ی خورشیدی با سیم پیچ مارپیچ

محمد قزم ملطاشی<sup>1</sup>، محمد مقیمان<sup>2</sup> و صباح عودا عبدالامیر<sup>3</sup>

<sup>1</sup> دانشجوی دکترای، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>2</sup> استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>3</sup> استادیار، دانشگاه اهل البیت، کربلا، عراق

تاریخ دریافت: \*\*/ \*\*/ \*\*\*\*؛ تاریخ بازنگری: \*\*/ \*\*/ \*\*\*\*؛ تاریخ پذیرش: \*\*/ \*\*/ \*\*\*\*

### چکیده

ناودان متمرکزکننده خورشیدی پارابولیک (PTC) به دلیل نسبت غلظت آن از همه جمع‌کننده‌های خورشیدی برتر است. روش‌های مختلفی برای افزایش کارایی سیستم PTC استفاده می‌شود که متداول‌ترین آنها عبارتند از افزایش بازتاب سطح جمع‌کننده، افزایش ظرفیت جذب لوله جاذب، استفاده از مایع با ظرفیت حرارتی بالا در لوله جاذب، و استفاده از جاسازهایی در جریان سیال در لوله جاذب. در مطالعه حاضر، ناودان پارابولیک از یک ورق فولاد نرم با یک گیرنده ساخته شده از مس در نقطه کانونی ساخته شده است، و آب به عنوان سیال کار استفاده شد. با استفاده از یک گیرنده لوله ای مارپیچی بدون روکش با یک گام [گام سیم پیچی] 2 سانتی متری و یک گیرنده مارپیچی با روکش سیاه، تغییرات دما را اندازه‌گیری کردیم. نتایج نشان داد که حداکثر دمای جاذب در 21 ژوئن در ساعت 13.17 بعد از ظهر می‌باشد که بعد از حداکثر تابش خورشید که 148 درجه سانتیگراد بود. درجه حرارت بالاتر در این زمان به دلیل تابش لحظه ای بیشتر خورشید است. همچنین، حداقل دمای گیرنده جمع‌کننده ثبت شده در 21 دسامبر در 13.12 بعد از ظهر می‌باشد که پس از حداکثر تابش خورشید که 91 درجه سانتیگراد بود.

**کلمات کلیدی:** انرژی؛ تابش خورشیدی؛ فتوولتائیک؛ پارابولیک؛ درجه حرارت؛ گیرنده مارپیچی.

## Experimental study of trough solar collector with helical coil

Mhammed Qazam Almultashi<sup>1\*</sup>, Mohammed Moghiman<sup>2</sup>, Sabah Auda Abdul A meer<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Prof., Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran

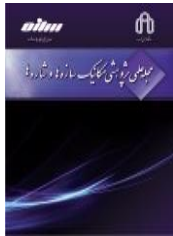
<sup>3</sup> Assistant. Prof., AhlAlbayt University, Karbala, Iraq

### Abstract

The solar parabolic trough concentrator (PTC) is superior to all other solar collectors owing to its concentration ratio. Various methods are being employed to enhance the efficiency of the PTC system, the most common of which are enhancing the reflectivity of the collector surface, increasing the absorptive capacity of the absorber tube, using high thermal capacity fluid in the absorber tube, and using inserts in the flow of fluid in the absorber tube. In the present study, the parabolic trough is constructed of a mild steel sheet with a receiver made of copper positioned at the focal point, and water was used as the working fluid. Using a bare tube helical receiver with a 2-cm pitch and a black-coated helical receiver, we measured the temperature variations. The results showed that the maximum absorber temperature occurred on the 21st of June at 13.17 PM after maximum solar radiation, which was 148°C. The higher temperature at this time is due to higher instantaneous solar radiation. Also, the minimum collector receiver temperature recorded was on the 21st of December at 13.12 PM, after maximum solar radiation, which was 91°C.

**Keywords:** Energy; Solar radiation; Photovoltaic; Parabolic; Temperature; Helical receiver.





به گیرنده‌های ناودان پارابولیک ( $PTR^2$ ) واقع در امتداد خط کانونی در PTCs منعکس می‌شود. در نتیجه توزیع شار حرارتی غیر یکنواخت ( $NUHF^3$ ) در کانال جاذب ایجاد می‌شود. در نتیجه شیب‌های دما و قله‌های دما در لوله جاذب ظاهر می‌شوند و کارایی و قابلیت اطمینان PTR را به خطر می‌اندازند. PTR یکی از اجزای حیاتی PTC است که تقریباً 30٪ هزینه مواد ساخت یک میدان خورشیدی را تشکیل می‌دهد [6]. در این مقاله، یک PTC خورشیدی برای افزایش سرعت انتقال حرارت از تابش خورشیدی به وسیله لوله مسی جاذب ماریپیچی به مایع انتقال حرارت طراحی شده است و ما انتظار داریم که طراحی گیرنده با سیم پیچ ماریپیچ عملکرد بهتری را ارائه دهد.

## 2- بررسی منابع

یکی از موثرترین روش‌ها برای افزایش سرعت انتقال گرما از تابش به مایع انتقال حرارت ( $HTF^4$ ) گسترش انتقال حرارت همرفتی درون لوله داخلی است. بنابراین، بهبود انتقال گرما در داخل لوله توجه زیادی را به خود جلب کرده است [2]. قدیری جعفر بیگ و دیگران با استفاده از یک جایگزین نوار پیچ خورده سوراخ دار، خروجی حرارتی PTC را به صورت عددی تجزیه و تحلیل کردند [7]. یافته‌ها نشان داد که نوار پیچ خورده جدید از نظر کارایی حرارتی، به ویژه در اعداد رینولدز پایین، از نوار پیچ خورده سنتی بهتر عمل می‌کند. ناتاراجان و همکاران [8] به صورت عددی از خصوصیات انتقال گرما در یک لوله جاذب مسی PTC با جاسازهای مختلف مدل‌سازی می‌کند. جریان آب 85 کیلوگرم در ساعت بود که با تابش به ترتیب به بالاترین و کمترین لایه‌های لوله به  $870.5 \text{ W/m}^2$  و  $28226.3 \text{ W/m}^2$  رسید. آنها متذکر شدند که یک لوله با یک جاساز مثلثی توزیع دما بهتری از یک لوله شفاف را ارائه می‌دهد، اما این نوع جاساز افت فشار بهتری نسبت به یک لوله مستقیم ایجاد نمی‌کند. هوانگ و

## 1- مقدمه

انرژی خورشیدی یکی از ضروری‌ترین منابع انرژی تجدید پذیر است. انرژی خورشیدی در مقایسه با سایر منابع، تقریباً در همه جا با در دسترس بودن و همچنین سازگار بودن با محیط زیست متمایز است [1]. فن‌آوری‌های انرژی خورشیدی پتانسیل زیادی دارند که چند مورد از آنها مانند تنوع بخشیدن به منابع انرژی، کاهش اتکا به گاز طبیعی و سایر سوخت‌های فسیلی، و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. شناخته شده‌ترین تکنیک غلظت خورشیدی، ناودان جمع‌کننده خورشیدی پارابولیک [2] است که در آن یک جمع‌کننده خورشیدی با کارایی بالا برای فراهم کردن دماهای بالا با بازده بالا مورد نیاز است. جمع‌کننده‌های پارابولیک ( $PTCs^1$ ) به سیستم‌های کم وزن و کم هزینه اجازه می‌دهند تا گرما را تا 4000 درجه سانتیگراد بالا ببرند [3]. یک سطح جمع‌کننده سهمی شکل (پارابولیک)، تابش اتفاقی را به درون لوله گیرنده در PTC منعکس می‌کند. یک جمع‌کننده پارابولیک خطی یا یک جمع‌کننده پارابولیک استوانه‌ای [4] نام‌های دیگر آن است. تابش مستقیم خورشید

<sup>2</sup> parabolic trough receivers

<sup>3</sup> non-uniform heat flux

<sup>4</sup>heat transfer fluid

<sup>1</sup> Parabolic Trough Concentrator



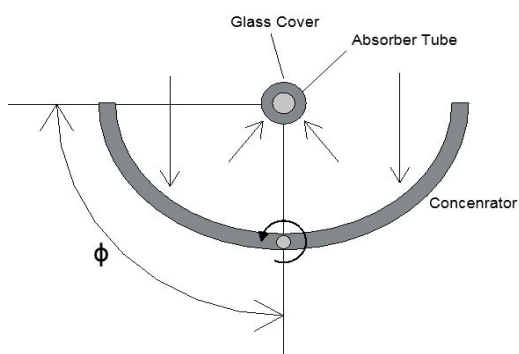
شکل 1- جمع کننده خورشیدی PTC



شکل 2- جمع کننده خورشیدی PTC

### 2-3- گیرنده

گیرنده از دو قسمت تشکیل شده است، یعنی پوشش متحدالمرکز شفاف و لوله جاذب. شکل 1 محور کانونی را نشان می دهد که مایع گرم شده از طریق آن جریان دارد. لوله جاذب به طور معمول از مس پوشانده شده با رنگ سیاه مقاوم در برابر حرارت، با یک پوشش شیشه ای متمرکز در بالا ساخته شده است. لوله جاذب با سطوح انتخابی در برخی جمع کننده های با کارایی بالا پوشانده شده اند و بنابراین فضای بین لوله و پوشش شیشه ای تخلیه می شود. تلفات تابش و همرفت به دلیل پوشش شیشه متمرکز کاهش می یابد. بازتابنده سهمی<sup>2</sup> با عرض روزنه ( $W$ )، زاویه لبه ( $\theta_r$ ) و شکل و اندازه گیرنده تعریف می شود، همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است.



<sup>2</sup>Paraboloid

همکاران یک بررسی عددی از انتقال گرما در یک لوله جاذب PTC با گودال، برجستگی و باله های مارپیچ برای جریان کاملاً شکل داده شده، انجام داده اند [9]. یافته ها نشان داد که گودال در مقایسه با اشکال هندسی دیگر انتقال حرارت بیشتری را ارائه می دهد.

در سال 2012، لادن محمد [10] برنامه ریزی و توسعه یک آبگرمکن بشقابی پارابولیک خورشیدی را برای کاربرد خانگی<sup>1</sup> (تا 100 درجه سانتیگراد) توصیف کرد. گرمکن روزانه 40 لیتر برای یک خانواده چهار نفره تأمین می کند. مشخص شد که راندمان حرارتی سیستم، مقدار طراحی شده 50% است. ردی و ساتیا نارایانا [11] یک مطالعه عددی برای گیرنده باله ای متخلخل PTC انجام دادند. در این مطالعه، از هندسه های متخلخل مختلف باله برای ارزیابی افت فشار و خصوصیات جریان سیال استفاده شد. آنها متذکر شدند که گیرنده دوزنقه ای متخلخل با نسبت نوک به پایه 0.25، جرمه فشار 1.7 کیلو پاسکال و جریان جرمی 6.4 کیلوگرم در ثانیه انتقال گرما را 13.8% افزایش می دهد.

### 3- طراحی ناودان جمع کننده خورشیدی پارابولیک

PTC دو بعدی شامل دو جز اصلی است.

#### 1-3- بازتابنده

این شامل بازتابنده و ساختار پشتیبانی است که در شکل های 1 و 2 نشان داده شده است. بازتابنده یک آینه پارابولیک منحنی است که تابش خورشید را روی لوله جاذب متمرکز می کند. از ساختارهای پشتیبانی برای ایجاد پایه ای محکم در کل مجموعه استفاده می شود تا بتواند در برابر ضربات هوا و سایر مزاحمت ها مقاومت کند. بازتابنده به شکل پارابولاس (سهمی) از ورق های فولاد ضد زنگ ساخته شده است.

<sup>1</sup> Predicament

$$C_g = \frac{\text{Effective aperture area}}{\text{Receiver tube area}} = \frac{WL - D_{r0}L}{\pi D_{r0}L} = \frac{W - D_{r0}}{\pi D_{r0}} \quad (4)$$

نسبت غلظت نوری (C) مربوط به  $(\theta_r)$  است و می تواند به صورت [14] تعریف شود:

$$C = \frac{\sin \theta_r}{\pi \sin \theta_a} \quad (5)$$

ابعاد محاسبه شده PTSC پس از ساخت در جدول 1 نشان داده شده است.

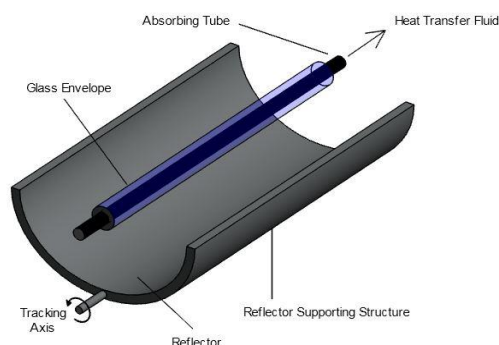
جدول 1- ابعاد محاسبه شده PTSC پس از ساخت

عرض دیافراگم (W)	1.025 متر
طول	2.02 متر
عمق (hc)	0.335 متر
مساحت دیافراگم جمع کننده	2 متر مربع
فاصله کانونی $(f) = W_2 / 16hc$	23 سانتی متر
زاویه لبه	97 درجه
معادله ورق پارابولیک	$X_2 = 4 * 0.23Y$
قطر گیرنده (Dro) و طول	5 میلی متر ، 2 متر
نسبت غلظت نوری	Cg 68

به طور کلی، زاویه بروز صفر نیست و فاصله نور منعکس شده بیشتر است. این بدان معنی است که لوله گیرنده باید ابعادی کمی بزرگتر داشته باشد تا حائل‌های بالا را در مواردی که زاویه بروز زیاد است، حفظ کند. بنابراین، قطر گیرنده 12.7 میلی متر در نظر گرفته شد. علاوه بر این، طول لوله گیرنده 19/10 متر و تعداد دور آن برابر 95 بود. قطر پایه گیرنده 38 میلی متر انتخاب شد تا بتوانید لوله گیرنده را به راحتی روی آن بچرخانید.

### 3-3- تجهیزات ساخت

شکل بازتابنده روی کاغذی با ابعاد بزرگ در مقیاس کامل ترسیم شده است. برای سطوح منعکس کننده از ورق های فولاد ضد زنگ در ابعاد مورد نیاز استفاده شد. ما در ساختار PTC از چوب استفاده کردیم. برای اتصال صفحه جاذب با بازتابنده از تکنیک جوشکاری و پیچ استفاده شده است و



شکل ۳- ناودان جمع کننده پارابولیک

بالا: محفظه شیشه‌ای، لوله جاذب، مایع ناقل حرارت، ساختار حمایت گر منعکس کننده؛ منعکس کننده، محور مسیر، پایین: پوشش شیشه‌ای، لوله ای جاذب، متمرکز کننده.

شعاع سهمی در یک مکان دلخواه توسط  $r$  تعریف شده و "شعاع آینه" نامیده می‌شود. بزرگترین شعاع آینه در لبه خارجی آن اتفاق می‌افتد و به طور مناسبی "شعاع لبه" یا شعاع پارابولیک نامیده می‌شود. زاویه لبه،  $\theta_r$ ، مربوط به تابش پرتو منعکس شده از لبه بیرونی متمرکز کننده است. فاصله کانونی،  $f$ ، به زاویه لبه و عرض دیافراگم،  $W$  گفته می‌شود، به عنوان [12]:

$$W = 4 * f * \tan(\theta_r / 2) \quad (1)$$

اندازه یک تصویر خورشیدی منعکس شده در نقطه کانونی به شعاع آینه در نقطه بروز پرتو تابش بستگی دارد. یک معادله ساده برای عرض تصویر توسط شلدون ایجاد شد [13].

$$W_{im} = r \theta_s \quad (2)$$

جایی که  $\theta_s$  نشان دهنده عرض زاویه ای بروز پرتو تابش و برابر با 0.53 درجه (0.00925 rad) است،  $\theta_a$  نیم زاویه پذیرش 0.265 درجه است و طول مسیر پرتو منعکس شده برابر با شعاع پارابولیک،  $r$  است. بنابراین، برای بروز تقریباً نرمال، که بیشتر در ماه‌های تابستان اتفاق می‌افتد، می‌توان رابطه (2) را به صورت زیر نوشت:

$$W_{im} = 0.00925r \quad (3)$$

نسبت غلظت هندسی به صورت زیر [۱۴] آورده شده است:

برای اتصال بازتابنده<sup>1</sup> از ترسیم در مقیاس کامل استفاده شده است.

برای ثابت نگه داشتن ناحیه دیافراگم، با پرچ این بازتابنده‌ها به قاب، فاصله بالایی بین دو بازتابنده ثابت نگه داشته شد. به دلیل قابلیت هدایت حرارتی بالا، مس برای ساخت گیرنده انتخاب شد. برای آزمایش، یک لوله مسی با از O.D. 12.7 میلی متر و ضخامت 1 میلی متر از بازار خریداری شد. همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است، سیم پیچ ماریچ با خم کردن لوله درحالی که ماسه درون آن بود، ساخته شده است. جمع کننده به گونه ای ساخته شده است تا بتواند از هر جهتی بچرخد.

#### 4- نتایج و بحث

به دلیل قابلیت هدایت حرارتی بالا، مس برای ساخت گیرنده انتخاب شد. برای آزمایش، یک لوله مسی با O.D. 12.7 میلی متر و ضخامت 1 میلی متر از بازار خریداری شد. همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است، سیم پیچ ماریچ با خم کردن لوله درحالی که ماسه درون آن بود، ساخته شده است.



شکل 4- گیرنده سیم پیچ ماریچ

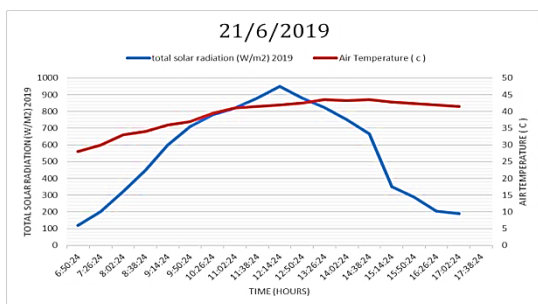
جمع کننده‌ای ساخته شده است تا بتواند از هر جهتی بچرخد. کمترین میزان کل تابش خورشیدی لحظه ای در 21 دسامبر که 572 وات بر مترمربع بود، و حداکثر کل تابش خورشیدی لحظه ای در 21 ژوئن 2019 در ساعت 12:30 بعد از ظهر ثبت شد که 927 وات بر مترمربع بود. حداکثر دمای هوا در تاریخ 2019/6/29 در ساعت 14:52 50 درجه

سانتی گراد بود. شکل‌های 5-8 کل تابش خورشیدی لحظه ای روزانه و دمای هوای روزهای انتخاب شده را در 21 ژوئن، سپتامبر، دسامبر و مارس، برای سال 2019 به عنوان نمونه‌ای از داده های اندازه‌گیری شده، نشان می‌دهد. حداکثر کل تابش خورشیدی لحظه ای در 21 ژوئن مربوط به 927 W/m<sup>2</sup> بود. بیشترین دمای هوا در این روز 43 درجه سانتی گراد بود. نتایج 21 مارس و 21 سپتامبر به اعتدال بهار و پاییز اشاره دارد، جایی که نور خورشید عمود بر محور چرخش روزانه است و طول روزها و شب‌ها در همه جا برابر است. همچنین، انقلابین سالی دو بار اتفاق می‌افتد (21 ژوئن و 21 دسامبر). این اشکال نشان می‌دهند که حداکثر کل تابش خورشید برای 21 ژوئن در ساعت 12:04 927 W/m<sup>2</sup> و برای 21 سپتامبر در ساعت 11:55 800 W/m<sup>2</sup> است. حداکثر دما در 21 ژوئن و سپتامبر به ترتیب 43 و 34 درجه سانتیگراد بود.

این اشکال همچنین نشان می‌دهند که حداکثر کل تابش لحظه‌ای خورشید در 21 مارس، ژوئن، سپتامبر و دسامبر به ترتیب در ساعت 12:09، 12:04، 11:55 و 12:00 رخ داده است. دمای هوا حتی پس از رسیدن تابش خورشید به حداکثر مقدار خود همچنان در حال افزایش است و سپس شروع به کاهش می‌کند. این افزایش به تدریج پس از طلوع آفتاب، باعث گرم شدن سطح زمین می‌شود و میزان گرمای بدست آمده بیشتر از میزان اتلاف گرما بود که مسئول افزایش دمای زمین و دمای هوا است. این وضعیت تا رسیدن به تعادل در ساعت 2 بعد از ظهر که معمولاً حداکثر دما ثبت می‌شد، ادامه داشت. این تعادل در ظهر هنگامی که خورشید در آسمان است، اتفاق افتاد زیرا خورشید نزدیک به حالت عمودی است و تا ساعت 2 بعد از ظهر هنوز ثابت است. مقدار گرمای بدست آمده توسط زمین بیشتر از میزان اتلاف گرما است. پس از این زمان، انرژی تابش خورشید با انحراف خورشید از خط نصف النهار کاهش می‌یابد و در نتیجه مقدار تابش خورشید به دست آمده توسط زمین افزایش می‌یابد.

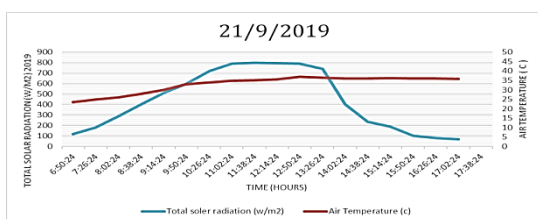
شکل‌های زیر نشان می‌دهند که حداکثر تابش روزانه خورشید پس از ظهر در زمستان رخ داده است، در حالی که در تابستان، به دلیل روزهای طولانی تابستان، حوالی ظهر رخ داده است. این اشکال همچنین نشان می‌دهند که دمای هوا حتی پس از رسیدن به حداکثر تابش روزانه خورشیدی

<sup>1</sup> Parabola



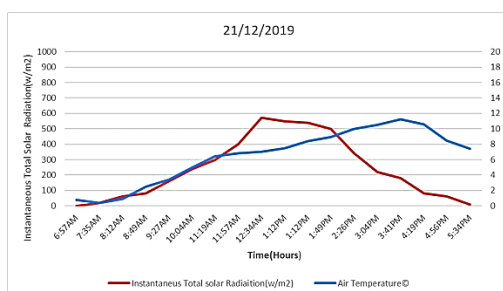
شکل ۶- میزان کل تابش خورشید و دمای هوا اندازه گیری شده در ۲۱ ژوئن ۲۰۱۹

محور افقی: زمان(ساعت)، محور عمودی: کل تابش خورشیدی (وات بر متر مربع) ۲۰۱۹، خط آبی: محور عمودی: کل تابش خورشیدی (وات بر متر مربع)، خط قرمز: دمای هوا (سانتی گراد)



شکل ۷- میزان کل تابش خورشید و دمای هوا اندازه گیری شده در ۲۱ سپتامبر ۲۰۱۹

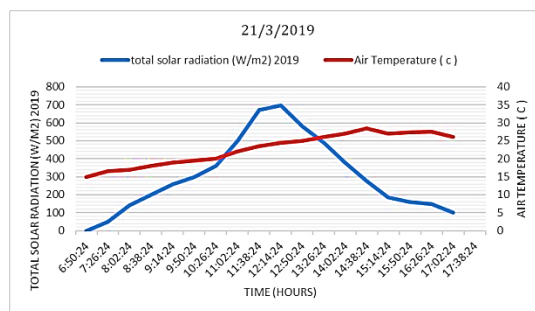
محور افقی: زمان(ساعت)، محور عمودی: کل تابش خورشیدی (وات بر متر مربع) ۲۰۱۹، خط آبی: کل تابش خورشیدی (وات بر متر مربع)، خط قرمز: دمای هوا



شکل ۸- تابش کل خورشید و دمای هوا اندازه گیری شده در ۲۱ دسامبر ۲۰۱۹

همچنان در حال افزایش است. شکل ۹ مقایسه‌ای را نشان می‌دهد که بین کل تابش خورشیدی لحظه‌ای اندازه‌گیری شده در ۲۱ ژوئن و ۲۱ دسامبر ۲۰۱۹ است. کل تابش خورشید در ۲۱ ژوئن بالاتر از ۲۱ دسامبر بود زیرا زاویه انحراف ۲۳/۲۸ درجه و ۰/۶۳۷ درجه بوده است.

به ترتیب مدت زمان نور روز در ۲۱ ژوئن و ۲۱ دسامبر به ترتیب ۱۴.۱۴ و ۹.۵۸ ساعت بود. شکل ۱۰ کل تابش خورشیدی لحظه‌ای اندازه‌گیری شده و دمای هوا را در ۲۱ مارس، ژوئن، سپتامبر و دسامبر ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. شکل نشان می‌دهد که حداکثر کل تابش لحظه‌ای خورشید و دمای هوا در ۲۱ ژوئن رخ داده است، که به ترتیب ۹۲۷  $W/m^2$  و ۴۳ درجه سانتی گراد بود، و حداقل آن در ۲۱ دسامبر ثبت شد (به ترتیب ۵۷۲  $W/m^2$  و ۱۱.۵ درجه سانتی گراد). همچنین، این شکل نشان می‌دهد که حداکثر تابش لحظه‌ای خورشید و دمای هوا بین ۱۱:۵۵ صبح تا ۱۲:۱۵ اتفاقی افتاده است.



شکل ۵- میزان کل تابش خورشید و دمای هوای اندازه گیری شده در ۲۱ مارس ۲۰۱۹

محور افقی: زمان(ساعت)، محور عمودی: کل تابش خورشیدی (وات بر متر مربع) ۲۰۱۹، خط آبی: محور عمودی: کل تابش خورشیدی (وات بر متر مربع)، خط قرمز: دمای هوا (سانتی گراد)

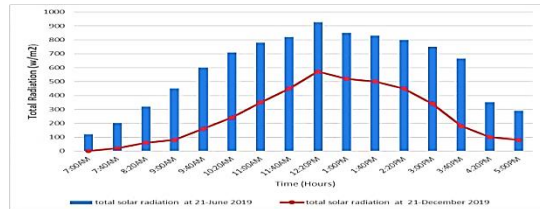


همچنین، کمترین دمای گیرنده جمع کننده در تاریخ 21 دسامبر در ساعت 13:12 بعد از ظهر بعد از حداکثر تابش خورشید بود که 91 درجه سانتیگراد بود. شکل 12 نشان می‌دهد که دمای گیرنده در حدود ساعت 13:00 بعد از ظهر به حداکثر مقدار خود می‌رسد. دمای گیرنده پس از حداکثر تابش خورشید به اوج خود می‌رسد. شکل مقایسه‌ای از دمای گیرنده در طول سال 2019 با و بدون گردش آب گرم را نشان می‌دهد.

بدون جریان آب گرم، دمای گیرنده جمع کننده خورشیدی در 21 ژوئن حدود 148 درجه سانتیگراد بود. دما از 21 ژانویه تا 21 ژوئیه افزایش یافته است زیرا شدت خورشید افزایش یافته است. با جریان آب گرم، حداکثر دمای گیرنده حدود 98 درجه سانتیگراد بود. شکل 13 کارایی محاسبه شده جمع کننده خورشیدی را در فصول تابستان و زمستان با سرعت جریان مختلف جرم (1.5 لیتر در دقیقه و 2 لیتر در دقیقه) نشان می‌دهد. شکل نشان می‌دهد که هنگام صعود سرعت جریان جرم، بازده اندازه‌گیری شده افزایش می‌یابد. شکل نشان می‌دهد که افزایش کل تابش خورشیدی اندازه‌گیری شده به دلیل افزایش بازده جمع کننده است.

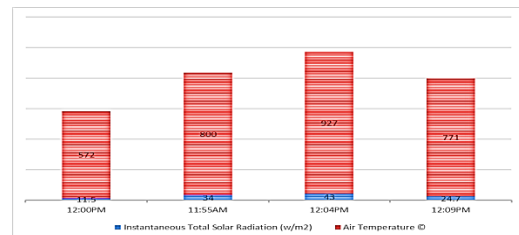
بازده با سرعت جریان جرم 1.5 لیتر در دقیقه از 0.48 به 0.63 و با سرعت جریان جرم 2 لیتر در دقیقه از 0.49 به 0.66 افزایش یافت. حداکثر بازده در تابستان بود. شکل 14 نشان می‌دهد که می‌توان آب گرم را در زمستان با دمای حدود 80 درجه سانتیگراد بدست آورد و در فصل تابستان، دمای آب می‌تواند به 98 درجه سانتیگراد برسد، در حالی که دمای هوا از حدود 20 درجه سانتیگراد تا 50 درجه سانتیگراد متفاوت بود. این شکل نشان می‌دهد که افزایش کل تابش لحظه‌ای خورشید منجر به افزایش دمای هوا می‌شود. افزایش در کل تابش لحظه‌ای خورشید باعث جذب تشعشع در سطح گیرنده می‌شود که به نوبه خود باعث افزایش دمای آب در حلقه جمع کننده خورشیدی می‌شود.

محور افقی: زمان (ساعت)، محور عمودی: کل تابش لحظه‌ای خورشید (وات بر متر مربع)، خط قرمز: کل تابش لحظه‌ای خورشید (وات بر متر مربع)، خط آبی: دمای هوا



شکل ۹- مقایسه بین کل تابش لحظه‌ای اندازه‌گیری شده خورشیدی در ۲۱ ژوئن و ۲۱ دسامبر ۲۰۱۹

محور افقی: زمان (ساعت)، محور عمودی: کل تابش (وات بر متر مربع)، خط آبی: کل تابش خورشیدی در ۲۱ ژوئن ۲۰۱۹، خط قرمز: کل تابش خورشیدی در ۲۱ دسامبر ۲۰۱۹



شکل ۱۰- کل تابش لحظه‌ای خورشیدی و دمای هوا اندازه‌گیری شده در ۲۱ مارس، ژوئن، سپتامبر، و دسامبر براساس زمان، ۲۰۱۹

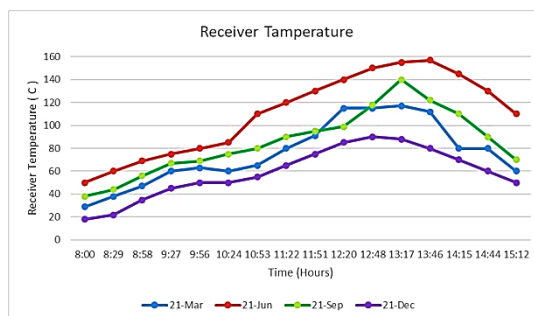
قسمت آبی: کل تابش لحظه‌ای خورشیدی (وات بر متر مربع)، قسمت قرمز: دمای هوا

شکل 11 تغییر دمای سطح گیرنده را از سپتامبر و دسامبر نشان می‌دهد. دما به دلیل افزایش شدت تابش به تدریج در صبح افزایش می‌یابد تا زمانی که خورشید در ظهر به حداکثر حد خود برسد و به دلیل کمبود تابش خورشید در طول روز، دما آرام آرام کاهش می‌یابد. شکل نشان می‌دهد که حداکثر دمای گیرنده جمع کننده در 21 ژوئن در 13:17 بعد از ظهر بعد از حداکثر تابش خورشید، که 148 درجه سانتیگراد بود، رخ داده است. درجه حرارت بالاتر در این زمان به دلیل تابش لحظه‌ای بالاتر خورشید است.



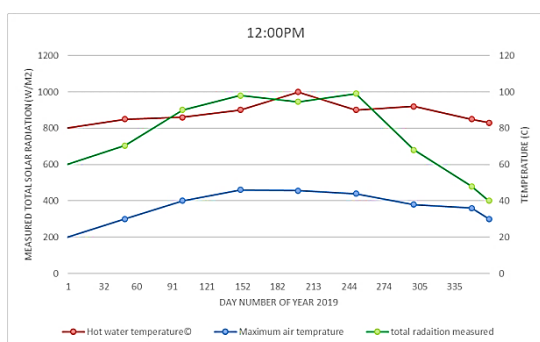
شکل ۱۳- بازده جمع کننده با سرعت جریان جرم مختلف و کل تابش خورشید اندازه گیری شده در ۲۱ هر ماه در ساعت ۱۲:۰۰ بعد از ظهر ، سال ۲۰۱۹

محور افقی: شماره روز در سال 2019، محور عمودی سمت چپ: کل تابش خورشید اندازه گیری شده (وات بر متر مربع)، محور عمودی سمت راست: بازده، خط آبی: کل تابش اندازه گیری شده، خط قرمز: بازده تجربی در 1.5 لیتر در دقیقه، خط سبز: بازده تجربی در 2 لیتر در دقیقه



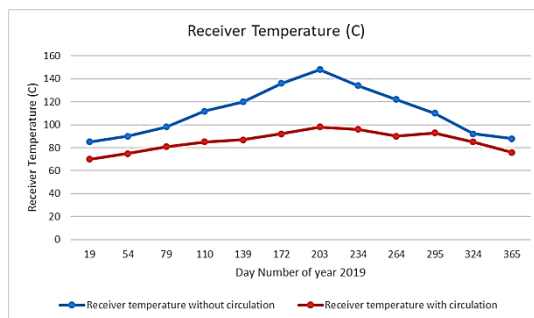
شکل ۱۱- دمای گیرنده جمع کننده در ۲۱ مارس ، ژوئن ، سپتامبر و دسامبر سال ۲۰۱۹

محور افقی: زمان (ساعت) ، محور عمودی: دمای گیرنده (سانتی گراد)، خط آبی: ۲۱ مارس، خط قرمز: ۲۱ ژوئن، خط سبز: ۲۱ سپتامبر، خط بنفش: ۲۱ دسامبر



شکل ۱۴- کل تابش خورشیدی لحظه ای اندازه گیری شده، دمای محیط و دمای آب گرم در طول سال ۲۰۱۹

محور افقی: شماره روز در سال ۲۰۱۹، محور عمودی سمت چپ: کل تابش خورشید اندازه گیری شده (وات بر متر مربع)، محور عمودی سمت راست: دما (سانتی گراد)، خط قرمز: دمای آب گرم، خط آبی: حداکثر دمای هوا، خط سبز: کل تابش اندازه گیری شده



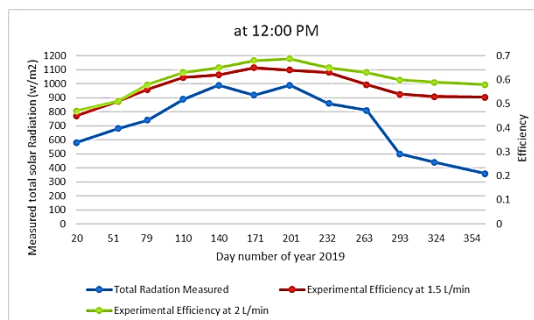
شکل ۱۲- دمای گیرنده جمع کننده در بیست و یکم هر ماه در ساعت ۱۳:۰۰ بعد از ظهر، با و بدون گردش آب گرم، سال ۲۰۱۹

محور افقی: شماره روز در سال ۲۰۱۹، محور عمودی: دمای گیرنده (سانتی گراد)، خط آبی: دمای گیرنده بدون گردش، خط قرمز: دمای گیرنده با گردش

### ۵- نتیجه گیری

تغییر دمای خروجی با توجه به تغییر هندسه گیرنده به سیم پیچ مارپیچ مورد مطالعه قرار گرفته است. از این مطالعه می توان نتیجه گیری های زیر را انجام داد:

- تابش بیشتر خورشید از ظهر تا بعد از ظهر (حدود ساعت ۱۳:۰۰ بعد از ظهر) ثبت شد.
- این آزمایش در تمام طول سال و در شرایط گرم و سرد انجام شد و خاطرنشان کرد که روزهای سرد با چنین سیستم هایی که فقط به تابش مستقیم خورشید متکی هستند، خصمانه است. با این وجود، نتایج خوبی به دست آوردیم.



as heat transfer fluid under non-uniform solar flux. Appl Therm Eng 115: 1255-1265.

- [5] Fernández-García A, Zarza E, Valenzuela L, Pérez M (2010) Parabolic-trough solar collectors and their applications. Renew Sustain Energy Rev 14(7): 1695-1721.
- [6] Wang Z, Ni J, Zhao L, Deng S, Zhao D (2017) Simulation and optimization of parabolic trough receiver with non-uniform heat flux distribution: A review Ene Procedia 142: 700-707.
- [7] Ghadirijafarbigloo S, Zamzamian AH, Yaghoubi M (2014) 3-D numerical simulation of heat transfer and turbulent flow in a receiver tube of solar parabolic trough concentrator with louvered twisted-tape inserts. Ene Procedia 49(1): 373-380.
- [8] Natarajan M, Sekhar YR, Srinivas T, Gupta P (2014) Numerical simulation of heat transfer characteristics in the absorber tube of parabolic trough collector with internal flow obstructions. ARPN JEAS 9(5): 674-681.
- [9] Huang Z, Yu GL, Li ZY, Tao WQ (2015) Numerical study on heat transfer enhancement in a receiver tube of parabolic trough solar collector with dimples, protrusions and helical fins. Ene Procedia 69(2): 1306-1316.
- [10] Mohammad IL (2012) Design and Development of Parabolic Solar Dish Water Heater. Int J Eng Res Appl 2(1): 822-830.
- [11] Reddy KS, Satyanarayana GV (2008) Numerical study of porous finned receiver for solar parabolic trough concentrator. Eng Appl Comput Fluid Mech 2(2): 172-184.
- [12] Riveros HG, Oliva AI (1986) Graphical analysis of sun concentrating collectors. Sol Ene 36(4): 313-322.
- [13] Taleb NS (2014) Robust Design of Thermal Solar Power Station Using System Advisor Model (SAM) Software as the First Pilot Project in Palestine. IUGSpace 17: 189-195.
- [14] Howell JR, Bannerot RB, Vliet GC (1982) Solar-thermal energy systems: analysis and design. Mcgraw-Hill College.

۳. استفاده از لوله تخلیه شده بر روی گیرنده باعث کاهش تابش و تلفات گرمای همرفتی می شود.

۴. طراحی گیرنده با سیم پیچ مارپیچ باعث بهبود عملکرد می شود.

#### نمادهای لاتین

نماد	توصیف	واحد
<i>PTC</i>	ناودان متمرکز کننده پارابولیک	...
<i>Aa</i>	ناحیه دیافراگم	متر مربع
<i>b</i>	عرض جاذب	متر
<i>C</i>	نسبت غلظت نوری	...
<i>f</i>	فاصله کانونی	متر
<i>w</i>	عرض دیافراگم	متر
<i>F'</i>	ضریب کارایی جمع کننده	...
$(\theta_r)$	زاویه لبه	درجه
<i>I<sub>hem</sub></i>	پرتو تابش خورشیدی	وات بر متر مربع
<i>I<sub>diffuse</sub></i>	تابش خورشیدی پراکنده	وات بر متر مربع
<i>I<sub>DN</sub></i>	تابش مستقیم پرتوی عادی	وات بر متر مربع
<i>D<sub>ro</sub></i>	قطر گیرنده	متر
<i>L</i>	طول	متر
<i>M</i>	جرم	کیلوگرم
<i>T</i>	دمای	درجه
<i>t</i>	زمان	m/s
<i>h<sub>c</sub></i>	عمق	متر
<i>A</i>	جاذب	درجه
<i>r</i>	شعاع آینه	متر
<i>I</i>	ورودی	...
<i>O</i>	خروجی	...
<i>C<sub>g</sub></i>	نسبت غلظت نوری	...

#### 6- مراجع

- [1] Elmahi FEA (1983) Design and testing of an intermittent ammonia absorption refrigeration system (Doctoral dissertation, M. Sc. thesis, Mechanical Engineering University of Strathclyde, UK).
- [2] Benabderrahmane A, Benazza A, Aminallah M, & Laouedj S (2016) Heat transfer behaviors in parabolic trough solar collector tube with compound technique. IJSRET 5(11): 568-575.
- [3] Kalogirou SA (2004) Solar thermal collectors and applications Prog. Ene, Combust. Sci. 30(3): 231-295.
- [4] Qiu Y, Li MJ, He YL, Tao WQ (2017) Thermal performance analysis of a parabolic trough solar collector using supercritical CO<sub>2</sub>

