



مطالعه تجربی ناودان جمع کننده ی خورشیدی با سیم پیچ مارپیچ

محمد قزم ملطاشی^۱ محمد مقیمان^{۲*} و صباح عودا عبدالامیر^۳
^۱ دانشجوی دکترا، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۲ استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۳ استادیار، دانشگاه اهل البیت، کربلا، عراق

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۲/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۳۰

چکیده

ناودان متمرکزکننده خورشیدی سهموی (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 سهموی 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) ۲ سانتی متری و یک گیرنده مارپیچی با روکش سیاه، تغییرات دما را اندازه‌گیری کردیم. نتایج نشان داد که حداکثر دمای جاذب در ۲۱ ژوئن در ساعت ۱۳،۱۷ بعد از ظهر می‌باشد که بعد از حداکثر تابش خورشید که ۱۴۸ 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 ۲۱ دسامبر در ۱۳،۱۲ بعد از ظهر می‌باشد که پس از حداکثر تابش خورشید که ۹۱ درجه سانتیگراد بود.

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

Experimental study of solar collector with helical coil

Mhammed Qazam Almultashi¹, Mohammed Moghiman^{2*}, Sabah Auda Abdul A meer³

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

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

³ Assistant. Prof., AhlAlbait 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; Helical receiver.

۱- مقدمه

انرژی خورشیدی یکی از ضروری ترین 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 [۱]. فن آوری های انرژی خورشیدی پتانسیل زیادی دارند که چند مورد از آنها مانند تنوع بخشیدن به منابع انرژی، کاهش اتکا به گاز طبیعی و سایر سوخت های فسیلی، و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای است. انرژی خورشیدی در سیستم های حرارتی مختلفی مانند آب شیرین کن خورشیدی [۲]، دودکش خورشیدی [۳]، گرم کننده های خورشیدی [۴]، تولید برق [۵]، و گردآورنده های خورشیدی [۴] استفاده می شوند. با استفاده از گردآورنده های خورشیدی، انرژی تشعشعی خورشید به صورت گرما در یک سیال خنک-کن ذخیره می شود. گردآورنده های خورشیدی به دو نوع متمرکز کننده و غیر متمرکز کننده تقسیم می شوند، که به ترتیب برای کار با دمای بالا و پایین کاربرد دارند [۶]. شناخته شده ترین تکنیک غلظت خورشیدی، ناودان جمع کننده خورشیدی سهموی [۷] است که در آن یک جمع کننده خورشیدی با کارایی بالا برای فراهم کردن دماهای بالا با بازده بالا مورد نیاز است. اخیراً مطالعه ای نشان داد، مناطق جنوب شرقی ایران محل مناسبی برای جمع کننده های خورشیدی است [۸]. جمع کننده های سهموی (PTCs^۱) به سیستم های کم وزن و کم هزینه اجازه می دهند تا گرما را تا ۴۰۰۰ درجه سانتیگراد بالا ببرند [۹].

یک سطح جمع کننده سهمی شکل (سهموی)، تابش اتفاقی را به درون لوله گیرنده در PTC منعکس می کند. یک جمع کننده سهموی خطی یا یک جمع کننده سهموی استوانه ای [۱۰] نام های دیگر آن است. تابش مستقیم خورشید به گیرنده های ناودان سهموی (PTR^۲) واقع در امتداد خط کانونی در PTCs منعکس می شود. در نتیجه توزیع شار حرارتی غیر یکنواخت (NUHF^۳) در کانال جاذب ایجاد می شود. در نتیجه شیب های دما و قله های دما در لوله جاذب ظاهر می شوند و کارایی و قابلیت اطمینان PTR را به خطر می اندازند. PTR یکی از اجزای حیاتی PTC است که تقریباً ۳۰٪ هزینه

مواد ساخت یک میدان خورشیدی را تشکیل می دهد [۱۱]. در این مقاله، یک PTC خورشیدی برای افزایش سرعت انتقال حرارت از تابش خورشیدی به وسیله لوله مسی جاذب مارپیچی به مایع انتقال حرارت طراحی شده است و ما انتظار داریم که طراحی گیرنده با سیم پیچ مارپیچ عملکرد بهتری را ارائه دهد.

۲- بررسی منابع

روش های متفاوتی برای افزایش انتقال گرما از تابش به مایع انتقال حرارت (HTF^۴) وجود دارد، روش هایی نظیر استفاده از نانو سیال [12-14]، محیط متخلخل [۱۵، ۱۶]، و مولد گردابه [۱۷، ۱۸]. مولدهای گردابه با ایجاد اختلاط و تداخل در رشد لایه مرزی یکی از موثرترین روش ها برای افزایش سرعت گسترش انتقال حرارت همرفتی درون لوله داخلی هستند. بنابراین، بهبود انتقال گرما در داخل لوله با استفاده از این روش توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۱۹]. در یک مطالعه مروری نشان داده شد، با استفاده از ایجاد گردابه می توان در جمع کننده های سهموی نرخ انتقال حرارت را به ترتیب به مقدار ۲۰-۳۰٪ و ۱۰-۲۰٪، در جریان هایی با رژیم آشفته و آرام به ترتیب افزایش داد [۲۰]. 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 [۲۱]. یافته ها نشان داد که نوار پیچ خورده جدید از نظر کارایی حرارتی، به ویژه در اعداد رینولدز پایین، از نوار پیچ خورده سنتی بهتر عمل می کند. ناتاراجان و همکاران [۲۲] به صورت عددی از خصوصیات انتقال گرما در یک لوله جاذب مسی PTC با جاسازهای مختلف مدل سازی می کند. جریان آب ۸۵ کیلوگرم در ساعت بود که با تابش به ترتیب به بالاترین و کمترین لایه های لوله به ۸۷۰،۵ W/m² و ۲۸۲۲۶،۳ W/m² رسید. آنها متذکر شدند که یک لوله با یک جاساز مثلثی توزیع دما بهتری از یک لوله شفاف را ارائه می دهد، اما این نوع جاساز افت فشار بهتری نسبت به یک لوله مستقیم ایجاد نمی کند. هوانگ و 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 [۲۳]. یافته ها نشان داد

^۳non-uniform heat flux
^۴heat transfer fluid

^۱Parabolic Trough Concentrator
^۲parabolic trough receivers



شکل ۱- جمع کننده خورشیدی PTC



شکل ۲- جمع کننده خورشیدی PTC

۲-۳- گیرنده

گیرنده از دو قسمت تشکیل شده است، یعنی پوشش متحدالمرکز شفاف و لوله جاذب. شکل ۳ 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^۲ با عرض روزنه (W)، زاویه لبه (θ_r) و شکل و اندازه گیرنده تعریف می شود، همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است. سیال کاری آب است که خواص آن تابعی از دما در این مرجع [26] ارائه شده است.

که گودال در مقایسه با اشکال هندسی دیگر انتقال حرارت بیشتری را ارائه می دهد.

در سال ۲۰۱۲، محمد لادن [۲۴] برنامه ریزی و توسعه یک آبگرمکن بشقابی سهموی خورشیدی را برای کاربرد خانگی^۱ (تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد) توصیف کرد. گرمکن روزانه ۴۰ لیتر برای یک خانواده چهار نفره تأمین می کند. مشخص شد که راندمان حرارتی سیستم، مقدار طراحی شده ۵۰٪ است. ردی و ساتیا نارایانا [۲۵] 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 ۰٫۲۵، جرمه فشار ۱٫۷ کیلو پاسکال و جریان جرمی ۶٫۴ کیلوگرم در ثانیه انتقال گرما را ۱۳٫۸٪ افزایش می دهد.

بیشتر مطالعات انجام شده برای دریافت کننده های سیستم های PTC بصورت لوله های افقی و یا لوله هایی با هندسه اصلاح شده داخلی برای افزایش انتقال همرفت مانند استفاده از انواع نوار پیچشی، سطوح گسترش یافته، سطوح متخلخل و غیره است. در این مطالعه برای اولین بار در آب و هوای عراق استفاده از PTC با سیستم دریافت کننده سیم پیچ مارپیچ مارپیچ ارائه شده است. دریافت کننده سیم پیچ مارپیچ مبدل-های فشرده ای هستند که می توانند در مساحتی کوچک انتقال حرارت زیادی را در برداشته باشد.

۳- طراحی ناودان جمع کننده خورشیدی سهموی

PTC دو بعدی شامل دو جز اصلی است.

۳-۱- بازتابنده

این شامل بازتابنده و ساختار پشتیبانی است که در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است. بازتابنده یک آینه سهموی 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.

² Paraboloid

¹ Predicament

که بیشتر در ماه های تابستان اتفاق می افتد، می توان رابطه (۲) را به صورت زیر نوشت:

$$W_{im}=0.00925r \quad (۳)$$

نسبت غلظت هندسی به صورت زیر [۲۹] آورده شده است:

$$C_g = \frac{\text{Effective aperture area}}{\text{Receiver tube area}} = \frac{WL - D_{r0}L}{\pi D_{r0}L} = \frac{W - D_{r,0}}{\pi D_{r,0}} \quad (۴)$$

نسبت غلظت نوری (C) مربوط به (θ_r) است و می تواند به صورت زیر تعریف شود [۲۹]:

$$C = \frac{\sin \theta_r}{\pi \sin \theta_a} \quad (۵)$$

ابعاد محاسبه شده PTSC پس از ساخت در جدول ۱ نشان داده شده است.

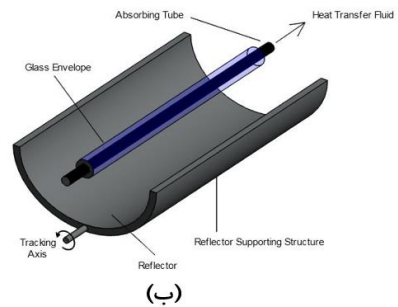
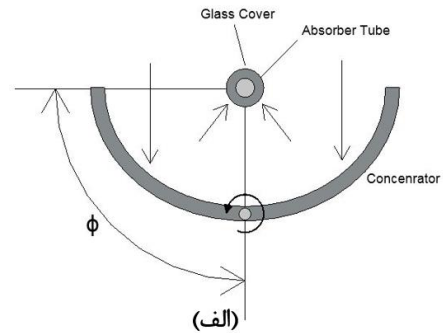
جدول ۱- ابعاد محاسبه شده PTSC پس از ساخت

عرض دیافراگم (W)	عرض دیافراگم (W)
۱،۰۲۵ متر	۱،۰۲۵ متر
طول	۲،۰۲ متر
عمق (hc)	۰،۳۳۵ متر
مساحت دیافراگم جمع کننده	۲ متر مربع
فاصله کانونی $W_2 / 16hc = (f)$	۲۳ سانتی متر
زاویه لبه	۹۷ درجه
معادله ورق سهموی	$X_2=4*0.23Y$
قطر گیرنده (Dro) و طول	۵ میلی متر ، ۲ متر
نسبت غلظت نوری	۶۸

به طور کلی، زاویه بروز صفر نیست و فاصله نور منعکس شده بیشتر است. این بدان معنی است که لوله گیرنده باید ابعاد کمی بزرگتری داشته باشد تا حائل های بالا را در مواردی که زاویه بروز زیاد است، حفظ کند. بنابراین، قطر گیرنده ۱۲،۷ میلی متر در نظر گرفته شد. علاوه بر این، طول لوله گیرنده ۱۹/۱۰ متر و تعداد دور آن برابر ۹۵ بود. قطر پایه گیرنده ۳۸ میلی متر انتخاب شد تا بتوانید لوله گیرنده را به راحتی روی آن بچرخانید.

برای محاسبه بازده حرارتی گیرنده از رابطه زیر استفاده شده است:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}_{collector} C_p (T_{w,out} - T_{w,in})}{I A_{collector}} \quad (۶)$$



شکل ۳- ناودان جمع کننده سهموی، و اجزای مختلف

آن در دو شمایک الف: عرضی، و ب: سه بعدی

شعاع سهمی در یک مکان دلخواه توسط r تعریف شده و "شعاع آینه" نامیده می شود. بزرگترین شعاع آینه در لبه خارجی آن اتفاق می افتد و به طور مناسبی "شعاع لبه" یا شعاع سهموی نامیده می شود. زاویه لبه، θ_r مربوط به تابش پرتو منعکس شده از لبه بیرونی متمرکز کننده است. فاصله کانونی، f ، به زاویه لبه و عرض دیافراگم، W گفته می شود، به عنوان [۲۷]:

$$W=4*f*\tan (\theta_r/2) \quad (۱)$$

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 [۲۸].

$$W_{im}=r\theta_s \quad (۲)$$

جایی که θ_s نشان دهنده عرض زاویه ای بروز پرتو تابش و برابر با ۰،۵۳ درجه (rad ۰،۰۰۹۲۵) است، θ_a نیم زاویه پذیرش ۰،۲۶۵ درجه است و طول مسیر پرتو منعکس شده برابر با شعاع سهموی، r است. بنابراین، برای بروز تقریباً نرمال،

جمع کننده‌ای ساخته شده است تا بتواند از هر جهتی بچرخد. کمترین میزان کل تابش خورشیدی لحظه ای در ۲۱ دسامبر که ۵۷۲ وات بر مترمربع بود، و حداکثر کل تابش خورشیدی لحظه ای در ۲۱ ژوئن ۲۰۱۹ در ساعت ۱۲:۳۰ بعد از ظهر ثبت شد که ۹۲۷ وات بر مترمربع بود. حداکثر دمای هوا در تاریخ ۲۰۱۹/۶/۲۹ در ساعت ۱۴:۵۲ ۵۰ درجه سانتی گراد بود. شکل‌های ۵-۸ کل تابش خورشیدی لحظه ای روزانه و دمای هوای روزهای انتخاب شده را در ۲۱ ژوئن، سپتامبر، دسامبر و مارس، برای سال ۲۰۱۹ به عنوان نمونه‌ای از داده های اندازه‌گیری شده، نشان می‌دهد. حداکثر کل تابش خورشیدی لحظه ای در ۲۱ ژوئن مربوط به 927 W/m^2 بود. بیشترین دمای هوا در این روز ۴۳ درجه سانتی گراد بود. نتایج ۲۱ مارس و ۲۱ 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 (۲۱ ژوئن و ۲۱ دسامبر). این اشکال نشان می‌دهند که حداکثر کل تابش خورشید برای ۲۱ ژوئن در ساعت ۱۲:۰۴ 927 W/m^2 و برای ۲۱ سپتامبر در ساعت ۱۱:۵۵ 800 W/m^2 است. حداکثر دما در ۲۱ ژوئن و سپتامبر به ترتیب ۴۳ و ۳۴ درجه سانتیگراد بود. شایان ذکر است که همه داده‌های تجربی ارائه شده در این پژوهش چندین بار تکرار شده است تا از صحت داده‌ها اطمینان لازم حاصل گردد.

این اشکال همچنین نشان می‌دهند که حداکثر کل تابش لحظه‌ای خورشید در ۲۱ مارس، ژوئن، سپتامبر و دسامبر به ترتیب در ساعت ۱۲:۰۹، ۱۲:۰۴، ۱۱:۵۵ و ۱۲:۰۰ 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 ۲ بعد از ظهر که معمولاً حداکثر دما ثبت می‌شود، ادامه داشت. این تعادل در ظهر هنگامی که خورشید در آسمان است، اتفاق افتاد زیرا خورشید نزدیک به حالت عمودی است و تا ساعت ۲ بعد از ظهر هنوز ثابت است. مقدار گرمای بدست آمده توسط زمین بیشتر از میزان اتلاف گرما است. پس از این زمان، انرژی

که به ترتیب $i, T_{w,in}, T_{w,out}, C_p, \dot{m}_{collector}$ و $A_{collector}$ اشاره به دبی جرمی آب، گرمای ویژه آب، دمای خروجی آب، دمای ورودی آب، شار خورشیدی، و مساحت کلکتور دارد.

۳-۳- 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 برای اتصال بازتابنده^۱ از ترسیم در مقیاس کامل استفاده شده است. برای ثابت نگه داشتن ناحیه دیافراگم، با پرچ این بازتابنده ها 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 $O.D. 12,7$ میلی متر و ضخامت ۱ میلی متر از بازار خریداری شد. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، سیم پیچ مارپیچ 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.

۴- نتایج و بحث

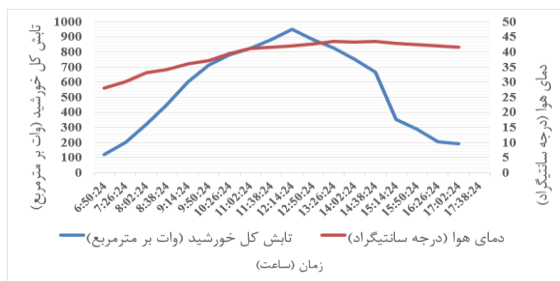
به دلیل قابلیت هدایت حرارتی بالا، مس برای ساخت گیرنده انتخاب شد. برای آزمایش، یک لوله مسی با $O.D. 12,7$ میلی متر و ضخامت ۱ میلی متر از بازار خریداری شد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، سیم پیچ مارپیچ با خم کردن لوله درحالی که ماسه درون آن بود، ساخته شده است.



شکل ۴- گیرنده سیم پیچ مارپیچ

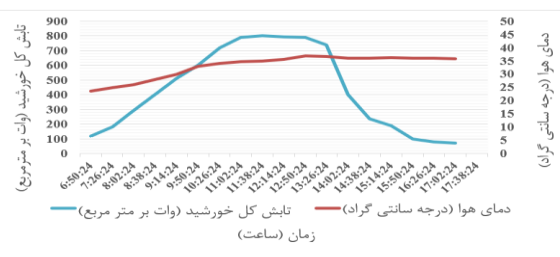
¹Parabola

خورشیدی (وات بر متر مربع)، خط قرمز: دمای هوا (سانتی گراد)



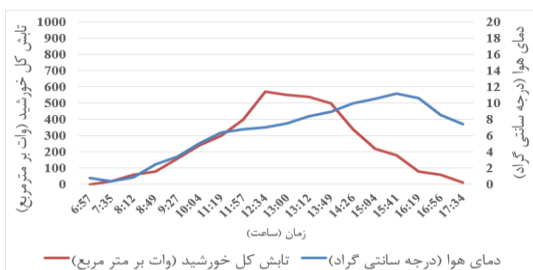
شکل ۶- میزان کل تابش خورشید و دمای هوا اندازه گیری شده در ۲۱ ژوئن ۲۰۱۹

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

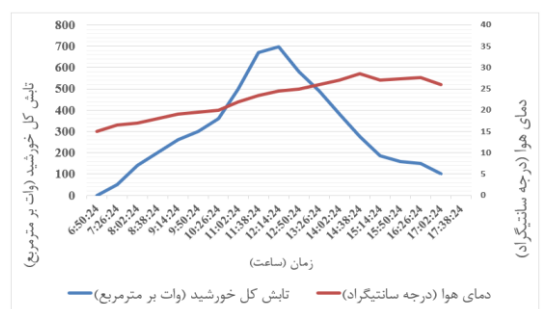


شکل ۸- تابش کل خورشید و دمای هوا اندازه گیری شده در ۲۱ دسامبر ۲۰۱۹

تابش خورشید با انحراف خورشید از خط نصف النهار کاهش می یابد و در نتیجه مقدار تابش خورشید به دست آمده توسط زمین افزایش می یابد.

شکل های زیر نشان می دهند 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 می دهند که دمای هوا حتی پس از رسیدن به حداکثر تابش روزانه خورشیدی همچنان در حال افزایش است. شکل ۹ مقایسه ای را نشان می دهد که بین کل تابش خورشیدی لحظه ای اندازه گیری 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 لحظه ای اندازه گیری شده و دمای هوا را در ۲۱ مارس، ژوئن، سپتامبر و دسامبر ۲۰۱۹ نشان می دهد. شکل نشان می دهد که حداکثر کل تابش لحظه ای خورشید و دمای هوا در ۲۱ ژوئن رخ داده است، که به ترتیب 927 W/m^2 و 43 درجه سانتی گراد بود، و حداقل آن در ۲۱ دسامبر ثبت شد (به ترتیب 572 W/m^2 و 11.5 درجه سانتی گراد). همچنین، این شکل نشان می دهد که حداکثر تابش لحظه ای خورشید و دمای هوا بین ۱۱:۵۵ صبح تا ۱۲:۱۵ اتفاق افتاده است.



شکل ۹- 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

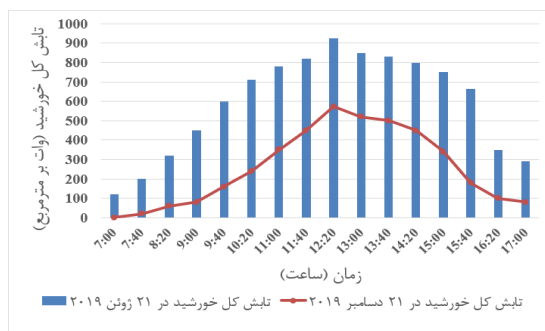
رخ داده است. درجه حرارت بالاتر در این زمان به دلیل تابش لحظه ای بالاتر خورشید است.

همچنین، کمترین دمای گیرنده جمع کننده در تاریخ ۲۱ دسامبر در ساعت ۱۳،۱۲ بعد از ظهر بعد از حداکثر تابش خورشید بود که ۹۱ درجه سانتیگراد بود. شکل ۱۲ نشان می دهد که دمای گیرنده در حدود ساعت ۱۳:۰۰ بعد از ظهر به حداکثر مقدار خود می رسد. دمای گیرنده پس از حداکثر تابش خورشید به اوج خود می رسد. شکل مقایسه ای از دمای گیرنده در طول سال ۲۰۱۹ با و بدون گردش آب گرم را نشان می دهد.

بدون جریان آب گرم، دمای گیرنده جمع کننده خورشیدی در ۲۱ ژوئن حدود ۱۴۸ درجه سانتیگراد بود. دما از ۲۱ ژانویه تا ۲۱ ژوئیه افزایش یافته است زیرا شدت خورشید افزایش یافته است. با جریان آب گرم، حداکثر دمای گیرنده حدود ۹۸ درجه سانتیگراد بود. شکل ۱۳ کارایی محاسبه شده جمع کننده خورشیدی را در فصول تابستان و زمستان با سرعت جریان مختلف جرم (۱،۵ لیتر در دقیقه و ۲ لیتر در دقیقه) نشان می دهد. شکل نشان می دهد که هنگام صعود سرعت جریان جرم، بازده اندازه گیری شده افزایش می یابد. شکل نشان می دهد که افزایش کل تابش خورشیدی اندازه گیری شده به دلیل افزایش بازده جمع کننده است.

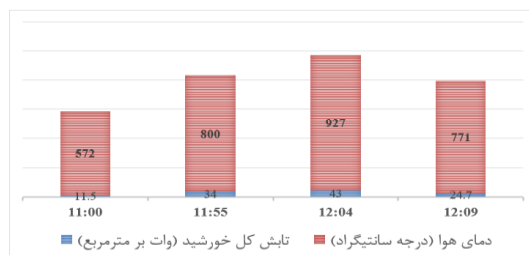
بازده با سرعت جریان جرم ۱،۵ لیتر در دقیقه از ۰،۴۸ به ۰،۶۳ و با سرعت جریان جرم ۲ لیتر در دقیقه از ۰،۴۹ به ۰،۶۶ افزایش یافت. حداکثر بازده در تابستان بود. شکل ۱۴ نشان می دهد که می توان آب گرم را در زمستان با دمای حدود ۸۰ درجه سانتیگراد بدست آورد و در فصل تابستان، دمای آب می تواند به ۹۸ درجه سانتیگراد برسد، در حالی که دمای هوا از حدود ۲۰ درجه سانتیگراد تا ۵۰ درجه سانتیگراد متفاوت بود. این شکل نشان می دهد که افزایش کل تابش لحظه ای خورشید منجر به افزایش دمای هوا می شود. افزایش در کل تابش لحظه ای خورشید باعث جذب تشعشع در سطح گیرنده می شود که به نوبه خود باعث افزایش دمای آب در حلقه جمع کننده خورشیدی می شود.

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



شکل ۹- مقایسه بین کل تابش لحظه ای اندازه گیری شده خورشیدی در ۲۱ ژوئن و ۲۱ دسامبر ۲۰۱۹

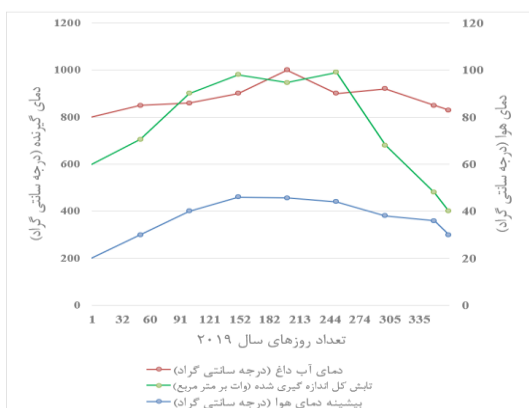
محور افقی: زمان (ساعت)، محور عمودی: کل تابش (وات بر متر مربع)، خط آبی: کل تابش خورشیدی در ۲۱ ژوئن ۲۰۱۹، خط قرمز: کل تابش خورشیدی در ۲۱ دسامبر ۲۰۱۹ قسمت آبی: کل تابش لحظه ای خورشیدی (وات بر متر مربع)، قسمت قرمز: دمای هوا



شکل ۱۰- کل تابش لحظه ای خورشیدی و دمای هوا اندازه گیری شده در ۲۱ مارس، ژوئن، سپتامبر، و دسامبر براساس زمان، ۲۰۱۹

شکل ۱۱ تغییر دمای سطح گیرنده را از سپتامبر و دسامبر نشان می دهد. دما به دلیل افزایش شدت تابش به تدریج در صبح افزایش می یابد تا زمانی که خورشید در ظهر به حداکثر حد خود برسد و به دلیل کمبود تابش خورشید در طول روز، دما آرام آرام کاهش می یابد. شکل نشان می دهد که حداکثر دمای گیرنده جمع کننده در ۲۱ ژوئن در ۱۳،۱۷ بعد از ظهر بعد از حداکثر تابش خورشید، که ۱۴۸ درجه سانتیگراد بود،

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: بازده، خط آبی: کل تابش اندازه گیری شده، خط قرمز: بازده تجربی در ۱.۵ لیتر در دقیقه، خط سبز: بازده تجربی در ۲ لیتر در دقیقه



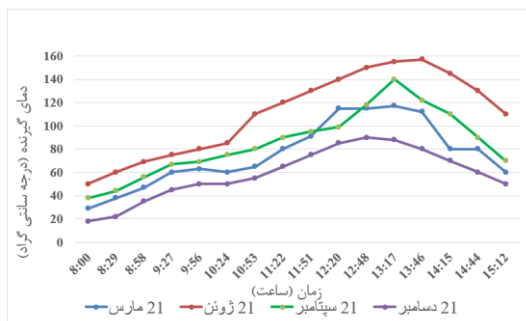
شکل ۱۴- کل تابش خورشیدی لحظه‌ای اندازه‌گیری شده، دمای محیط و دمای آب گرم در طول سال ۲۰۱۹

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

۵- نتیجه‌گیری

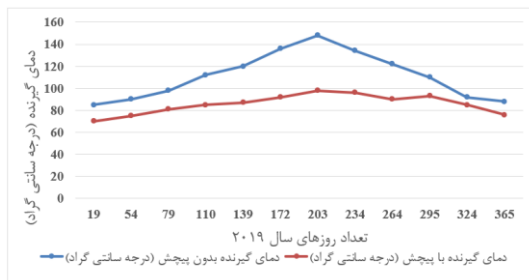
تغییر دمای خروجی با توجه به تغییر هندسه گیرنده به سیم پیچ مارپیچ مورد مطالعه قرار گرفته است. از این مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری‌های زیر را انجام داد:

۱. تابش بیشتر خورشید از ظهر تا بعد از ظهر (حدود ساعت ۱۳:۰۰ بعد از ظهر) ثبت شد.
۲. این آزمایش در تمام طول سال و در شرایط گرم و سرد انجام شد و خاطرنشان کرد که روزهای سرد با چنین سیستم‌هایی که فقط به تابش مستقیم خورشید متکی هستند، خصمانه است. با این وجود، نتایج خوبی به دست آوردیم.
۳. با در نظر گرفتن پوشش شیشه‌ای و محیط خلا بین فضا لوله گیرنده و پوشش شیشه‌ای از اتلاف انرژی به محیط جلوگیری می‌شود.



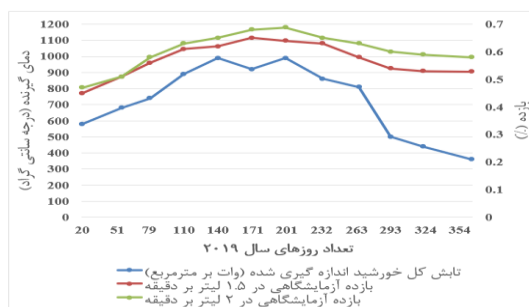
شکل ۱۱- دمای گیرنده جمع کننده در ۲۱ مارس، ژوئن، سپتامبر و دسامبر سال ۲۰۱۶

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



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 (سانتی‌گراد)، خط آبی: دمای گیرنده بدون گردش، خط قرمز: دمای گیرنده با گردش



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

Science and Pollution Research 27 (17), 20699-20724.

[5] Maadi, S. R., Khatibi, M., Ebrahimmnia-Bajestan, E. and Wood, D. (2019c) A parametric study of a novel PV/T system model which includes the greenhouse effect.

[۶] زندوی، ز. و آقانیجفی، س. (۱۳۹۷) بررسی چگونگی افزایش بازده گردآورنده خورشیدی با موقعیت جغرافیایی معین. در چهارمین کنفرانس سراسری دانش و فناوری مهندسی مکانیک و برق ایران.

[7] Benabderrahmane, A., Benazza, A., Aminallah, M. and Laouedj, S. (2016) Heat transfer behaviors in parabolic trough solar collector tube with compound technique. Int J. Sci Res Engng & Tech (IJSRET) 5 (۱۱).

[۸] کریمی، س.، ترابی، ا. و قاسمی، ب. (۱۳۹۹) بررسی و ارزیابی پتانسیل دریافت انرژی خورشیدی توسط دیش متمرکز کننده خورشیدی در ایران. در سومین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک کاربردی.

[9] Kalogirou, S. A. (2004) Solar thermal collectors and applications. Progress in energy and combustion science 30 (3), 231-295.

[10] Qiu, Y., Li, M.-J., He, Y.-L. and Tao, W.-Q. (2017) Thermal performance analysis of a parabolic trough solar collector using supercritical CO₂ as heat transfer fluid under non-uniform solar flux. Applied Thermal Engineering 115, 1255-1265.

[11] Wang, Z., Ni, J., Zhao, L., Deng, S. and Zhao, D. (2017) Simulation and optimization of parabolic trough receiver with non-uniform heat flux distribution: A review. Energy Procedia 142, 700-707.

[12] Maadi, S. R., Kolahan, A., Passandideh Fard, M. and Sardarabadi, M. (2017) Effects of nanofluids thermo-physical properties on the heat transfer and 1st law of thermodynamic in a serpentine PVT system. Proceedings of the 17th Fluid Dynamics Conference, Shahrood, Iran .

[13] Kolahan, A., Maadi, S., Passandideh Fard, M. and Sardarabadi, M. (2017) Numerical and experimental investigations on the effect of adding nanoparticles on entropy generation in PVT systems. In 17th Conference On Fluid Dynamics, fd2017 .

[14] Maadi, S. R., Kolahan, A., Passandideh-Fard, M., Sardarabadi, M. and Moloudi, R. (2017) Characterization of PVT systems equipped with nanofluids-based collector from entropy generation. Energy Conversion and Management 150, 515-531.

[۱۵] پورمویذ، ع.، ولی پور، م.، رحمتی، ر. و رحمانی، ر. (۲۰۱۵) بررسی عددی تاثیرات میدان مغناطیسی مماسی و ثابت بر

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

نمادهای لاتین

نماد	توصیف	واحد
<i>PTC</i>	ناودان متمرکز کننده سهموی
<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	...
(θr)	زاویه لبه	درجه
<i>I_{hem}</i>	پرتو تابش خورشیدی	وات بر متر مربع
<i>I_{diffuse}</i>	تابش خورشیدی پراکنده	وات بر متر مربع
<i>I_{DN}</i>	تابش مستقیم پرتوی عادی	وات بر متر مربع
<i>D_{co}</i>	قطر گیرنده	متر
<i>L</i>	طول	متر
<i>M</i>	جرم	کیلوگرم
<i>T</i>	دمای	درجه سانتی گراد
<i>t</i>	زمان	ثانیه
<i>h_c</i>	عمق	متر
<i>A</i>	جاذب	درجه
<i>r</i>	شعاع آینه	متر
<i>I</i>	ورودی	...
<i>O</i>	خروجی	...

۶- مراجع

- [1] Maadi, S. R., Khatibi, M., Ebrahimmnia-Bajestan, E. and Wood, D. (2019a) Coupled thermal-optical numerical modeling of PV/T module – Combining CFD approach and two-band radiation DO model. Energy Conversion and Management 198, 111781.
- [2] Rashidi, S., Karimi, N., Mahian, O. and Abolfazli Esfahani, J. (2019) A concise review on the role of nanoparticles upon the productivity of solar desalination systems. J. Therm Anal Calorim 135 (2), 1145-1159.
- [3] Rashidi, S., Esfahani, J. A. and Hosseinirad, E. (2021) Assessment of solar chimney combined with phase change materials. J. Taiw Inst Chem Eng.
- [4] Rashidi, S., Yang, L., Khoosh-Ahang, A., Jing, D. and Mahian, O. (2020) Entropy generation analysis of different solar thermal systems. Environmental

- [22] Natarajan, M., Sekhar, Y. R., Srinivas, T. and Gupta, P. (2014) Numerical simulation of heat transfer characteristics in the absorber tube of parabolic trough collector with internal flow obstructions. *ARPJ. Eng Appl Sci* 9 (5), 674-681.
- [23] Huang, Z., Yu, G., Li, Z. and Tao, W. (2015) Numerical study on heat transfer enhancement in a receiver tube of parabolic trough solar collector with dimples, protrusions and helical fins. *Energy Procedia* 69, 1306-1316.
- [24] Mohammad, I. L. (2012) Design and Development of Parabolic Solar Dish Water Heater. *International J. Eng Res and Applic (IJERA)* 2 (1), 822-830.
- [25] Reddy, K. and Satyanarayana, G. (2008) Numerical study of porous finned receiver for solar parabolic trough concentrator. *Engineering applications of computational fluid mechanics* 2 (2), 172-184.
- [26] Kazemian, A., Khatibi, M., Maadi, S. R. and Ma, T. (2021) Performance optimization of a nanofluid-based photovoltaic thermal system integrated with nano-enhanced phase change material. *Applied Energy*, 116859.
- [27] Riveros, H. and Oliva, A. (1986) Graphical analysis of sun concentrating collectors. *Solar energy* 36 (4), 313-322.
- [28] Taleb, N. S. (2014) Robust Design of Thermal Solar Power Station Using System Advisor Model (SAM) Software as the First Pilot Project in Palestine.
- [29] Howell, J. R., Bannerot, R. B. and Vliet, G. C. (1982) *Solar-thermal energy systems: analysis and design*. McGraw-Hill College.
- جریان و انتقال حرارت از یک استوانه پوشیده شده با نوار متخلخل. مکانیک سازه ها و شاره ها ۴ (۴)، ۱۹۱-۲۰۵.
- [۱۶] سرداریان، م. و زحمتکش، ا. (۱۳۹۳) بهبود عملکرد گردآورنده های خورشیدی با بکارگیری محیط های متخلخل. در کنفرانس ملی بهینه سازی مصرف انرژی در علوم و مهندسی.
- [۱۷] فرشاد، س. ع. و شیخ الاسلامی، م. (۱۳۹۹) بررسی عددی افزایش انتقال گرما نانوسیال در گردآورنده خورشیدی صفحه تخت با قراردادن نوار پیچشی چندکاناله در داخل لوله.
- [18] Maadi, S. R., Sabzali, H., Kolahan, A. and Wood, D. (2020) Improving the performance of PV/T systems by using conical-leaf inserts in the coolant tubes. *Solar Energy* 212, 84-100.
- [19] Rashidi, S., Hossein Kashefi, M. and Hormozi, F. (2018) Potential applications of inserts in solar thermal energy systems – A review to identify the gaps and frontier challenges. *Solar Energy* 171, 929-952.
- [20] Sandeep, H. and Arunachala, U. (2017) Solar parabolic trough collectors: A review on heat transfer augmentation techniques. *Renewable and sustainable energy reviews* 69, 1218-1231.
- [21] Ghadirijafarbeigloo, S., Zamzamian, A. and 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. *Energy procedia* 49, 373-380.