



# Experimental Investigation and Exergy Analysis of Solar Parabolic Dish System with Automatic Tracking for Domestic Applications

## ARTICLE INFO

### Article Type

Original Research

### Authors

Barghi Jahromi M.S.<sup>1</sup>,  
Kalantar V.<sup>1\*</sup>,  
Dehestani Bafghi M.H.<sup>2</sup>

### How to cite this article

Barghi Jahromi M.S., Kalantar V., Dehestani Bafghi M.H. Experimental Investigation and Exergy Analysis of Solar Parabolic Dish System with Automatic Tracking for Domestic Applications. Modares Mechanical Engineering; 2023;23(12):641-649.

<sup>1</sup> Department of Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

<sup>2</sup> Department of Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Bafq Branch Azad University, Yazd.

### \*Correspondence

Address: Department of Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

vkalantar@yazduni.ac.ir

### Article History

Received: February 27, 2023

Accepted: December 11, 2023

ePublished: January 10, 2024

## ABSTRACT

Among solar collectors, solar parabolic dishes have attracted the attention of researchers due to their high working temperature and high thermal performance. The purpose of this study is to compare two absorber receivers (normal-black color) for the solar parabolic dish. The analysis of energy and exergy was investigated for different conditions at different hours. Two-axis tracking system was applied to the outlet temperature in the solar parabolic dish system. The results show that the maximum temperature of the normal and black absorber is 101.52 and 115.53°C, respectively, and the maximum energy and exergy efficiency of the black spiral absorber plate is 0.7 and 0.21. In addition, the designed parabolic solar container raised the temperature of 80 liters of water to 60°C in 5 hours after sunlight, which is suitable for bathing and washing clothes in winter in backward and rural areas without electricity and fuel. Therefore, it is enough for four to five people.

**Keywords** Solar Energy, Parabolic Dish Collector, Thermal Efficiency, Two-Axis Automatic Tracker, Exergy Efficiency.

## CITATION LINKS

1- CFD modeling and evaluation ... 2- Recent progress on solar cabinet ... 3- Thermo-economic analysis of solar ... 4- Experimental and numerical investigation ... 5- Thermofluid Numerical simulation of the ... 6- Improving the thermal efficiency of ... 7- Thermo-Economic evaluation of ... 8- Experimental investigation on the use ... 9- Thermal analysis of a solar dryer ... 10- A detailed parametric analysis of ... 11- Experimental analysis of a two-axis ... 12- Exergy analysis and optimization of ... 13- Performance assessment of parabolic dish ... 14- Development of three-dimensional optimization ... 15- Solar parabolic dish collector for ... 16- Simulation and optimization of a solar dish ... 17- Experimental and analytical thermal ... 18- Performance investigation of solar ORC ... 19- Design and development of ... 20- Design optimization, fabrication, and ... 21- A comprehensive simulation on optical ... 22- Experimental study of carbon ... 23- An experimental study on a ... 24- Cavity receivers in solar dish ... 25- Assessment of linear solar concentrating ... 26- Solar energy sciences and engineering ... 27- Experimental study on the solar ... 28- Energy and exergy analysis of ... 29- Thermal and exergy performance of ...

## بررسی تجربی و تحلیل انرژی سیستم دیش سهموی خورشیدی با ردیاب اتوماتیک برای مصارف خانگی

محمد صالح برقی جهرمی<sup>۱</sup>، ولی کلانتر\*<sup>۲</sup>، محمد حسین دهستانی بافقی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۲</sup> گروه مهندسی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد واحد بافق، یزد

### چکیده

در میان کلکتورهای خورشیدی، دیش‌های سهموی خورشیدی به دلیل دمای کاری بالا و عملکرد حرارتی بالا توجه محققان را به خود جلب کرده‌است. هدف از این مطالعه، مقایسه دو گیرنده جاذب (معمولی - سیاه رنگ) برای دیش سهموی خورشیدی می‌باشد. تجزیه و تحلیل انرژی و انرژی برای دو حالت مختلف در ساعات‌های متفاوت بررسی شد. برای دمای خروجی در سیستم دیش سهموی خورشیدی از ردیاب اتوماتیک دو محوره استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر دمای جاذب معمولی و سیاه رنگ به ترتیب ۱۰۱/۵۲ و ۱۱۵/۵۳ درجه سانتی‌گراد و حداکثر بازده انرژی و انرژی مربوط به صفحه جاذب مارپیچ سیاه رنگ با مقادیر ۰/۷ و ۰/۲۱ است. علاوه بر این، دیش سهموی خورشیدی طراحی شده دمای ۸۰ لیتر آب را در ۵ ساعت پس از تابش آفتاب به ۶۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داد که برای حمام کردن و شستشوی لباس در فصل زمستان در مناطق دور افتاده و روستایی که کمبود برق و سوخت‌های فسیلی وجود دارد؛ برای چهار تا پنج نفر کافی است.

**کلیدواژه‌ها:** انرژی خورشیدی، کلکتور دیش سهموی، بازده حرارتی، ردیاب اتوماتیک دو محوره، بازده انرژی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰

\*نویسنده مسئول: vkalantar@yazduni.ac.ir

### ۱- مقدمه

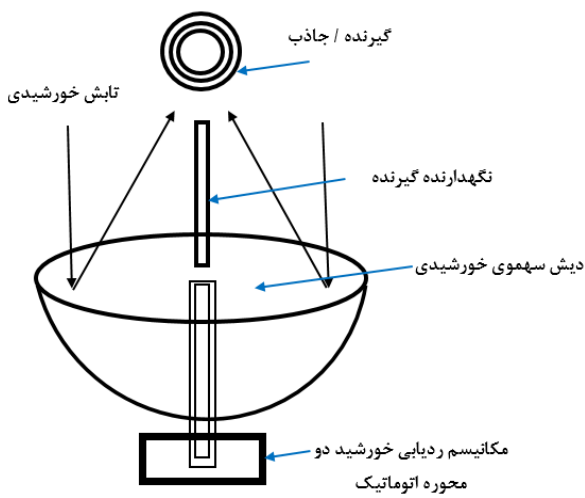
بر اساس مطالعات و تحقیقات انجام شده، مصرف انرژی در جهان هر ۲۰ سال دو برابر می‌شود [1, 2]. این در حالی است که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر همچنان کمتر از سوخت‌های فسیلی است که باعث مشکلات زیست محیطی و آلودگی‌های بسیاری در جهان شده است. با این حال، در دهه‌های اخیر تمایل به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، به ویژه انرژی خورشیدی افزایش یافته است [3]. استفاده از انرژی خورشیدی یک سلاح اساسی برای رویارویی با مشکلات انرژی، ارائه راه‌حل‌های کارآمد و اقتصادی است [4]. کلکتورهای خورشیدی وسایلی هستند که انرژی خورشیدی را جذب کرده و با کارایی رضایت بخشی به گرمای مفید تبدیل می‌کنند. برای سطوح دمای پایین تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، کلکتورهای صفحه تخت معمول ترین نوع کلکتور هستند [5, 6]. برای سطوح دمای متوسط تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، کلکتورهای لوله تخلیه شده و کلکتور متمرکز کننده با کیفیت

پایین معمول ترین کلکتورها هستند [7-9]. برای سطوح دمایی بالا، کلکتورهای سهموی، کلکتورهای فرنل و کلکتورهای بشقاب خورشیدی ایده‌آل‌ترین راه حل برای دستیابی به نتایج رضایت بخش هستند [10, 11]. منبع انرژی خورشیدی یکی از بهترین جایگزین‌ها برای منابع انرژی تجدید ناپذیر است. راه‌های زیادی برای استخراج انرژی خورشیدی وجود دارد که یکی از راه‌های آن انرژی حرارتی متمرکز خورشیدی است. انرژی خورشیدی متمرکز یک منبع جایگزین برای کاربردهای حرارتی با دماهای بالا مانند خشک کننده خورشیدی، پخت و پز خورشیدی، نمک زدایی و تولید برق است [12].

کلکتورهای دیش سهموی خورشیدی یک راه حل قابل اعتماد برای عملکرد در سطوح دمای متوسط و بالا هستند [13]. یک کلکتور بشقاب خورشیدی را با یک کلکتور سهموی مقایسه کردند و نتایج نهایی ثابت کرد که فناوری دیش به دلیل نسبت تمرکز بالاتر که به طور کامل با تلفات حرارتی کمتر و راندمان حرارتی بالاتر مرتبط است، عملکرد بهتری دارد. متمرکزکننده‌های دیش خورشیدی در کاربردهای بسیار متنوعی برای تولید گرما و برق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از متمرکزکننده دیش خورشیدی در سیستم‌های توربین گازی در سال‌های گذشته به شدت مورد مطالعه قرار گرفته است. یک توربین میکروگاز یکپارچه با دیش کلکتورهای خورشیدی را برای استفاده بین پیش گرم‌کن گاز و محفظه احتراق مورد بررسی و بهینه سازی قرار دادند [14, 12]. کومار و همکاران مروری بر روی دیش کلکتور خورشیدی سهموی برای سیستم‌های حرارتی خورشیدی متمرکز انجام دادند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از نانوسیالات به جای سیال معمولی ۱۰ تا ۱۳ درصد انتقال حرارت را افزایش می‌دهد [15]. پاولوویچ و همکاران تجزیه و تحلیل نوری و حرارتی را برای یافتن موقعیت ایده‌آل گیرنده از متمرکزکننده برای به حداکثر رساندن بازده نوری و بهبود توزیع شار روی گیرنده انجام دادند. آن‌ها مشاهده کردند که دمای به دست آمده در گیرنده به توزیع شار حرارتی روی گیرنده بستگی دارد. با توجه به نتایج آنالیز حرارتی، راندمان انرژی تقریباً ۶۵ درصد است، در حالی که راندمان انرژی با توجه به دمای ورودی آب از ۴ درصد تا ۱۵ درصد متغیر است [16]. آرزوی و همکاران یک مطالعه تجربی بر روی گیرنده حفره استوانه‌ای و مطالعه تحلیلی بر روی پارامترهای موثر بر راندمان حرارتی و اتلاف حرارت کل حفره برای یک زاویه معین انجام داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که عبور از زاویه شیب ۳۶ درجه به ۶۰ درجه باعث افزایش بازده حرارتی در حدود ۱۰ درصد برای تمام تمرکزهای خورشیدی می‌شود [17]. لونی و همکاران از گیرنده‌های حفره‌ای با سه شکل مختلف برای اجرای چرخه رانکین آلی (ORC) استفاده کردند. همچنین از سه نانوسیال مختلف برای افزایش کارایی ORC استفاده کردند و با استفاده از داده‌های تجربی به دست‌آمده، یک مدل عددی را

سامانه اندازه گیری و کنترل دما و رطوبت تشکیل شده است. شکل (۱) و (۲) شماتیک سیستم و اجزاء سیستم دیش سهموی خورشیدی در سیستم حاضر را نشان می‌دهد. در ادامه به تشریح قسمت‌های مهم دستگاه دیش سهموی خورشیدی و نحوه ساخت و اندازه‌گیری‌های مربوطه پرداخته می‌شود.

برای ساخت دیش، از ورق استیل با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر، برای ساخت پایه نگهدارنده از پروفیل قوطی ۲ سانتی‌متر و پروفیل نبشی ۳ سانتی‌متر و ورق آهنی با ضخامت ۱۲ میلی‌متر استفاده شده است. پارامترهای مربوط به دیش سهموی خورشیدی در جدول (۱) نشان داده شده است. برای این که بتوانیم دیش را متحرک کنیم و در جهت‌های محورهای افقی و عمودی چرخش داشته باشیم، پایه‌های متحرک را طراحی و آن‌ها را ساخته سپس آن‌ها بر روی هم مونتاژ می‌شود. قسمت کاهنده برای چرخش دیش در جهت‌های محور افقی و عمودی به صورت ۱۸۰ درجه به دور خود می‌چرخد که توسط چرخ زنجیر طراحی گردیده که بصورت متوالی نصب شده تا چرخش مورد نظر در جهت محور افقی و عمودی برای دیش فراهم گردد.



شکل (۱) شماتیک سیستم دیش سهموی خورشیدی



شکل (۲) ساخت دیش سهموی خورشیدی و اجزاء مربوطه

اعتبار سنجی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که گیرنده مکعبی شکل می‌تواند گزینه مناسبی برای منبع حرارت ORC باشد [18]. ساهو و همکاران به طراحی و توسعه یک سیستم متمرکزکننده سهموی خورشیدی کم هزینه با ردیابی دستی دو محوره پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که بر اساس ابعاد دیش سهموی خورشیدی توسعه یافته، مساحت تصویر خورشیدی ۰/۲۷ متر مربع و نسبت تمرکز هندسی بالای ۴۶۶/۶ به دست آمده است. آنالیز اقتصادی نشان می‌دهد که برای ساخت این سیستم به ۶۸۷۷ روپیه نیاز است که مقرون به صرفه است [19]. فهیم و همکاران به بهینه سازی طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد کلکتور سهموی خورشیدی برای کاربردهای خانگی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد زمانی که خط کانونی کلکتور طراحی شده در جهت شرق غربی (۶۱/۶۶ درصد) در مقایسه با جهت شمال - جنوب (۴۸/۲۸ درصد) قرار گرفت، بیشتر بود. علاوه بر این، کلکتور طراحی شده دمای ۱۰۰ لیتر آب را در عرض ۶ ساعت پس از تابش آفتاب به ۶۲ درجه سانتیگراد افزایش داد که برای حمام کردن و شستشوی لباس در فصل زمستان در مناطق عقب مانده و روستایی که کمبود وجود دارد برای چهار تا پنج نفر کافی است [20]. شیائو و همکاران شبیه سازی عملکرد نوری و حرارتی یک گیرنده حفره استوانه ای در یک سیستم دیش کلکتور سهموی را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که راندمان تبدیل حرارتی نور تا حد زیادی به ازای هر ۰/۱ رشد جذب، ۸ درصد افزایش می‌یابد [21].

از پژوهش‌های پیشین، نویسندگان یک شکاف تحقیقاتی را یافتند که در یک سیستم متمرکزکننده با گیرنده جاذب ماریچج مسی مقایسه‌ای بین صفحه جاذب ماریچج معمولی و سیاه رنگ (جسم سیاه) صورت نگرفته است. در پژوهش حاضر بخشی از این موضوع مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در این پژوهش از ردیاب اتوماتیک دو محوره استفاده شده است که راندمان سیستم دیش سهموی خورشیدی را بالاتر می‌برد. این سیستم ساخته شده برای مصرف خانگی در شهر یزد مورد بررسی قرار گرفته است. در آزمایش‌های انجام شده دمای کویل مسی ماریچج و دمای سیال اندازه‌گیری و بازده حرارتی و بازده انرژی مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- شرح طراحی و ساخت دستگاه دیش سهموی خورشیدی و

#### متعلقات آن

آزمایش‌ها در فضای باز در شهر یزد، کشور ایران (۳۱/۸۹۷۴ درجه شمالی، ۵۴/۳۵۶۹ درجه شرقی) در روزهای ۱۰ و ۱۱ شهریور ۱۴۰۰ انجام شده است. در این پژوهش یک سیستم دیش سهموی خورشیدی ساخته شده که از قسمت‌های گیرنده جاذب ماریچج از جنس مس (معمولی و رنگ مشکی)، دیش سهموی شکل، ردیاب اتوماتیک دو محوره، مخزن انبساط، پایه نگهدارنده و

برای اندازه‌گیری سرعت هوا از دستگاه Testo ۴۵۴ توسط سنسور و پراب تلسکوپی با دقت ۰/۱ متر بر ثانیه و محدوده اندازه‌گیری ۰/۴ تا ۶۰ متربرثانیه استفاده شده است. برای کمیت‌هایی چون دبی جرمی بایستی عدم قطعیت مورد بررسی قرار گیرد که در خصوص دبی جرمی آب ضمن تکرار آزمایش در چند نوبت عدم قطعیت بررسی شده و خطای تصادفی قابل توجه نمی‌باشد. دبی جرمی هر کدام از این اندازه‌گیری‌ها چند بار تکرار شده و میانگین داده‌ها در نظر گرفته شده است. برای اندازه‌گیری شدت تابش خورشیدی از دستگاه پیرانومتر مدل ۶ KIPP&ZONEN CMP با دقت (۴ وات بر متر مربع) استفاده شد.

مشخصات وسایل اندازه‌گیری در جدول (۲) و وسایل اندازه‌گیری در شکل (۵) مشاهده می‌شود. دبی اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها ۰/۰۰۷ کیلوگرم بر ثانیه می‌باشد. آزمایش‌های مربوطه از ساعت ۸ تا ۱۶ انجام شده است.

به دلایل متعددی از جمله دقت پایین در هنگام اندازه‌گیری، خطاهای انسانی در گزارش‌گیری یا برآورد، دقت ابزارها و تقریب داده‌ها، عدم قطعیت برای نتایج گزارش شده رخ می‌دهد. بنابراین برخی از خطاها غیر قابل اجتناب در روند داده‌گیری به وجود می‌آید. برای مطالعه حاضر برخی عوامل شامل دما، دبی جرمی و شدت تابش خورشیدی در جدول (۳) در نظر گرفته شده است. عدم قطعیت در اندازه‌گیری داده‌ها عمدتاً به دلیل خطای تصادفی که اجتناب ناپذیر و غیر قابل پیش بینی و کنترل می‌باشد رخ داده است و به همین دلیل اندازه‌گیری‌ها حداقل سه بار تکرار و میانگین داده‌ها در نظر گرفته شده است. خطاهای سیستماتیک به دلیل کالیبراسیون وسایل اندازه‌گیری قبل از آزمایش حذف شده است.

#### ۴- معادلات حاکم

##### ۴-۱- معادلات راندمان حرارتی و آنالیز انرژی دیش سهموی خورشیدی

در مطالعه حاضر، عملکرد حرارتی گیرنده جاذب مارپیچ با معادلات (۱)، (۲) و (۳) تعیین می‌شود [22, 23]. گرمای مفید،  $\dot{Q}_{useful}$  به عنوان انرژی جذب شده توسط آب محاسبه می‌شود و انرژی خورشیدی،  $\dot{Q}_{total}$ ، تابش پرتو موجود در دهانه دیش است.

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{useful}}{\dot{Q}_{total}} \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{useful} = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{total} = GA_{dish} \quad (3)$$

برای ساخت کویل مسی از لوله مسی با قطر ۸ میلی‌متر (تعداد ۱۳ دور) که آن را بصورت مارپیچ شکل داده و سپس بر روی لوله وسط دیش نصب کرده تا کویل مسی درفاصله کانونی توسط لوله وسط دیش قابل تنظیم شود. برای رنگ آمیزی کویل مسی از اسپری رنگ کروم مشکی استفاده شد. ضریب جذب و صدور سطح گیرنده مارپیچ به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۱۵ می‌باشد. برای استفاده از سیستم حاضر در مصارف خانگی از یک منبع ذخیره ۸۰ لیتری از جنس پلی اتیلن استفاده شد که سه ورودی به ترتیب برای نصب لوله ورودی و خروجی و دیگری برای نصب ترموکوپل بر روی منبع ذخیره ایجاد شد و روی چهارپایه قرار داده شد. در این سیستم به علت اختلاف چگالی سیال، جابجایی طبیعی ایجاد می‌شود، شکل (۳). برای طراحی و ساخت قسمت برقی دستگاه برای این که دستگاه بتواند بصورت اتوماتیک چرخش‌های در جهت محور افقی و محور عمودی باتوجه به موقعیت خورشید انجام دهد این طراحی به دو قسمت مدار قدرت و مدار فرمان تقسیم می‌شود. در طراحی قسمت مدار قدرت نیاز به برق ۲۲۰ ولت AC و کنتاکتور و موتور الکتریکی و غیره هست. مدار قدرت طوری طراحی گردیده که مدار فرمان به مدار قدرت فرمان می‌دهد، سپس توسط موتور الکتریکی دیش درجهت‌های مختلف حرکت می‌نماید. طراحی قسمت مدار فرمان نیاز به برق ۹ ولت DC بوسیله آداپتور و قطعات دیگری نظیر کنتاکتور و سنسور حساس به نور و آی‌سی‌ها و ترانزیستورها و انواع مقاومت‌ها و خازن‌ها دارد که طوری طراحی گردیده که توسط سنسور حساس به نور که در اطراف دیش نصب شده است به مدار فرمان آلارم می‌دهد تا مدار فرمان به مدار قدرت فرمان دهد، سپس توسط موتور الکتریکی دیش را درجهت‌های مختلف به حرکت در می‌آورد. شکل (۴) ساخت مدار قدرت و مدار فرمان را نشان می‌دهد.

##### ۳- وسایل اندازه‌گیری

برای اندازه‌گیری دمای دیش سهموی خورشیدی، دمای جاذب گیرنده مارپیچی، دمای آب در منبع ذخیره و دمای محیط از ترموکوپل‌های نوع K با محدوده دمایی ۲۰۰°C - تا ۱۳۵۰°C+ که از قبل کالیبره شده اند و برای ثبت و ذخیره آن‌ها از دستگاه دیتالاگر ۱۶ کاناله (Hioki) استفاده شد.

##### جدول (۱) پارامترهای ساخت دیش سهموی خورشیدی

پارامترها	مقدار
قطر دهانه متمرکزکننده	۱/۸ متر
فاصله کانونی	۱ متر
مساحت دهانه دیش	۲/۵۴ مترمربع





شکل ۳) نقاط اندازه‌گیری دما و سرعت در سیستم دیش سهموی خورشیدی



(ج)

(ب)

(الف)

شکل ۴) طراحی و ساخت (الف) مدار قدرت، (ب) مدار فرمان، (ج) جعبه کنترل برای سیستم دیش سهموی خورشیدی

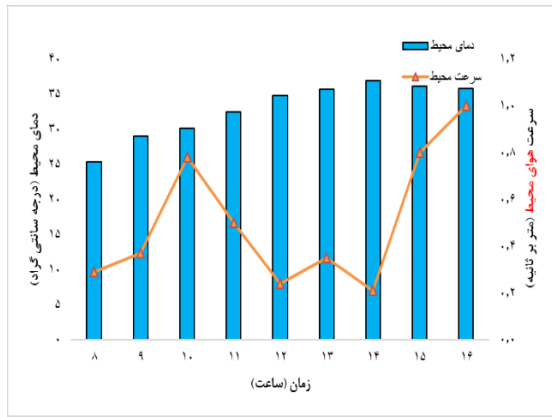
جدول ۳) عدم قطعیت برای پارامترهای دخیل در اندازه‌گیری

پارامتر	واحد دیمانسیون	عدم قطعیت (%)
دما (T)	K	۰/۴
جریان سیال ( $\dot{m}$ )	Kg/s	۰/۶
شدت تابش (I)	W/m <sup>2</sup>	۳/۶
عدم قطعیت کل	-	۴/۶

بازده آگرژی دیش سهموی خورشیدی از رابطه‌های (۴)، (۵) و (۶) محاسبه می‌شود [24, 25, 16]. آگرژی مفید،  $E_{II}$ ، از سیال عامل، از رابطه (۵) محاسبه می‌شود [16]. این حداکثر کار ممکن است که می‌توان تولید کرد، اگر این گرما منبع گرمایی چرخه کارنو باشد.

جدول ۲) مشخصات وسایل اندازه‌گیری

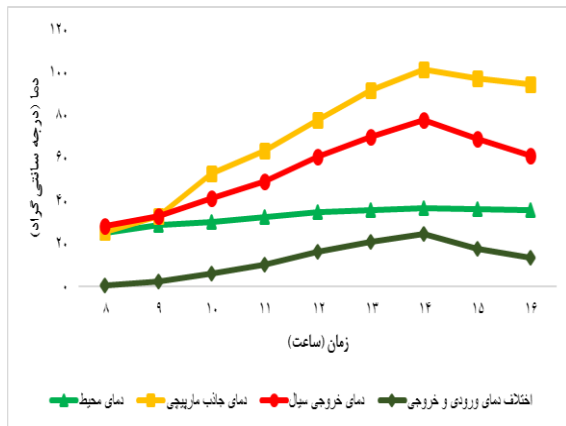
نام وسیله اندازه‌گیری	مقدار	دقت اندازه‌گیری
نام تجاری	سازنده دستگاه و مدل	
	آن	
دیتا لاگر ۱۶ کاناله	Hioki	$\pm 0.1$
پیرانومتر	KIPP&ZONEN CMP6	$\pm 4 W/m^2$
ترموکوپل	K	$\pm 0.3^\circ C$



شکل ۷) تغییرات میانگین دما و سرعت محیط در طول روزهای آزمایش در مقایسه با زمان محلی

مقداری از انرژی خورشیدی دریافتی توسط پدیده‌های محیطی مانند مولکول‌های هوا و خاک به انرژی حرارتی تبدیل می‌شود و در نتیجه دمای محیط را افزایش می‌دهد [27, 28]. دمای هوای محیط و مقادیر سرعت هوای محیط به ترتیب بین ۲۵/۳۳ تا ۳۶/۸۹ درجه سانتی‌گراد و ۰/۲۱ تا ۱ متربرثانیه متغیر است.

شکل (۸) تغییرات دمای خروجی سیال و جاذب ماریچی در سیستم دیش سهموی خورشیدی را نشان می‌دهد. با افزایش شدت تابش خورشیدی، کارکرد دیش سهموی خورشیدی بالا می‌رود؛ بنابراین دمای سیال خروجی از دیش سهموی خورشیدی به ترتیب بین ۲۸/۲۱ تا ۷۷/۹۸ درجه سانتی‌گراد متغیر است. حداکثر دمای سیال خروجی ۷۷/۹۸ درجه سانتی‌گراد در ساعت ۱۴ است. دمای جاذب ماریچی بین ۲۵/۶۳ تا ۱۰۱/۵۲ درجه سانتی‌گراد متغیر است. ماکزیمم دمای جاذب ماریچی ۱۰۱/۵۲ درجه سانتی‌گراد در ساعت ۱۴ است که با دمای خروجی سیال ۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف دارد که می‌توان با استفاده از عایق‌های متفاوت روی جاذب ماریچی تلفات حرارتی را کاهش داد. شکل (۹) نیز دمای سیال هنگام استفاده از جاذب ماریچی سیاه رنگ را نشان می‌دهد.



شکل ۸) تغییرات دما هنگام استفاده از جاذب ماریچی



شکل ۵) وسایل اندازه‌گیری مورد استفاده در آزمایش‌ها

جریان انرژی تابش خورشیدی،  $E_s$ ، بر اساس نظریه پتلا [26] محاسبه می‌شود. دمای خورشید ۴۳۵۰ کلوین در نظر گرفته شد.

$$\eta_{ex} = \frac{E_u}{E_s} \quad (۴)$$

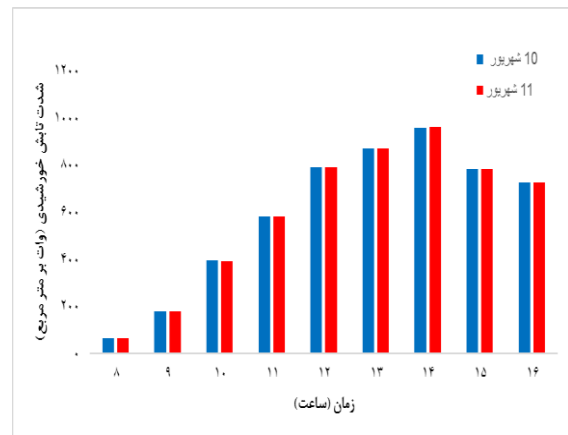
$$E_u = \dot{m}C_p[(T_{out} - T_{in}) - T_{amb} \ln(\frac{T_{out}}{T_{in}})] \quad (۵)$$

$$E_s = \dot{Q}_{total} \left[ 1 - \frac{4}{3} \left( \frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right)^4 \right] \quad (۶)$$

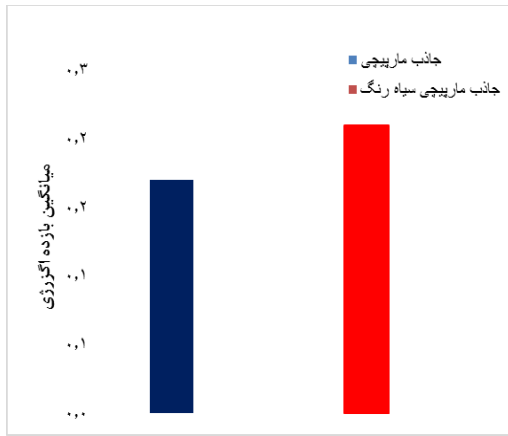
### ۵- بحث و نتایج

شکل (۶) تغییرات تابش خورشیدی در مقابل زمان محلی را نشان می‌دهد. مشخص است که تابش خورشید با گذشت زمان از صبح افزایش یافته و در حدود ساعت ۱۳ تا ۱۴ به سطح بالاتری می‌رسد. همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است، از ۶۶ وات بر مترمربع در صبح تا ۹۶۰ وات بر مترمربع در ظهر متغیر است. در تمام آزمایش‌ها، آسمان صاف بود و هیچ ابرناکی وجود نداشت.

شکل (۷) تغییرات میانگین سرعت هوا و دمای محیط در مقابل زمان محلی را نشان می‌دهد. دمای هوای محیط با افزایش شدت تابش خورشیدی افزایش می‌یابد.



شکل ۶) تغییرات شدت تابش خورشیدی در روزهای آزمایش



شکل ۱۱) میانگین بازده انرژی روزانه دیش سهموی خورشیدی

در مطالعه‌ای با استفاده از جاذب ماریپیج ماکزیمم بازده انرژی و انرژی برای دیش سهموی خورشیدی به ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۲۲ [۴] است، علت پایین بودن بازده انرژی و انرژی، استفاده نکردن از پوشش مناسب رنگ مشکی که می‌تواند باعث کاهش ضریب جذب و پایین بودن دمای خروجی سیال شود و همچنین استفاده نکردن از کوپل ماریپیج از جنس آلومینیوم و استفاده نکردن از سیستم ردیابی دو محوره است. در مطالعه دیگر نیز ماکزیمم بازده انرژی و انرژی به ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۱۵ [۲۹] است، علت پایین بودن بازده انرژی استفاده از جاذب ماریپیج از جنس استیل که باعث کاهش دمای خروجی کلکتور می‌شود؛ همچنین استفاده نکردن از سیستم ردیابی دو محوره است.

#### ۶- نتیجه‌گیری

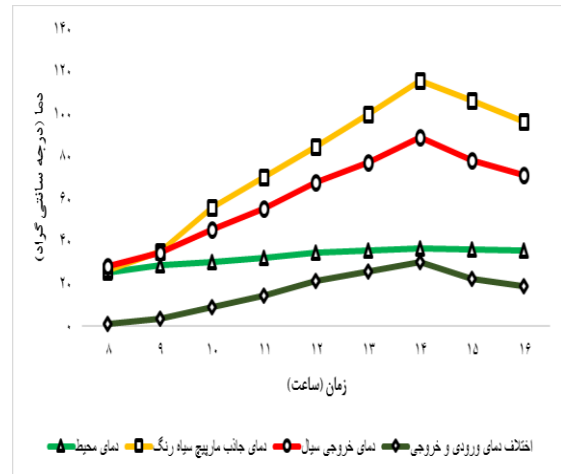
در این مقاله یک کلکتور دیش سهموی خورشیدی با مساحت ۲/۵ متر مربع به ویژه برای گرم کردن آب در مناطق دورافتاده و روستایی کشورهای در حال توسعه ارائه شده است. یک سیستم آزمایشی راه‌اندازی شد که آزمایش‌هایی در شهریور ماه برای اندازه‌گیری دمای خروجی سیال، دمای صفحه جاذب ماریپیج مسی برای دو حالت (معمولی و سیاه رنگ) انجام شد. مهم‌ترین نتایج این پژوهش به صورت زیر خلاصه شده است:

- حداکثر بازده انرژی و انرژی برای جاذب ماریپیج معمولی به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۱۷ است در حالی که برای جاذب ماریپیج سیاه رنگ ۰/۷ و ۰/۲۱ است.

- حداکثر دمای خروجی سیال در کلکتور دیش سهموی خورشیدی هنگام استفاده از جاذب ماریپیج معمولی و سیاه رنگ به ترتیب ۷۷/۹۸ و ۸۸/۹۷ درجه سانتی‌گراد است.

- حداکثر دمای جاذب ماریپیج معمولی و سیاه رنگ به ترتیب ۱۰۱/۵۲ و ۱۱۵/۵۳ سانتی‌گراد است.

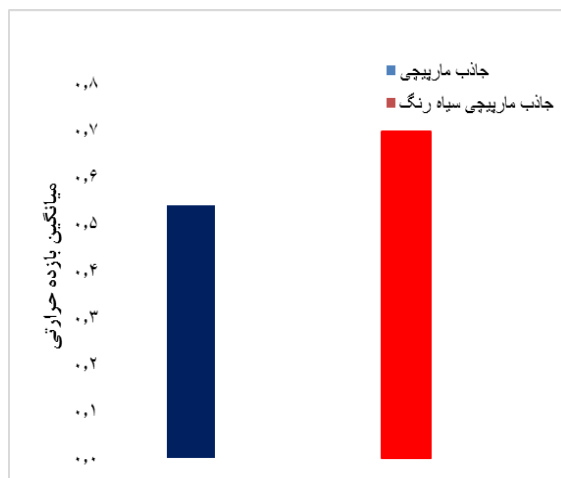
- کلکتور دیش سهموی خورشیدی طراحی شده برای مناطق روستایی و عقب مانده کشورهای در حال توسعه که شدت تابش خورشیدی بیشتری در طول سال دارند و در جاهایی که کمبود



شکل ۹) تغییرات دما هنگام استفاده از جاذب ماریپیج سیاه رنگ

حداکثر دمای جاذب ماریپیج سیاه رنگ و آب خروجی به ترتیب ۱۱۵/۵۳ و ۸۸/۹۷ درجه سانتی‌گراد است. جاذب ماریپیج سیاه رنگ به علت افزایش ضریب جذب نسبت به جاذب ماریپیج بدون رنگ حدود ۳ تا ۱۲ درصد دمای خروجی سیال را افزایش می‌دهد. در مطالعات دیگر نیز با افزایش شدت تابش خورشیدی در طول روز، دمای جاذب ماریپیج افزایش یافته و با کاهش شدت تابش خورشیدی دمای جاذب ماریپیج کاهش یافته است [۲۹، ۴].

شکل (۱۰) بازده حرارتی روزانه دیش سهموی خورشیدی برای دو حالت جاذب ماریپیج معمولی و سیاه رنگ را نشان می‌دهد. بازده حرارتی جاذب ماریپیج معمولی و سیاه رنگ به ترتیب ۰/۷ و ۰/۵۴ است. چون جاذب ماریپیج سیاه رنگ نزدیک به جسم سیاه عمل می‌کند باعث افزایش دمای خروجی سیال از دیش سهموی خورشیدی می‌شود. شکل (۱۱) بازده انرژی روزانه دیش سهموی خورشیدی برای دو حالت جاذب ماریپیج معمولی و سیاه رنگ را نشان می‌دهد. بازده انرژی جاذب ماریپیج معمولی و سیاه رنگ به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۲۱ است.



شکل ۱۰) میانگین بازده حرارتی روزانه دیش سهموی خورشیدی

- 9- Alimohammadi Z, Akhijahani HS, Salami P. Thermal analysis of a solar dryer equipped with PTSC and PCM using experimental and numerical methods. *Solar Energy*. 2020 May 1;201:157-77.
- 10- Stefanovic VP, Pavlovic SR, Bellos E, Tzivanidis C. A detailed parametric analysis of a solar dish collector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2018 Feb 1;25:99-110.
- 11- Natarajan SK, Thampi V, Shaw R, Kumar VS, Nandu RS, Jayan V, Rajagopalan N, Kandasamy RK. Experimental analysis of a two-axis tracking system for solar parabolic dish collector. *International Journal of Energy Research*. 2019 Feb;43(2):1012-8.
- 12- Mohammadi A, Mehrpooya M. Exergy analysis and optimization of an integrated micro gas turbine, compressed air energy storage and solar dish collector process. *Journal of cleaner production*. 2016 Dec 15;139:372-83.
- 13- Abid M, Ratlamwala TA, Atikol U. Performance assessment of parabolic dish and parabolic trough solar thermal power plant using nanofluids and molten salts. *International Journal of Energy Research*. 2016 Mar 25;40(4):550-63.
- 14- Daabo AM, Al Jubori A, Mahmoud S, Al-Dadah RK. Development of three-dimensional optimization of a small-scale radial turbine for solar powered Brayton cycle application. *Applied Thermal Engineering*. 2017 Jan 25;111:718-33.
- 15- Kumar KH, Daabo AM, Karmakar MK, Hirani H. Solar parabolic dish collector for concentrated solar thermal systems: a review and recommendations. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022 May;29(22):32335-67.
- 16- Pavlović SR, Bellos EA, Stefanović VP, Tzivanidis C, Stamenković ZM. Design, simulation and optimization of a solar dish collector with spiral-coil thermal absorber. *Thermal science*. 2016;20(4):1387-97.
- 17- Azzouzi D, Boumeddane B, Abene A. Experimental and analytical thermal analysis of cylindrical cavity receiver for solar dish. *Renewable Energy*. 2017 Jun 1;106:111-21.
- 18- Loni R, Najafi G, Asli-Ardeh EA, Ghobadian B, G. Le Roux W, Yusaf T. Performance investigation of solar ORC using different nanofluids. *Applied Sciences*. 2019 Jul 28;9(15):3048.
- 19- Sahu SK, K AS, Natarajan SK. Design and development of a low-cost solar parabolic dish concentrator system with manual dual-axis tracking. *International Journal of Energy Research*. 2021 Mar 25;45(4):6446-56.
- 20- Faheem M, Jizhan L, Akram MW, Khan MU, Yongphet P, Tayyab M, Awais M. Design optimization, fabrication, and performance evaluation of solar parabolic trough collector for domestic applications. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2020 Aug 17:1-20.
- 21- Xiao L, Guo FW, Wu SY, Chen ZL. A comprehensive simulation on optical and thermal performance of a cylindrical cavity receiver in a parabolic dish collector system. *Renewable Energy*. 2020 Jan 1;145:878-92.

برق و سوخت فسیلی برای گرم کردن آب در زمستان برای مصارف خانگی وجود دارد، گزینه مناسبی است.

**تاییدیه اخلاقی:** نویسندگان متعهد هستند که مطالب این مقاله را در هیچ مجله دیگری به چاپ نرسانده‌اند.

**تعارض منافع:** مقاله حاضر هیچگونه تعارض منافی با سازمان‌ها و اشخاص دیگر ندارد.

**سهم نویسندگان:** محمد صالح برقی جهرمی (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی / نگارنده مقدمه / پژوهشگر کمکی / تحلیل گر آماری (۴۰٪)؛ ولی کلانتر (نویسنده دوم)، روش شناس / پژوهشگر اصلی / نگارنده بحث (۴۰٪)؛ محمد حسین دهستانی بافقی (نویسنده سوم)، نگارنده مقدمه / پژوهشگر کمکی / تحلیل گر آماری (۲۰٪)

## منابع

- Iranmanesh M, Akhijahani HS, Jahromi MS. CFD modeling and evaluation the performance of a solar cabinet dryer equipped with evacuated tube solar collector and thermal storage system. *Renewable Energy*. 2020 Jan 1;145:1192-213.
- Jahromi MS, Kalantar V, Akhijahani HS, Kargarsharifabad H. Recent progress on solar cabinet dryers for agricultural products equipped with energy storage using phase change materials. *Journal of Energy Storage*. 2022 Jul 1;51:104434.
- Jahromi MS, Iranmanesh M, Akhijahani HS. Thermo-economic analysis of solar drying of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) integrated with evacuated tube solar collector and phase change material. *Journal of Energy Storage*. 2022 Aug 1;52:104688.
- Pavlovic S, Daabo AM, Bellos E, Stefanovic V, Mahmoud S, Al-Dadah RK. Experimental and numerical investigation on the optical and thermal performance of solar parabolic dish and corrugated spiral cavity receiver. *Journal of cleaner production*. 2017 May 1;150:75-92.
- barghi jahromi, M. S., kalantar, V., sefid, M., Iranmanesh, M., Samimi Akhijahani, H. Thermofluid Numerical simulation of the flat solar heating transpired collector for drying purposes. *Journal Of Applied and Computational Sciences in Mechanics*, 2022; 34(1): 61-80. doi: 10.22067/jacsm.2022.75507.1104.
- Ebrahimi H, Akhijahani HS, Salami P. Improving the thermal efficiency of a solar dryer using phase change materials at different position in the collector. *Solar Energy*. 2021 May 15;220:535-51.
- Barghi Jahromi MS, Iranmanesh M, Samimi Akhijahani H. Thermo-Economic evaluation of a solar dryer with evacuated heat pipe collector and energy storage. *Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics*. 2021 Feb 19;32(1):39-58.
- Barghi Jahromi MS, Iranmanesh M. Experimental investigation on the use of PCM in a pistachio solar dryer by the evacuated heat pipe solar collector. *Journal of Pistachio Science and Technology*. 2019 Feb 20;3(6):73-87.



- 22- Loni R, Asli-Ardeh EA, Ghobadian B, Kasaeian AJ. Experimental study of carbon nano tube/oil nanofluid in dish concentrator using a cylindrical cavity receiver: Outdoor tests. *Energy Conversion and Management*. 2018 Jun 1;165:593-601.
- 23- Esfanjani P, Mahmoudi A, Valipour MS, Rashidi S. An experimental study on a cylindrical-conical cavity receiver for the parabolic dish collector. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023 Jan;30(3):6517-29.
- 24- Kasaeian A, Kouravand A, Rad MA, Maniee S, Pourfayaz F. Cavity receivers in solar dish collectors: A geometric overview. *Renewable Energy*. 2021 May 1;169:53-79.
- 25- Bellos E, Tzivanidis C. Assessment of linear solar concentrating technologies for Greek climate. *Energy conversion and management*. 2018 Sep 1;171:1502-13.
- 26- Enteria N, Akbarzadeh A, editors. *Solar energy sciences and engineering applications*. CRC Press; 2013 Dec 10.
- 27- Akhijahani HS, Salami P, Iranmanesh M, Jahromi MS. Experimental study on the solar drying of Rhubarb (*Rheum ribes L.*) with parabolic trough collector assisted with air recycling system, nanofluid and energy storage system. *Journal of Energy Storage*. 2023 Apr 1;60:106451.
- 28- Jahromi MS, Kalantar V, Sefid M, Akhijahani HS, Iranmanesh M. Energy and exergy analysis of an unglazed transpired collector connected to a dryer with a porous plate and phase change material. *Journal of Energy Storage*. 2023 Apr 1;60:106693.
- 29- Loni R, Pavlovic S, Bellos E, Tzivanidis C, Asli-Ardeh EA. Thermal and exergy performance of a nanofluid-based solar dish collector with spiral cavity receiver. *Applied Thermal Engineering*. 2018 May 5;135:206-17.