

# طراحی و ساخت کلکتور خورشیدی استوانه‌ای با لوله گیرنده مارپیچ مسی و بررسی تجربی عملکرد آن با استفاده از آب و نانوسیال اکسید آلومینیوم

سیده کبری اسدی یوسف‌آباد، کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه علوم تحقیقات بروجرد  
asadi\_mechanik@yahoo.com

کوروش گودرزی، استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج  
kgoudarzi@yu.ac.ir

محمود یعقوبی، استاد دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز  
yaghoubi@shirazu.ac.ir

احسان شجاعی‌زاده، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کرمانشاه  
ehsan\_shojaeizadeh@yahoo.com

## چکیده

امروزه انرژی خورشیدی، به دلیل عدم آلودگی و تجدیدپذیر بودن، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. کلکتور استوانه‌ای مورد بررسی در این مقاله از نوع کلکتور لوله‌ای است، با این تفاوت که در آن به جای تیوپ با پوششی از ماده جاذب، یک کوئل به صورت لوله‌های مسی مارپیچی در مرکز کلکتور قرار داده شده است. با مارپیچی کردن یک لوله، امکان افزایش انتقال حرارت بدون ایجاد اغتشاش در جریان یا افزایش سطح انتقال حرارت وجود دارد. در این حالت نیروهای گریز از مرکز با ایجاد جریان ثانویه، که از یک جفت گردابه طولی تشکیل شده است، ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی را افزایش می‌دهند. در این مقاله بعد از طراحی و ساخت کلکتور خورشیدی مورد نظر، کارایی حرارتی آن با استفاده از آب و نانوسیال اکسید آلومینیوم در دبی‌های گوناگون در درصد جرمی ۰/۱ و تأثیر استفاده از نانوسیال اکسید آلومینیوم در کلکتور بررسی شده است. پس از تست‌گیری بر روی کلکتور خورشیدی استوانه‌ای و تحلیل نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که میزان اثرگذاری نانوسیال بر کارایی کلکتور خورشیدی استوانه‌ای در مقایسه با آب بیشتر است.

**واژگان کلیدی:** کلکتور خورشیدی استوانه‌ای، کارایی حرارتی، نانوسیال اکسید آلومینیوم



## مقدمه

با توجه به محدودبودن انرژی فسیلی و بحث آلاینده‌گی آن، توجه دانشمندان به منابع نامحدود و پاک همچون انرژی خورشید معطوف شده است. فناوری ساده، آلوده‌نشدن هوا و محیط زیست و از همه مهم‌تر ذخیره‌شدن سوخت‌های فسیلی برای آیندگان از عمده دلائلی است که لزوم استفاده از انرژی خورشید را برای کشور ما آشکار می‌کند. قابل ذکر است که این صنایع در سایر نقاط دنیا نیز مورد توجه قرار گرفته است. مثلاً بیش از ۱/۵ میلیون نفر در امریکا از انرژی خورشیدی استفاده می‌کنند و سالانه حدود ۱۰۰ مگاوات انرژی توسط آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی تولید می‌شود که این تقریباً معادل ۲ معدن زغال سنگ با اندازه متوسط می‌باشد. از نظر پاک‌بودن سیستم‌های مذکور نیز آمار جالبی ارائه شده است. مثلاً یک آب‌گرم‌کن مورد استفاده در یک پروژه در طول کل عمر خود از ورود ۱۰/۵ تن دی‌اکسید کربن در مقایسه با همان سیستم در صورتی که از سوخت گاز استفاده شود و یا ۷۱/۵ تن دی‌اکسید کربن در صورتی که از انرژی برق استفاده شود، جلوگیری می‌کند [۱]. از جمله موارد استفاده از انرژی خورشید، گرمایش است. برای این منظور بیشتر از آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی استفاده می‌شود. اصلی‌ترین قسمت آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی، جاذب آن است که برای جمع‌آوری انرژی خورشید و انتقال آن به منبع ذخیره به کار می‌رود. در جاذب‌های خورشیدی انرژی توسط سطح نسبتاً وسیع‌شان، که معمولاً سیاه است، جذب و انتقال حرارت به سیال درون لوله‌ای که به سطح متصل می‌شود منتقل می‌گردد و سپس سیال گرم‌شده انرژی را به منبع ذخیره منتقل می‌کند. این بخش آب‌گرم‌کن، که مهم‌ترین بخش آن نیز می‌باشد، کلکتور نامیده می‌شود. کلکتورهای مورد استفاده در صنایع به سه دسته کلکتور صفحه‌ای صاف<sup>۱</sup>، کلکتور لوله‌ای تحت خلأ<sup>۲</sup> و کلکتور سهموی<sup>۳</sup> تقسیم می‌شوند. کلکتور لوله‌ای تحت خلأ را می‌توان یکی از کاراترین و گران‌ترین انواع کلکتورهای خورشیدی دانست.

این کلکتور برای تأمین آب در دماهای بالای ۶۰ درجه سانتی‌گراد یا در مناطق بسیار سرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد این کلکتورها بیشتر از سایر کلکتورها بوده و برای موارد تجاری و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین می‌توان جهت آب‌گرم‌کن‌های خانگی، گرم‌کردن ساختمان‌ها و استخرهای خانگی از این نوع کلکتور استفاده نمود. راندمان بالا و اتلاف حرارتی پایین از مزیت‌های این کلکتور است و به‌علت وجود خلأ بین پوشش و جذب‌کننده، اتلاف گرمایی آنها حتی در هوای سرد بسیار پایین است. کلکتور استوانه‌ای خورشیدی ساخته‌شده، با توجه به توضیحات بیان‌شده، از نوع کلکتور لوله‌ای است، با این تفاوت که در کلکتور مورد نظر به‌جای لوله با پوششی از ماده جاذب، یک کوئل به‌صورت لوله‌های مسی مارپیچی در مرکز لوله شفاف قرار داده شده است. فضای درون لوله شیشه‌ای نیز خلأ شده است. برای افزایش کارایی کلکتورها، علاوه بر بهینه‌سازی هندسی کلکتورهای مورد نظر، می‌توان از نانو سیالات جهت افزایش کارایی آنها نیز استفاده نمود. اهمیت استفاده از نانو سیالات برای افزایش انتقال حرارت طی چند دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مزایای استفاده از نانوسیالات را می‌توان به‌صورت بهبود انتقال حرارت، کاهش توان پمپ و هزینه عملکرد، کوچک و سبک‌تر شدن دستگاه‌ها و تجهیزات حرارتی مرتبط، کاهش دبی سیال انتقال حرارت، کاهش هزینه‌های عملیاتی، کاهش انتشار عوامل آلوده‌کننده محیط زیست و غیره برشمرد. در کلکتورهای خورشیدی نیز برای جذب بیشتر انرژی خورشیدی می‌توان به‌جای سیال معمولی آب یا روغن از نانوسیال استفاده نمود. زمانی که از نانو سیال استفاده می‌شود، به ازای جذب یک مقدار مشخص انرژی خورشیدی، تجهیزات لازم برای این منظور یعنی کلکتور، از حجم کمتری برخوردار است. بنابراین به‌دلیل کاهش توان مصرفی پمپ‌ها و کاهش اندازه و وزن تجهیزات به‌کار رفته، استفاده از نانوسیال سبب صرفه‌جویی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی می‌شود. در زمینه



طراحی کلکتورهای خورشیدی کارهای بسیاری انجام شده است [۲ - ۶]. از آن جمله می‌توان به طراحی ساختمان کلکتور خورشیدی هیبریدی CHP با سیستم اشاره کرد. ریفات و ژائو [۷]، در این تحقیق فرایند انتخاب و طراحی اجزای اصلی کلکتور خورشیدی و تعدادی از قسمت‌ها شامل غشای نازک لوله حرارتی کلکتور خورشیدی و لوله حرارتی کلکتور خورشیدی هیبریدی انجام داده‌اند. داده‌های آزمایشی این دو نوع کلکتور را مورد بررسی قرار دادند. زی و همکاران [۸] نشان دادند که استفاده از نانوذرات به منظور افزایش ضریب هدایت حرارتی در سیالات پایه‌ای که خود دارای ضریب هدایت حرارتی کمتر هستند، محسوس‌تر است. لی و همکاران [۹] نشان دادند که با افزایش PH مقدار افزایش ضریب هدایت حرارتی نانو سیالات CuO و  $Al_2O_3$  در آب ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. بنابراین یک PH بهینه برای هر نانو سیال وجود دارد که در آن افزایش ضریب هدایت حداکثر است. رستمزاده [۱۰] به بررسی تجربی انتقال حرارت جابجایی نانو در مبدل‌های حرارتی W شکل پرداخت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت نانوسیال، ضریب انتقال حرارت نانوسیال نسبت به سیال پایه بین ۲ تا ۴ درصد افزایش می‌یابد و با افزایش عدد رینولدز نیز انتقال حرارت این روند فزاینده را دارد. تیاگی [۱۱] نانوسیال آب و اکسید آلومینیوم را در کلکتور خورشیدی جذبی مستقیم غیرتمرکزی<sup>۴</sup> به صورت تئوری بررسی کرد و به این نتیجه رسید که وجود نانو ذرات سبب افزایش تابش جذب شده نسبت به آب خالص می‌شود. همچنین تحت شرایط عملیاتی مشابه، کارایی DAC با استفاده از نانوسیال به عنوان سیال کاری، ۱۰ درصد بالاتر از کلکتور تخت می‌باشد. یوسفی و همکاران [۱۲] اثر نانوسیال اکسید آلومینیوم به همراه آب را بر کارایی کلکتور خورشیدی صفحه تخت در درصدهای جرمی ذرات نانو ۰/۲ و ۰/۴ و قطر ذرات ۱۵ نانومتر به صورت تجربی مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که در مقایسه با آب برای درصد جرمی ۰/۲،

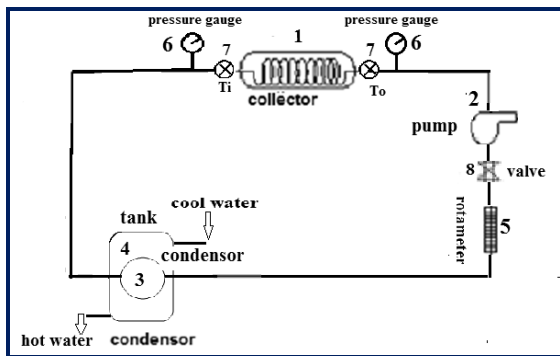
افزایش ضریب عملکرد ۲۸/۳ درصد مشاهده شد. یوسفی و همکاران [۱۳] اثر نانوسیال نانو لوله‌های کربنی چند دیواره در PH های گوناگون نانوسیال بر کارایی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت با استفاده از مطالعات تجربی انجام دادند. آنها نشان دادند که هرچه نانوسیال اسیدی‌تر یا بازی‌تر باشد کارایی کلکتور مورد مطالعه بالاتر می‌رود. لین و همکاران [۱۴] از یک دستگاه ترموسیفون باز در بالابردن دمای کلکتور خورشیدی استفاده کردند. ایشان تأثیر دبی سیال، نوع سیال پایه، غلظت جرمی ذرات نانو و دمای مؤثر بر انتقال حرارت سیال عامل در سیستم ترموسیفون (جابجایی طبیعی) بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد غلظت جرمی نانو ذرات اکسید مس، تأثیر قابل توجهی بر روی ضریب انتقال حرارت قسمت عامل می‌گذارد و غلظت جرمی بهینه ۱/۲ درصد انتقال حرارت را افزایش می‌دهد. سانی و همکاران [۱۵] خصوصیات و ویژگی‌هایی از سیال جدید شامل نانو هرن کربنی تک جداره و اتیلن گلیکول را برای کاربردهای انرژی خورشیدی بیان کردند. نانو هرن کربنی نقش مهمی در جذب اشعه خورشیدی نسبت به سیال خالص دارند. در این مطالعه نتایج نشان می‌دهند این نانو سیال می‌تواند برای افزایش ضریب عملکرد و تراکم ابزارهای خورشیدی گرمایی و کاهش دادن هزینه و تأثیرات محیطی مفید باشد. اوتانیکار و همکاران [۱۶]، اثر نانوسیال‌های مختلف را بر ضریب عملکرد کلکتور خورشیدی میکرو به صورت تجربی مطالعه و گزارش کردند که ضریب عملکرد در کلکتورهای گرمایی خورشیدی با به کار گرفتن نانوسیالات با جذب متوسط تا حدود ۵ درصد بهبود یافته است. هدف این مقاله ساخت کلکتور خورشیدی استوانه‌ای و بررسی کارایی حرارتی این کلکتور با استفاده از آب و همچنین بررسی تأثیر استفاده از نانوسیال اکسید آلومینیوم با سیال پایه آب می‌باشد.

### مدل آزمایشگاهی

دستگاه آزمایشگاهی مورد استفاده مطابق با طرح شماتیک شکل ۱ طراحی و ساخته شده است. در ساخت این سیستم



بین نانوذرات قرار می‌گیرند و از چسبندگی این نانو ذرات جلوگیری می‌کنند. فعال‌کننده‌های متعددی برای پایدار کردن نانوسیال وجود دارد که محققان از آنها بهره گرفته‌اند. در این مقاله از فعال‌کننده SDS استفاده شد. برای درصد جرمی ۰/۱ استفاده از نانو ذرات اکسید آلومینیوم برای سه مقدار دبی ۴۵، ۶۰ و ۹۰ لیتر بر ساعت نانوسیال اکسید آلومینیوم اجرا شد.



شکل ۱. نمایی شماتیک از سیستم طراحی شده



شکل ۲. کلکتور خورشیدی استوانه‌ای

با لوله‌های گیرنده ماریچ مسی

### روش انجام آزمایش

برای آزمایش و تعیین کارایی از استاندارد امریکایی یا ASHRAE استفاده شد. آزمایش‌ها در فضای باز و در شرایط واقعی تابش خورشیدی انجام شد. روش اساسی اندازه‌گیری کارایی کلکتور به این ترتیب بود که آن را در معرض تابش خورشید قرار داده و دمای ورودی و خروجی سیال و

از یک کلکتور خورشیدی استوانه‌ای با لوله‌های گیرنده ماریچ مسی (۱ از شکل ۱) استفاده شده است. کلکتور مورد نظر موازی با سطح افق قرار گرفته است. با توجه به اینکه سیستم خورشیدی مورد نظر سیستم جابه‌جایی اجباری می‌باشد، از یک الکتروپمپ استفاده شد (۲ از شکل ۱). برای تنظیم دبی جریان سیال در این سیکل در خروجی الکتروپمپ از یک شیر تنظیم دبی جریان (۸ از شکل ۱) استفاده شد. از یک سیکل مکمل برای پایین آوردن بار حرارتی دریافتی سیکل اول و برای جلوگیری از افزایش بیش از حد دمای سیال استفاده شد. برای گرم کردن آب شهری مورد استفاده قرار گرفت. برای ساختن سیکل دوم از یک مخزن (۴ از شکل ۱) که درون آن از مبدل حرارتی سیم لوله استفاده شد (۳ از شکل ۱). سه ترموکوپل مدل k (۷ از شکل ۱) برای اندازه‌گیری دمای سیال ورودی و خروجی و دمای محیط از استفاده شد. این ترموکوپل‌ها با استفاده از یک دستگاه ترمومتر مدل ET-7018Z داده‌های دمایی را به صورت لحظه‌ای در کامپیوتر ثبت می‌کرد. لازم به ذکر است که کل سیستم‌های اندازه‌گیری قبل از استفاده و تست‌گیری به خوبی کالیبره شده بودند. دو فشارسنج عقربه‌ای (۶ از شکل ۱) نیز برای اندازه‌گیری فشار در ورودی و خروجی کلکتور خورشیدی استوانه‌ای نصب شدند. در شکل ۲ نمایی کلی از کلکتور خورشیدی ساخته شده قابل مشاهده است.

### آماده‌سازی نانوسیال

نانوسیال اکسید آلومینیوم از تعلیق نانو ذرات اکسید آلومینیوم در سیال پایه (معمولاً آب) تولید شد. برای ساخت نانوسیال دو روش تک‌مرحله‌ای و دومرحله‌ای وجود دارد. در این کار، از روش دومرحله‌ای و با استفاده از دستگاه التراسونیک نوع UP400 تعلیق نانوذرات در سیال پایه صورت گرفت. وظیفه دستگاه التراسونیک جدایش نانوذرات و پخش این ذرات در سیال پایه بود. سپس از فعال‌کننده‌های نانوسیال استفاده شد. این فعال‌کننده‌ها در

همچنین میزان جریان سیال را اندازه‌گیری و در معادلات زیر قرار داده و کارایی محاسبه شد.

### روابط مربوط به کلکتور [۱۷ - ۱۹]

کارایی لحظه‌ای کلکتور از تقسیم انرژی مفید جذب شده بر کل انرژی جذب شده توسط دیواره استوانه‌ای (کلکتور) به دست می‌آید و به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c I_b} \quad (۱)$$

در این رابطه  $Q_u$  انرژی مفید جذب شده،  $A_c$  مساحت سطح کلکتور (مساحت سطح معادل کلکتور)،  $I_b$  تابش مستقیم خورشید می‌باشد. در حالت پایدار، انرژی مفید جذب شده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (۲)$$

که در این رابطه  $F_R$  ضریب افزایشنده،  $S$  تشعشع خورشیدی جذب شده،  $U_L$  ضریب انتقال حرارتی کل،  $T_{fi}$  دمای سیال ورودی به کلکتور و  $T_a$  دمای ساعتی محیط می‌باشند. ضریب اتلاف حرارتی کل که نیازمند کاهش بود، به وسیله انتخاب نوع شیشه که بستگی به خصوصیات و مواد عایقی که ضریب هدایت کمی و ضخامت بهینه داشت، دست یافت. تساوی مقاومت حرارتی مدار سیستم حاضر در شکل ۶ نشان داده شده است. این تساوی شامل چهار مقاومت که شامل مقاومت اسمی که بیانگر تشعشع است، مقاومت هدایتی در دیواره استوانه (شیشه)، هدایت در دیواره کویل مسی (مس) و در نهایت مقاومت جابجایی از دیواره کویل مسی به آب می‌باشد. بنابراین ضریب کلی افت حرارتی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$U_L = \left( \frac{1}{h_{rad}} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L_{glass} K_{glass}} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L_{pipe} K_{pipe}} + \frac{1}{h_{water}} + \frac{1}{h_{wind}} \right)^{-1} + U_e + U_b$$

به طوری که  $U_e$  ضریب تلفات کناری می‌باشد. برای بسیاری از کلکتورها، ارزیابی تلفات کناری پیچیده می‌باشد گر چه سیستم‌هایی که به خوبی طراحی شده‌اند، تلفات کناری می‌بایست بسیار کوچک باشد. به دلیل شکل چرخشی کلکتور،  $U_e$  در این کار، صفر در نظر گرفته شد.  $U_b$  ضریب تلفات از پشت می‌باشد که برابر است با  $U_b = \frac{K}{L}$ . به طوری که  $K$  و  $L$  به ترتیب ضریب هدایت گرمایی و ضخامت عایق هستند. در این مقاله به دلیل اینکه افت برگشتی وجود نداشت صفر در نظر گرفته شد. در این رابطه  $r_2$  قطر خارجی استوانه شیشه ای،  $r_1$  قطر داخلی استوانه شیشه ای،  $L_{glass} K_{glass}$  حاصل ضرب ضریب هدایت و طول شیشه استوانه ای،  $L_{pipe} K_{pipe}$  حاصل ضرب ضریب هدایت و طول کویل مسی و  $h_{water}$  ضریب انتقال حرارت سیال (آب) می‌باشند. چون افت حرارتی در همه دیواره استوانه‌ای اتفاق می‌افتد، در لوله مسی دما افزایش می‌یابد. بنابراین برای کاهش انرژی مفید بدست آمده در یک جریان مستقیم، ضریب افزایشنده ( $F_R$ ) استفاده شد:

$$F_R = F''F' \quad (۳)$$

$$F' = \frac{1}{U_L \left( \frac{1}{W(D(W-D)F)} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi Dh_{fi}} \right)} \quad (۵)$$

به طوری که  $D$  قطر لوله مسی،  $W$  فواصل بین لوله‌های مارپیچ مسی،  $C_b$  ضریب هدایت جوش،  $h_{fi}$  ضریب انتقال حرارت سیال ورودی به کلکتور می‌باشند.  $F$  کارایی استاندارد فین<sup>۵</sup> می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F = \frac{\tan\left(\frac{m(W-D)}{2}\right)}{m(W-D)} \quad (۶)$$

$$m^2 = \frac{U_L}{K\delta} \quad (۷)$$

در رابطه  $\delta$ ،  $K$  ضریب هدایت شیشه استوانه‌ای و  $\delta$  ضخامت استوانه شیشه‌ای می‌باشد.  $C_b$  در اینجا به دلیل



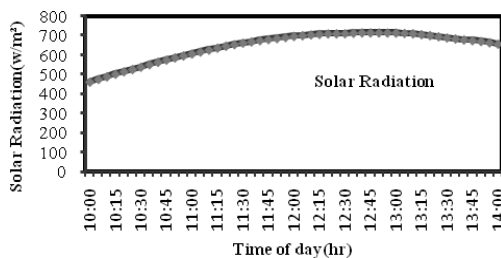
$$\omega = \frac{(t-12)}{15} \quad (11)$$

در رابطه بالا  $t$  ساعت می‌باشد.

### نتایج

مطابق با روش تست‌گیری، داشتن متغیرهای دمای هوا، دمای ورودی کلکتور خورشیدی، دمای خروجی کلکتور خورشیدی و تشعشع خورشیدی در هر لحظه و در بازه‌ای از ساعات روز ثبت شد. در شکل ۶ نمایی از این داده‌های دما و در شکل ۷ نمایی از تشعشع خورشیدی برای دبی جریان ۴۵ لیتر بر ساعت نشان داده شده است.

این مقاله که به‌صورت تجربی کارایی حرارتی کلکتور خورشیدی استوانه‌ای در یک دبی در سه نوع سیال به طوری که سیال پایه آب می‌باشد، بررسی کرد. در شکل ۸ نمایی از اختلاف دمای ورودی و خروجی کلکتور خورشیدی در آب و سیال آب به همراه پایدارکننده SDS در غلظت جرمی نقطه مایل و نانوسیال اکسید آلومینیوم با سیال پایه‌ای در غلظت جرمی یک درصد نشان داده شد.



شکل ۶. نمایی از داده‌برداری

در یک روز برای تشعشع خورشیدی

اینکه صفحه فلزی یا مرز وجود ندارد، صفر در نظر گرفته شد.

$$F'' = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L F'} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m}C_p}\right) \right] \quad (8)$$

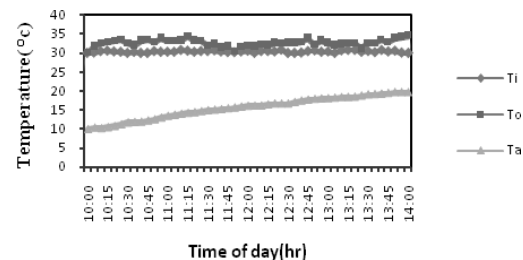
در این رابطه  $\dot{m}C_p$  حاصل ضرب آهنگ جریان سیال ورودی به کلکتور و ظرفیت گرمایی ویژه سیال می‌باشد. تشعشع خورشیدی جذب شده به صورت زیر محاسبه شد:

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b \quad (9)$$

در این رابطه  $(\tau\alpha)_b$  حاصل ضرب ضریب عبور و جذب تابش مستقیم خورشید می‌باشد. در اینجا  $R_b$  می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود:

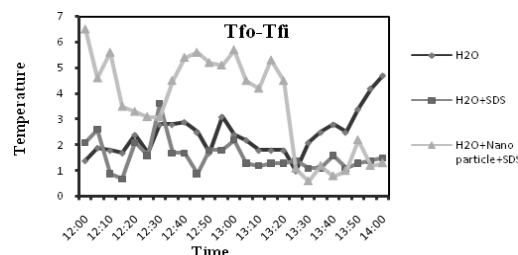
$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta}$$

در رابطه ۱۰،  $\phi$  عرض جغرافیایی،  $\delta$  زاویه انحراف،  $\beta$  زاویه صفحه با افق (زاویه شیب) و  $\omega$  زاویه ساعت نسبت به ظهر خورشیدی و به ازای هر ساعت ۱۵ درجه منظور می‌شود، است. مطالعه حاضر استوانه انحرافی ندارد، بنابراین  $\beta$ ، صفر می‌باشد.



شکل ۵. نمایی از داده‌برداری در یک روز برای دمای هوا

و دماهای ورودی و خروجی کلکتور خورشیدی استوانه‌ای



شکل ۷. نمایی از اختلاف دمای ورودی و خروجی کلکتور خورشیدی

## جمع‌بندی

با ماریج کردن یک لوله، امکان افزایش انتقال حرارت بدون ایجاد اغتشاش در جریان با افزایش سطح انتقال حرارت، وجود دارد. در این حالت نیروهای گریز از مرکز با ایجاد جریان ثانویه<sup>۶</sup> که از یک جفت گردابه طولی<sup>۷</sup> تشکیل شده است، ضریب انتقال حرارت جابجایی را افزایش می‌دهند. از مزایای دیگر این نوع کلکتور نسبت به کلکتور صفحه تخت، شکل دایره‌ای آن است که همواره در معرض تابش مستقیم خورشید می‌باشد. میزان تأثیرگذاری نانوسیال اکسید آلومینیوم بر کارایی کلکتور خورشیدی استوانه‌ای بالا می‌باشد. بنابراین با توجه به شکل و طراحی کلکتور خورشیدی استوانه‌ای و استفاده کردن از نانوسیال در این کلکتور، میزان کارایی حرارتی بالا و قابل توجه است.

## مآخذ

[۱] سلطانی مجید، رئیس‌زاده سید شهاب‌الدین، مردانی امیر، ۱۳۸۱، «طراحی و مقایسه کلکتورهای آب‌گرم‌کن خورشیدی»، دومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان.

- [2] Gupta H. Garg H. (1968) "System designs in solar water heaters with natural circulation." *Sol Energy*, pp. 163–82.
- [3] Chun W., (1999) "Thermal performance of locally made flat plate solar collectors used as part of domestic hot water system" *Energy Convers Manage*, 40 (17):1825.
- [4] Kalogirou A., Dentsoras, A., (1999) "Modelling of solar domestic water heating system". *Sol Energy*, pp. 335–42.
- [5] Groenhout N., Behnia M., Morrison G., (2002) "Experimental measurement of heat loss in an advanced solar collector" *Exp Term Fluid*, pp. 131-137.
- [6] Chang J., Shen M., Haung B., (2002) "A criterion study of solar irradiation patterns for the performance testing of

برای مقایسه بین سه حالت مختلف از سیال‌های کار شده در دبی ۴۵ لیتر بر ساعت در این تحقیق مقادیر مربوط به  $F_R(\tau\alpha)$  و  $F_R U_L$  در جدول (۱) نشان داده شده است:

جدول ۱. مقادیر  $F_R U_L$  و  $F_R(\tau\alpha)$  برای سه نوع سیال مختلف ذکر شده

Base fluid type	$F_R U_L$	$F_R(\tau\alpha)$
Water	4.1	0.53
Water+ SDS	4.3	0.53
Nanofluid with 0.1% w	5.8	0.61

با توجه به جدول ۱، مقدار  $F_R(\tau\alpha)$  که نشان‌دهنده ماکزیمم کارایی حرارتی در کلکتور خورشیدی می‌باشد، در نانوسیال اکسید آلومینیوم بالاتر است. در این مقاله همچنین میزان تأثیر نانوسیال اکسید آلومینیوم با درصد جرمی ۰/۱ بر کارایی حرارتی در دبی‌های ۴۵، ۶۰ و ۹۰ لیتر بر ساعت را مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر مربوط به  $F_R(\tau\alpha)$  و  $F_R U_L$  در جدول ۲ نشان داده شده است:

جدول ۲. مقادیر  $F_R U_L$  و  $F_R(\tau\alpha)$

برای نانوسیال اکسید آلومینیوم در دبی‌های مختلف

Base fluid type	$F_R U_L$	$F_R(\tau\alpha)$
Nanofluid with 0.1% wt, Q=45 lit/hr	5.8	0.61
Nanofluid with 0.1% wt, Q= 60 lit/hr	5.56	0.57
Nanofluid with 0.1% wt, Q= 90 lit/hr	8.68	0.55

با توجه به جدول ۲ و توضیحات داده شده، ماکزیمم کارایی حرارتی ممکنه در کلکتور خورشیدی در نانوسیال اکسید آلومینیوم در دبی ۴۵ لیتر بر ساعت و ماکزیمم کارایی حرارتی در دبی‌های ۶۰ و ۹۰ لیتر بر ساعت تقریباً یکسان می‌باشد.



- [15] Sani E., Mercatelli L., Barison S., Pagura C., Agresti.F, Colla L., Sansoni P., (2011) "Potential of carbon nanohorn-based suspensions for solar thermal collectors" pp. 2994-3000.
- [16] Otanicar T., Phelan P., Prasher R., Rosengarten G., Taylor R., (2010) "Nanofluid-based direct absorption solar collector" *J Renewable Sustainable Energy*, 2; 033102.
- [17] BariT S. (2001) "Optimum orientation of domestic solar water heaters for the low latitude countries" *Energy Convers MabaseT* 42(19):1205.
- [18] Headley OC. (1998) solar thermal applications in the West Indies. *Renew Energy*; 15(1-4):257.
- [19] Khalifa A., (1999) "Thermal performance of locally made flat plate solar collectors used as part of domestic hot water system" *Energy Convers Mabase*, 40(17):1825.
- thermosyphon solar water heaters" *Sol Energy*, pp. 287-92.
- [7] Riffat S., Zhao X., (2004) "A novel hybrid heat pipe solar collector/CHP system" *Renewable Energy* 29, pp. 2217-2233.
- [8] Xie H., Lee H., Young W., Choi M., (2003) "Nanofluids Containing multivalued carbon nanotubes and their enhance thermal Conductivity" *App Dhys*, Vol. 94. No 8. pp. 4967-4971.
- [9] Yu W., Chen H., Li Y., (2009) "Investigation of thermal conductivity and viscosity of ethyleneglycol bared ZnO Nanofluids" *Thermochemical Acta*, Vol. 491, pp. 92-96.
- [10] Rostamzadeh A. (2009) "Experimental investigation of nanoconvective Heat transfer in W-tube heat exchanger".
- [11] Tyagi H., Phelan P., Prasher R., (2009) "Predicted efficiency of a low temperature nanofluid based direct absorption solar collector" *J Sol Energy Eng.* 131:0410041-7
- [12] Yousefi T., Veysi F., Shojaeizadeh E., Zinadini, (2011) "An experimental investigation on the effect of AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors" pp. 293-298.
- [13] Yousefi T, Shojaeizadeh E, Veysi F, Zinadini S. (2011) "An experimental investigation on the effect of pH variation of MWCNT-H<sub>2</sub>O nanofluid on the efficiency of a flat-plate solar collector" *Communicated by, Associate Editor Brian Norton*.
- [14] Lin L, Zhen-Hua L, Hong-Sheng Xiao, (2011) "Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for high temperature evacuated tubular solar collectors" *Communicated by Associate Editor Ruzhu Wang*, pp. 379.387.

### پی نوشت

- 
- 1 Flat Plate Collector  
 2 Evacuated Tube Collector  
 3 Concentrating Collector  
 4 DAC  
 8 Wind heat transfer coefficient  
 6 Secondary flow  
 7 Longitudinal vortices

