Downloaded from necjournals.ir at 11:33 +0330 on Sunday September 29th 2019

فصلنامه علمی – ترویجی «نشریه انرژی ایران»
دوره ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۱۰۹-۹۹

بررسی تجربی عملکرد کلکتور خورشیدی جذب مستقیم با استفاده از نانوسیال نانولوله کربنی

[۱] مریم کرمی*، [۲] شهرام دلفانی، [۳] محمدعلی اخوان بهابادی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۵/۵/۲۱

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۶/۹/۲۰

کلمات کلیدی:
کلکتور خورشیدی،
جذب مستقیم،
نانوسیال،
نانولوله کربنی

چکیده

در این تحقیق، کارایی کلکتور خورشیدی جذب مستقیم با استفاده از نانولوله‌های کربنی در مخلوطی از آب و اتیلن‌گلیکول به عنوان سیال پایه، به صورت تجربی بررسی و با کارایی کلکتور خورشیدی صفحه تخت مقایسه شده است. نتایج حاصل نشان داد کارایی بیشینه کلکتور جذب مستقیم در دبی ورودی ۷۲ لیتر برساعت، با سیال پایه و سطح پایین جاذب، حدود ۴/۷٪ و با استفاده از نانوسیال نانولوله کربنی، حدود ۲۳٪ بالاتر از کلکتور متداول است. براساس نتایج فوق، عملکرد کلکتور جذب مستقیم نانوسیال‌بنیان با هدف کاربری در آبگرمکن‌های خانگی، تحت شرایط کارکردی مشابه، بهتر از نوع متداول بوده و در صورتی‌که بتوان از نانوسیال پایدار به عنوان سیال عامل کلکتور جذب مستقیم بهره برد، می‌توان به کارایی بالاتری در تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی مفید دست یافت.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. دانشکده فنی مهندسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران (نویسنده مسئول) karami@khu.ac.ir
۲. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی delfani@bhrc.ac.ir
۳. دانشکده مهندسی مکانیک، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران akhavan@ut.ac.ir

Downloaded from necjournals.ir at 11:33 +0330 on Sunday September 29th 2019

۱. مقدمه

از آن جا که در قرن‌های گذشته سوخت‌های فسیلی بسیار ارزان‌تر و دردسترس‌تر از دیگر منابع انرژی بودند، تامین تقاضای انرژی جهان، بیشتر با استفاده از این نوع سوخت‌ها صورت گرفته است. ولی نگرانی‌های بشر در مورد افزایش دمای جهانی [۳]، افزایش جمعیت [۹] و پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی، ایجاب می‌کند روش‌های جمع‌آوری و مصرف انرژی تغییر یابد تا بتوان در آینده امکان استفاده فراگیر از منابع انرژی تجدیدپذیر را فراهم آورد. در میان منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشید، باد، زیست‌توده و زمین‌گرمایی، انرژی خورشید به دلیل پاک بودن و قابلیت تامین آن بدون هرگونه آلودگی زیست‌محیطی، جایگزین مناسب‌تری برای سوخت‌های فسیلی است. یکی از نکات مهم در این زمینه، افزایش کارایی تجهیزات خورشیدی است تا کاربرد آن ها توجیه اقتصادی داشته باشد. کلکتور خورشیدی متداول به دلیل جذب سطحی تابش ورودی که به اتلاف حرارتی زیاد و جذب ضعیف منجر می‌گردد، کارایی تبدیل انرژی کمی دارد [۲]. در مقابل، عملکرد بهتر کلکتورهای جذب مستقیم (حجمی) که در آن ها تابش خورشیدی مستقیما توسط محیط سیال دریافت می‌شود و تمرکز حرارت در سطح و اتلاف حرارت از آن کاهش می‌یابد، باعث شده تحقیقات پیرامون این نوع کلکتور طی سال های اخیر روند رو به رشدی داشته باشد. در شکل ۱ طرح واره‌هایی از کلکتورهای صفحه تخت و جذب مستقیم (حجمی) نشان داده شده است.

اخیرا محققان تاثیر استفاده از نانوسیال (یک سوسپانسیون مایع- نانوذره) به عنوان سیال عامل را روی بهبود کارایی کلکتورهای خورشیدی جذب مستقیم در مقایسه با کلکتور صفحه تخت (دماپایین) مطالعه کرده‌اند. تیاگی و همکاران [۸] سوسپانسیون نانوذره آلومینیوم در آب را به صورت عددی بررسی کرده و به این نتیجه دست یافته است که تحت شرایط کاری مشابه، افزایش کارایی ۱۰٪ با استفاده از کلکتور جدید نسبت به یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت معمولی به دست می‌آید.

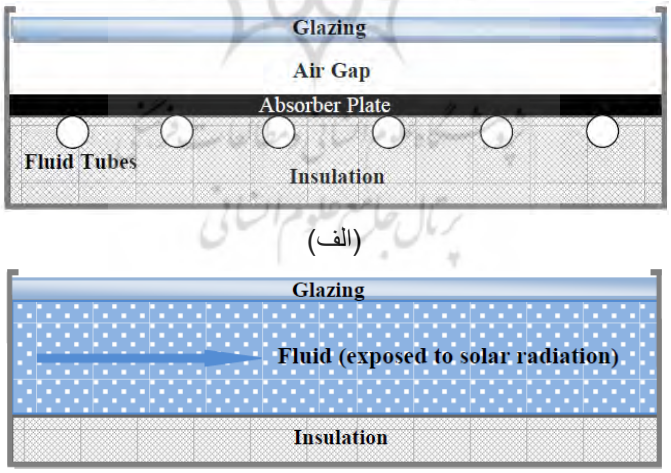
اولین مطالعه تجربی روی کلکتورهای خورشیدی جذب مستقیم نانوسیال‌بنیان، توسط اتانیکار و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۰ انجام شده است که در آن، نتایج حاصل از مدل عددی براساس کار تیاگی و همکاران با نتایج تجربی حاصل از ساخت یک میکروکلکتور مقایسه و افزایش حدود ۵٪ کارایی

Downloaded from necjournals.ir at 11:33 +0330 on Sunday September 29th 2019

کلکتور جذب مستقیم با استفاده از نانوذرات گرافیت، نانولوله کربنی و نقره نسبت به کلکتورهای معمول تایید گردیده است.

انتقال حرارت و تولید انتروپی در کلکتور خورشیدی جذب مستقیم حاوی نانوسیال مس-آب توسط پروین و همکاران [۶] مورد بررسی قرار گرفته است. تمرکز مطالعه آن ها روی تاثیر جزء حجمی نانوذرات و عدد رینولدز روی عدد نوسلت، تولید انتروپی و کارایی کلکتور بوده است. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش جزء حجمی و عدد رینولدز، عدد نوسلت و تولید انتروپی افزایش می‌یابد.

با توجه به توضیحات فوق، تاکنون عملکرد کلکتور جذب مستقیم نانوسیال‌بنیان با هدف کاربری در آبگرمکن خورشیدی خانگی مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین در این تحقیق، مطالعه تجربی برای بررسی کارایی این نوع کلکتور با استفاده از نانوسیال نانولوله کربنی در مخلوطی از آب و اتیلن‌گلیکول به عنوان سیال پایه، انجام شده است. به همین منظور، مدلی از این کلکتور، با هدف کاربری در آبگرمکن‌های خورشیدی خانگی طراحی و ساخته شد. علاوه بر این، به منظور مقایسه همزمان کارایی کلکتور جذب مستقیم و متداول، نمونه کلکتور متداول در ابعاد و شرایط کاملا مشابه کلکتور جذب مستقیم و به منظور بررسی کارایی این دو کلکتور، دستگاه آزمون کارایی براساس استاندارد EN 12975-2 طراحی و ساخته شده است [۴].



شکل ۱. طرحواره کلکتور خورشیدی (الف) صفحه تخت (ب) جذب مستقیم

Downloaded from necjournals.ir at 11:33 +0330 on Sunday September 29th 2019

۲. تهیه نانوسیال

در این تحقیق، از نانولوله کربنی عامل دار (با گروه اسیدی کربوکسیل)، برای تهیه نانوسیال‌ها بهره گرفته شده است. از مخلوط ۷۰٪ آب و ۳۰٪ اتیلن‌گلیکول (حجمی) به عنوان سیال پایه برای تهیه نانوسیال‌ها استفاده شده است. از میان روش‌های موجود جهت تهیه نانوسیال، از روش دومرحله‌ای استفاده شده است. در این روش، مقدار معین از نانوذره موردنظر با استفاده از التراسونیک میله‌ای مدل Hielscher UP400S به مدت ۳۰ دقیقه مستقیما با سیال پایه مخلوط می‌شود. به منظور جلوگیری از گرمایش بیش از حد، مخلوط به طور متناوب التراسونیک می‌شود. مدت زمان استراحت معمولا ۲ دقیقه در نظر گرفته می‌شود تا فرصت لازم برای خروج حرارت از نمونه تامین شود [۶]. مقدار نانوماده لازم برای تهیه نمونه‌های نانوسیال با جزءحجمی مختلف در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. جزء حجمی نانوسیال‌ها و جرم نانومواد در ۱۰۰ میلی‌لیتر سیال پایه

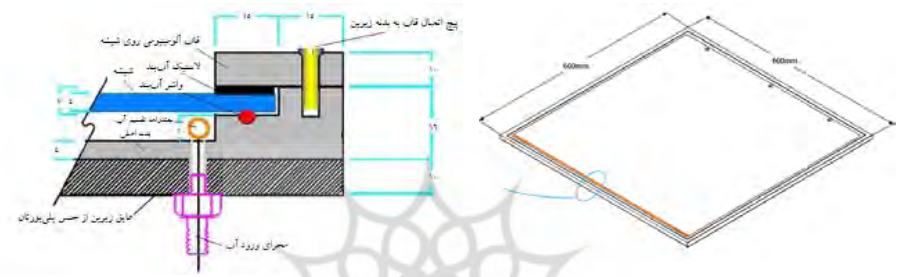
نمونه	جزء حجمی (**ppm**)	جرم نانوماده (میلی‌گرم)
f1	۱۰۰	۶۴
f2	۵۰	۳۲
f3	۲۵	۱۶

۳. طراحی و ساخت کلکتور جذب مستقیم

به منظور مطالعه تجربی عملکرد کلکتور جذب مستقیم، یک نمونه از این کلکتور با هدف کاربری در آبگرمکن خورشیدی خانگی طراحی و ساخته شده است. بدنه اصلی کلکتور از جنس آلومینیوم بوده و در آن مسیری برای ورود و خروج سیال عامل در نظر گرفته شده است. برای ورود سیال عامل از یک چندراهه استفاده شده که سیال را به صورت یکنواخت در کلکتور پخش می‌کند. برای خروج سیال نیز، سه سوراخ در انتهای دیگر کلکتور تعبیه شده است. در شکل ۲ نقشه سه‌بعدی کلکتور جذب مستقیم ساخته‌شده و برشی از یک انتهای آن جهت نمایش دقیق‌تر نحوه ورود سیال به کلکتور، ارائه شده است. به منظور جلوگیری از نشت سیال عامل، قبل از نصب شیشه، واشری آب‌بند روی بدنه اصلی تعبیه می‌شود. سپس شیشه روی آن قرار گرفته و توسط تسمه یا قابی فلزی مهار می‌شود. زیر این قاب مجددا واشری جهت استحکام و آب‌بند نمودن بیشتر نصب می‌شود. کل بدنه کلکتور با استفاده از عایق پلی‌یورتان به ضخامت ۱۰ میلی‌متر جهت محدود کردن اتلاف حرارتی به محیط بیرون از پشت و

Downloaded from necjournals.ir at 11:33 +0330 on Sunday September 29th 2019

دیوارهای جانبی عایقکاری می‌شود. شیشه کلکتور به منظور جلوگیری از شکستن ناشی از فشار آب از نوع سکوریت با ضخامت ۴ میلی‌متر انتخاب شده است. به منظور بررسی عملکرد کلکتور با سیال پایه در حالت سطح پایین جاذب، سطح داخلی صفحه پایینی کلکتور با رنگ سیاه پوشش داده می‌شود. در حالی که در آزمون های با استفاده از نانوسیال، سطح داخلی دیواره پایین کلکتور، به منظور بررسی توان جذب خود نانوسیال بدون تاثیر جذب سطح پایین، به صورت صیقلی است.



(ب) (الف)

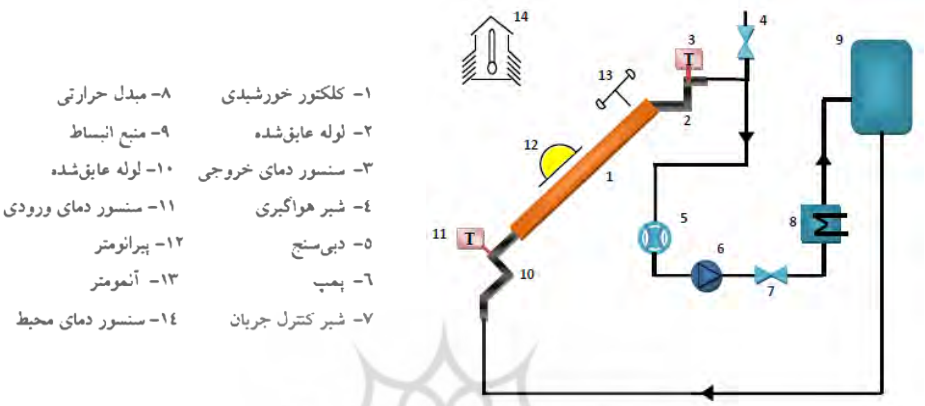
شکل ۲. کلکتور جذب مستقیم (الف) طرحواره سه‌بعدی (ب) جزئیات ورود سیال به کلکتور

٤. آزمون عملکرد پایا در محیط بیرون

شکل ۳ طرحواره سیکل آزمون کلکتور خورشیدی را براساس استاندارد EN 12975-2 [۷] نشان می‌دهد. دو سیستم آزمون براساس این سیکل طراحی و ساخته شده است تا با استفاده از آن بتوان عملکرد حرارتی هر دو کلکتور جذب مستقیم و متداول را بررسی نمود. این سیستم‌های آزمون در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی واقع در شهر تهران (35.6961° N, 51.4231° E) ساخته و نصب شده است. زاویه نصب هر دو کلکتور جهت دریافت بیشترین تابش خورشیدی در این سیستم برابر با عرض جغرافیایی شهر تهران، ۳۵° است. نکته مهم این است که هنگام ساخت این سیستم‌های خورشیدی (نوع متداول و جذب مستقیم) دقت شده که مشخصه‌های فنی این دو سیستم یکی باشد. یعنی اندازه و نوع اجزای آن ها، نوع جهت‌گیری آن ها، محل قرارگیری، میزان سیال عامل موجود، دبی سیال عامل و سایر مشخصه‌ها به نحوی یکسان در نظر گرفته شده، تا تفاوت در این مشخصه‌ها موجب

Downloaded from necjournals.ir at 11:33 +0330 on Sunday September 29th 2019

بروز خطا در روند مقایسه‌ای کارایی بین این دو سیکل نشود. در شکل ۴ تصویر نهایی سیستم ساخته‌شده قابل مشاهده است.



شکل ۳. طرحواره سیکل آزمون عملکرد حرارتی کلکتور جذب مستقیم و متداول

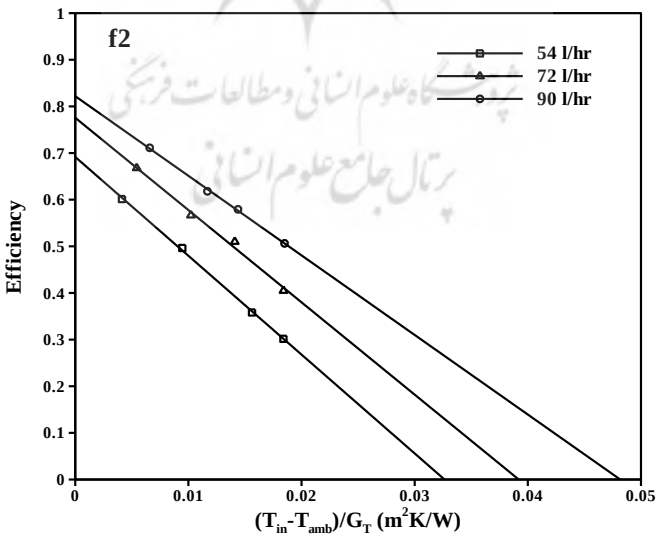
شکل ۴. تصویر دستگاه آزمون ساخته‌شده شامل کلکتور متداول (سمت راست) و جذب مستقیم (سمت چپ)

Downloaded from necjournals.ir at 11:33 +0330 on Sunday September 29th 2019

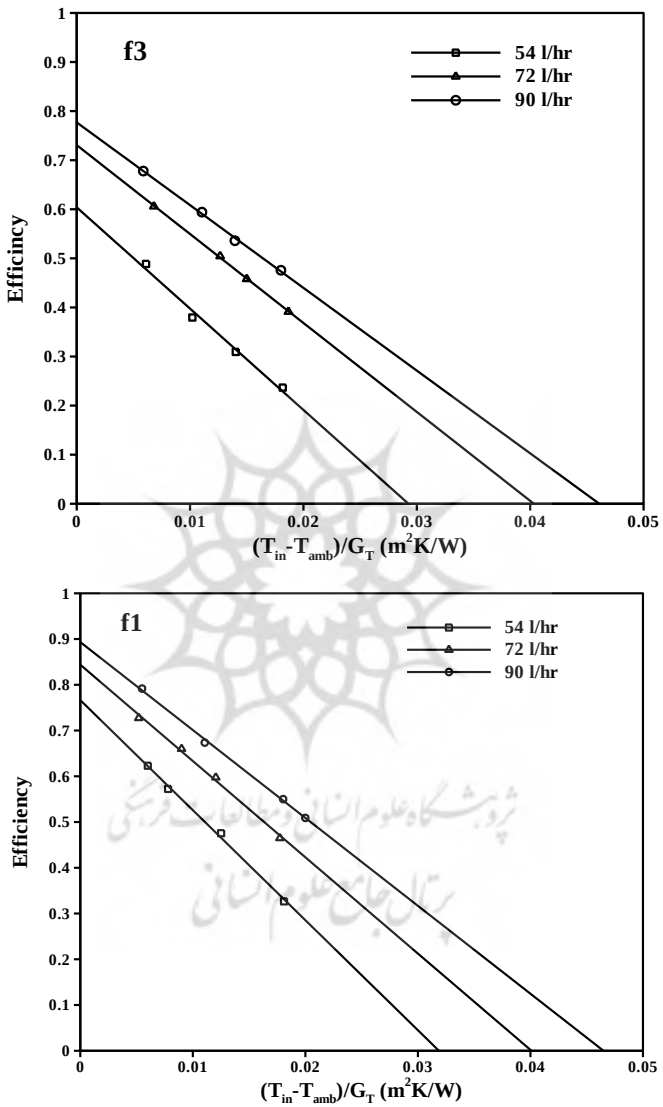
۵. بحث و نتایج

پس از ساخت و راه‌اندازی دستگاه آزمون، در این بخش عملکرد تجربی کلکتور با تغییر مشخصه‌های مختلف بررسی می‌شود. تحلیل عدم‌قطعیت نتایج تجربی با استفاده از روش آبرنتی [۷] انجام شده و مشخص شد بیشینه عدم‌قطعیت به دست‌آمده در تعیین کارایی کلکتور جذب مستقیم در آزمون‌های مختلف حدود ۴/۷٪ است.

شکل ۵ تغییرات کارایی کلکتور جذب مستقیم با نانوسیال را برحسب اختلاف دمای کاهش‌یافته $\frac{T_{in}-T_{amb}}{G_T}$ را برای دبی‌های مختلف ۵۴، ۷۲ و ۹۰l/hr نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، کارایی کلکتور با افزایش دبی ورودی افزایش می‌یابد؛ چرا که با افزایش دبی، دمای سیال کاهش یافته و در نتیجه، اتلاف حرارت به محیط بیرون کم می‌شود. بنابراین، کارایی کلکتور افزایش می‌یابد. بررسی نتایج بدست‌آمده نشان می‌دهد که میزان افزایش کارایی بیشینه با تغییر دبی از ۵۴l/hr به ۷۲l/hr بیشتر از افزایش کارایی بیشینه با تغییر دبی از ۷۲l/hr به ۹۰l/hr است؛ برای مثال، افزایش کارایی بیشینه کلکتور با تغییر دبی از ۵۴l/hr به ۷۲l/hr با استفاده از نانوسیال f3، حدود ۱۲/۷٪ است؛ درحالی‌که با تغییر از ۷۲l/hr به ۹۰l/hr، این افزایش به ۴/۶٪ کاهش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که افزایش کارایی کلکتور با افزایش دبی، روندی مجانبی دارد.



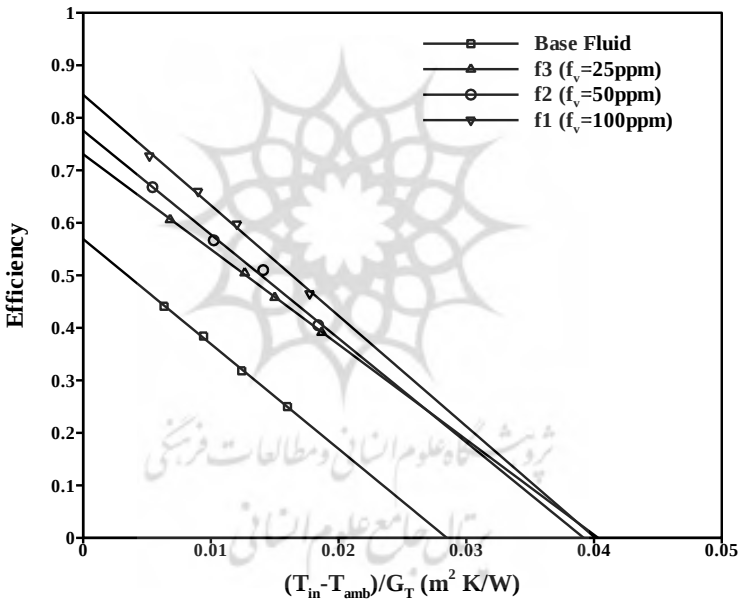
Downloaded from necjournals.ir at 11:33 +0330 on Sunday September 29th 2019



شکل ۵. تغییرات کارایی کلکتور جذب مستقیم با دبی برای سیال‌های عامل مختلف

Downloaded from necjournals.ir at 11:33 +0330 on Sunday September 29th 2019

در شکل ۶ تاثیر جزءحجمی نانوسیال بر کارایی کلکتور جذب مستقیم در دبی جرمی ۷۲l/hr نشان شده است. همان طور که از نتایج پیداست، کارایی کلکتور با استفاده از سیال پایه کمتر از حالت استفاده از نانوسیال به عنوان سیال عامل است. نکته دیگر این که، در دبی ثابت، هرچه نانوسیال غلیظتر باشد، میزان جذب انرژی خورشید بیشتر بوده و در مجموع کارایی افزایش بیشتری می‌یابد؛ طوری‌که کارایی کلکتور در اختلاف دمای کاهش‌یافته $۰/۰۱ m^2K/W$، با استفاده از نانوسیال‌های f3، f2 و f1 در همان اختلاف دمای کاهش‌یافته $۰/۰۱ m^2K/W$، به ترتیب ۱۸٪، ۲۰/۶٪ و ۲۶/۴٪ بالاتر از کارایی با استفاده از سیال پایه است. این امر همان طور که قبلا بیان شد به علت افزایش جذب انرژی تابشی نانوسیال نسبت به سیال پایه است که منجر به افزایش کارایی می‌شود.

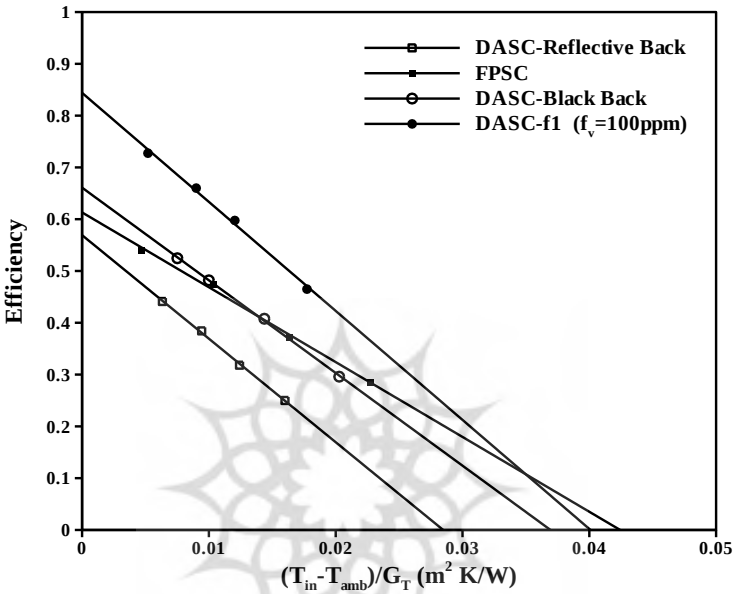


شکل ۶. تاثیر جزء حجمی نانوسیال نانولوله کربنی بر کارایی کلکتور جذب مستقیم در دبی **l/hr** ۷۲

مقایسه کارایی کلکتور جذب مستقیم و متداول در شکل ۷ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود کارایی بیشینه کلکتور جذب مستقیم با سیال پایه و سطح پایین بازتابنده، حدود ۴/۴٪ پایین تر، با سیال پایه و سطح پایین جاذب (سیاه)، حدود ۴/۷٪ بالاتر از کلکتور متداول است. در صورت استفاده از سیال عامل f1 کارایی بیشینه کلکتور جذب مستقیم، حدود ۲۳٪ بالاتر از کلکتور متداول است.

Downloaded from necjournals.ir at 11:33 +0330 on Sunday September 29th 2019

براساس این نتایج، عملکرد کلکتور جذب مستقیم با استفاده از نانوسیال بهتر از نوع متداول بوده و در صورتی‌که بتوان از نانوسیال پایدار به عنوان سیال عامل کلکتور جذب مستقیم بهره برد، می‌توان به کارایی بالاتری در تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی مفید دست یافت.



شکل ۷. مقایسه کارایی کلکتور خورشیدی جذب مستقیم و متداول در دبی **l/hr** ۷۲

٦. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، عملکرد کلکتور خورشیدی جذب مستقیم با هدف کاربری در آبگرمکن خورشیدی خانگی و با استفاده از نانوسیال نانولوله کربنی به عنوان سیال عامل به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی تاثیر دبی ورودی بر کارایی کلکتور جذب مستقیم نشان داد که کارایی کلکتور با افزایش دبی افزایش می‌یابد. با استفاده از نانوسیال نانولوله کربنی به عنوان سیال عامل، افزایش کارایی بیشتری نسبت به حالت استفاده از سیال پایه بدست آمده است. این کارایی با افزایش جزءحجمی نانوسیال از ۲۵ به ۱۰۰ ppm در دبی l/hr ۷۲، حدود ۱۱/۳٪ افزایش می‌یابد. مقایسه کارایی کلکتور متداول با نوع جذب مستقیم نشان داد که کارایی بیشینه کلکتور جذب مستقیم با سیال پایه و سطح پایین بازتابنده، حدود ۴/۴٪ کمتر و با استفاده از نانوسیال نانولوله کربنی، حدود ۲۳٪ بالاتر از کارایی کلکتور متداول است.

Downloaded from necjournals.ir at 11:33 +0330 on Sunday September 29th 2019

منابع

[1] Abernethy, R.B., Benedict, R.P., Dowdell, R.B., (1983). ASME measurement uncertainty. ASME paper 83-WA/FM-3.

[2] Arai, N., Itaya, Y., Hasatani, M., (1984). Development of a Volume heat-trap' type solar collector using a fine-particle semitransparent liquid suspension (FPSS) as a heat vehicle and heat storage medium. Solar Energy 32, 49-56.

[3] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2007). Fourth Assessment Report. United Nations, New York.

[4] Nasiri A., Shariaty-Niasar M., Rashidi A., Amrollahi A., Khodafarin R., (2011). Effect of dispersion method on thermal conductivity and stability of nanofluid, Experimental Thermal and Fluid Science 35, pp. 717–723.

[5]Otanicar, T.P., Phelan, P.E., Prasher, R.S., Rosengarten, G., Taylor, R.A. (2010). Nanofluid-based direct absorption solar collector. J. Renew. Sustain. 2, 033102.

[6] Parvin S., Nasrin R., Alim M.A., Heat transfer and entropy generation through nanofluid filled direct absorption solar collector (2014). International Journal of Heat and Mass Transfer 71, pp. 386–395.

[7] Thermal solar systems and components – Solar collectors – Part 2: Test methods, English version of DIN EN 12975-2:2006-06.

[8] Tyagi, H., Phelan, P., Prasher, R.S. (2009). "Predicted Efficiency of Nanofluid- Based Direct Absorption Solar Receiver", J. Sol. Energy – Trans. ASME 131.

[9] United Nations Population Fund (UNPF) (2007). State of World Population, Unleashing the Potential of Urban Growth. United Nations, New York.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی