Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص 209-212

مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی تهویه‌مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
بیرجند، دانشگاه بیرجند، 6 و 7 مهر 1395

مهندسی مکانیک مدرس
mme.modares.ac.ir

بررسی آزمایشگاهی تاثیرات نانوسیال اکسید آهن بر بازدهی حرارتی کالکتور صفحه تخت خورشیدی در ساختمان

جلال قندهاری[1*]، علی کیانی‌فر[2]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی، مشهد
2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی، مشهد
* مشهد، صندوق پستی 9177511111، a-kiani@um.ac.ir

چکیده

امروزه با توجه به محدودیت‌های سوخت‌های فسیلی، استفاده از روش‌های بهینه مانند استفاده از نانوسیالات برای افزایش بازدهی آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش، تاثیرات نانوسیال اکسید آهن با سیال پایه مخلوط 50 درصد حجمی آب و پروپیلن گلیکول به عنوان سیال عامل در کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. بدین منظور نانوسیال اکسید آهن در غلظت‌های مختلف نانوذره تا سه دهم درصد جرمی و در سه دبی مختلف مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. آزمایشات تمامی در روزهای صاف و بدون ابر فصل تابستان و در پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده‌ی پتانسیل مناسب نانوسیال اکسید آهن (مگنتیت) در افزایش بازدهی حرارتی کالکتور صفحه تخت خورشیدی به عنوان اصلی‌ترین جز آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی می‌باشد. نتایج بدست آمده، افزایش 12 درصدی بازدهی حرارتی کالکتور صفحه تخت خورشیدی را نشان می‌دهند.

کلید واژگان: کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی، نانوسیال اکسید آهن (مگنتیت)، بازدهی حرارتی

Experimental Investigation on the Effect of Iron Oxide(Fe_3O_4) Nanofluid on the Thermal Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors in the Building

Jalal Ghandehari[*], Ali Kianifar

Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
* P.O.B. 917751111 Mashhad, Iran, a-kiani@um.ac.ir

ABSTRACT

Nowadays, considering the limitations of fossil fuels, using optimization methods such as nanofluids for increasing the efficiency of solar water heaters has received a significant attention. In this study, the effects of nanofluid iron oxide with a mixture of 50% water volume and propylene glycol base fluid, as the working fluid in the solar flat plate collectors, were experimentally investigated. Nanofluid iron oxide nanoparticles at three different mass concentrations and in three volumetric flow rate have been experimented. All tests were done on cloudless, clear days in summer, and in Havākhurshid Research Institute at Ferdowsi University of Mashhad. Results indicate the proper potential of nanofluid iron oxide (magnetite) in enhancing the thermal efficiency of solar flat plate collector, as the most important component of solar water heaters, as the maximum efficiency increase of 12% was noticed.

Keywords: Flat- plate solar collector, Fe_3 O_4 nanofluids,Thermal efficiency

1- مقدمه

کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی به‌عنوان یکی از مهمترین اجزای آب‌گرم‌کن خورشیدی محسوب می‌گردند که با جذب انرژی تابشی خورشید آن را به‌صورت گرما به سیال جاری در کالکتور (معمولا هوا ،آب یا روغن) منتقل و به‌وسیله‌ی یک مبدل حرارتی، موجب گرم شدن آب مصرفی می‌گردند [1]. کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی به‌دلیل سادگی طراحی، عملکرد مناسب و تعداد اجزای مکانیکی کمتر، پرکاربردترین و مشهورترین نوع کالکتورهای خورشیدی برای سیستم‌های آب‌گرم‌کن خورشیدی مورد استفاده در انواع ساختمان‌های مسکونی و اداری می‌باشند. به همین دلیل در این پژوهش از این نوع کالکتورها در سیستم آبگرمکن خورشیدی استفاده شده است. همچنین در این پژوهش از مخلوط آب و پروپیلن گلیکول[1] به عنوان سیال پایه استفاده شده است تا ضمن استفاده از خواص ضدیخ و ضدجوش بودن پروپیلن گلیکول و جلوگیری از یخزدگی سیال در کالکتور، با افزودن آب از کاهش شدید انتقال حرارت (به‌دلیل انتقال حرارت پایین پروپیلن گلیکول) جلوگیری شود [2].

در دهه‌ی گذشته، بسیاری از محققان به ارزیابی تاثیرات نانوسیالات بر بهبود انتقال حرارت در سیستم‌های گرمایی مختلف پرداخته‌اند [3]. در میان کاربردهای متفاوت نانوسیالات، استفاده آن‌ها در انرژی‌های تجدیدپذیر به خصوص در انرژی خورشیدی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نانوسیالات عموماً ظرفیت حرارتی پایین‌تری نسبت به سیالات متداول دارند، بنابراین، استفاده از نانوسیالات در کالکتورهای خورشیدی به‌عنوان اصلی‌ترین جزء آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی، موجب بالا رفتن دمای خروجی از کالکتور می‌شود که همین امر یعنی دمای بالاتر خروجی سیال برای بسیاری از کاربردها به ویژه سیستم‌های گرمایشی ساختمان‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در زیر به مرور چند تحقیق انجام گرفته بر تاثیر نانوسیالات بر بازدهی کالکتورهای

[1] Propylen glycol

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

J.Ghandehari, A.Kianifar, Experimental Investigation on the Effect of Iron Oxide (Fe_3O_4) Nanofluid on the Thermal Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors in the Building, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 209-212, 2016 (in Persian فارسی)

www.SID.ir

Archive of SID

صفحه تخت خورشیدی پرداخته شده است.

میبدی و همکاران [4]، به بررسی تاثیر اضافه نمودن نانوسیال سیلیکا در سیال پایه مخلوط 50 درصدی آب و اتیلن گلیکل بر بازدهی کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی پرداخته‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند بر خلاف رسانایی حرارتی پایین سیلیکا، این نوع نانوسیال تاثیر مناسبی بر افزایش راندمان حرارتی کالکتور صفحه تخت خورشیدی می‌گذارد و بازدهی حرارتی را بین 4 تا 8 درصد برای دبی‌های مختلف افزایش می دهد. در پژوهشی دیگر یوسفی و همکاران [5]، نانوسیال با نانولوله‌های چند دیواره‌ای کربنی به عنوان نانوذرات در سیال پایه‌ی آب را در بازدهی حرارتی کالکتور صفحه تخت خورشیدی مورد آزمایش قرار داده‌اند. نتایج ایشان نشان دهنده‌ی افزایش راندمان حرارتی کالکتور با افزایش درصد جرمی نانوذرات در نانوسیال می‌باشد. چاجی و همکاران [6]، با آزمایش بر کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی دریافتند که نانوسیال تیتانیوم اکسید[1] و آب با درصد جرمی 0.3 درصد موجب افزایش بازدهی حرارتی آبگرم‌کن می‌گردد. زمزمیان و همکاران [7]، نیز در پژوهشی دیگر به بررسی نانوسیال مس سنتز شده و آب با درصد جرمی‌های بین 0.2 و 0.3 پرداخته‌اند و نشان داده‌اند که با افزایش درصد جرمی نانوذرات در نانوسیال، بازدهی حرارتی کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی افزایش می‌یابد. مرور انجام گرفته بر پیشینه‌ی استفاده از نانوسیالات در سیستم‌های آبگرم‌کن‌های خورشیدی نشان می‌دهد تاکنون از نانوسیال اکسید آهن (مگنتیت)[2] در مخلوط آب و پروپیلن گلیکول به عنوان سیال عامل در این سیستم‌ها مورد استفاده و بررسی قرار نگرفته است که در این پژوهش از این نوع نانوسیال خاص برای بررسی مقدار افزایش بازدهی حرارتی کالکتور صفحه تخت، استفاده شده است.

2- طرز تهیه‌ی نانوسیال

در این پژوهش، برای تهیه نانوسیال از نانوذرات اکسید آهن(مگنتیت) با قطر متوسط 40 نانومتر در مخلوط 50 درصد حجمی آب و پروپیلن گلیکول استفاده شده است، به‌طوری که با توجه به درصد جرمی موردنیاز، نانوذرات آهسته در سیال پایه ریخته شده و به وسیله همزن به‌طور همزمان مخلوط گردیده‌اند. سپس، به محلول چند قطره اسید استیک اضافه کرده و محلول برای مدت سی دقیقه داخل حمام دستگاه اولتراسونیک قرار داده تا از کلوخه‌ای شدن نانوذرات جلوگیری شود و ته نشینی نانوذرات در نانوسیال به حداقل برسد، به این شیوه، با چشم غیرمسلح حداقل پس از یک ماه هیچ‌گونه ته‌نشینی مشاهده نگردید. لازم به‌ذکر است که اضافه کردن اولئیک اسید باعث کلوخه‌ای شدن نانوذرات شده است. نانوسیالات برای دو درصد جرمی متفاوت 1.0 و 3.0 درصد جرمی آماده شده‌اند. در "شکل 1" تصویر نانوفروسیال

Fig. 1 Nanofluid picture used in the test

شکل 1 تصویر نانوسیال استفاده شده در آزمایش

پایدار شده و استفاده شده در آزمایش آورده شده است.

3- روش انجام آزمایش

همان‌طور که در "شکل شماتیکی 2" نشان داده شده است، نانوسیال به وسیله یک پمپ سیرکوله داخل سیکل بسته‌ی آبگرم‌کن خورشیدی طراحی شده چرخش می‌کند، به‌طوری که نانوسیال پس گرم شدن و دریافت انرژی تابشی خورشید دمای خروجی‌اش از کالکتور بالا رفته و به‌وسیله لوله‌های مسی به داخل یک مبدل گرمایی منتقل می‌شود و انرژی دریافتی خود را در داخل یک مخزن به آب گرم مصرفی برای مصارف مختلف چون شستشو و ظرفشویی منتقل می‌کند و پس از، از دست دادن انرژی خود و کاهش دما دوباره به سمت ورودی کالکتور پمپ می‌گردد. در این سیستم طراحی شده از یک ترموکوپل مدل پی‌تی 100 برای اندازه‌گیری دمای محیط و تابش‌سنج کیپ‌اندزنون برای اندازه‌گیری مقدار تابش در سطح افق استفاده شده که هر دو به یک دیتالاگر لوفت متصل و اطلاعات را به‌صورت لحظه‌ای یادداشت و ذخیره می‌نمایند. همچنین از دو دماسنج خودکاری برای اندازه‌گیری دمای ورود و خروج سیال از کالکتور استفاده شده است به‌طوری که سنسور دماسنج‌ها کاملاً داخل جریان و مطابق با استاندارد اشری قرار گرفته است [8]. برای تنظیم نمودن دبی نیز از سه درجه‌ی موجود در پمپ و باز یا بسته کردن شیر کنترل جریان بعد از پمپ استفاده گردیده تا دبی مورد نظر ایجاد گردد. قبل از آزمایش‌ها، تمامی وسایل به‌طور کامل و با دقت کالیبره شده‌اند. آزمایشات در فصل تابستان و در روزهای کاملا آفتابی مطابق استاندارد اشره برای سه غلظت نانوسیال 0 و 0.1 و 0.3 درصد جرمی و سه دبی حجمی مختلف 1 و 1.5 و 2 لیتر بر دقیقه در شهر مشهد در پژوهشکده‌ی هوا خورشید دانشگاه فردوسی با طول جغرافیایی 59.35 و عرض جغرافیایی 36.17 انجام گرفته است. تمامی آزمایشات با رعایت کامل استاندارد اشری برای انجام آزمایش در کالکتورهای خورشیدی برای تامین آب گرم مصرفی در منازل انجام پذیرفته است.

4- محاسبات بازدهی حرارتی

مقادیر دماهای ورود، خروج، محیط و مقدار تابش در بازه‌های زمانی ده دقیقه‌ای و پس از رسیدن به شرایط پایدار اندازه‌گیری شده‌اند. بازدهی حرارتی کالکتور صفحه تخت خورشیدی در آبگرم‌کن‌های خورشیدی مطابق با رابطه (1) به‌دست می‌آید [3].

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{A_c G_t} = \frac{\dot{m} c_{p,\mathrm{nf}} (T_o - T_i)}{A_c G_t} \qquad (1)$$

به‌طوری‌که $\dot{m}$ دبی سیال، $C_{p,\mathrm{nf}}$ ظرفیت حرارتی نانوسیال، T_i و T_oدماهای ورود و خروج از کالکتور خورشیدی، A_c مساحت سطح جاذب کالکتور و G_t

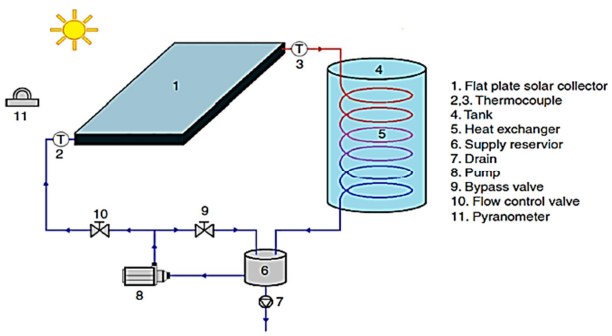

Fig.2 Schematic picture of solar water heater system

شکل 2 شکل شماتیکی سیستم آب گرم کن خورشیدی

[1] TiO_2
[2] Magnetite

www.SID.ir

Archive of SID

میزان تابش دریافتی لحظه‌ای در سطح کالکتور می‌باشند[9].

$$C_{p,\mathrm{nf}} = \frac{\emptyset(\rho_{\mathrm{np}}C_{p,\mathrm{np}}) + (1-\emptyset)(\rho_{\mathrm{bf}}C_{p,\mathrm{bf}})}{\emptyset\rho_{\mathrm{np}} + (1-\emptyset)\rho_{\mathrm{bf}}} \quad (2)$$

در این رابطه، $\emptyset$ درصد جرمی نانوسیال، $C_{p,\mathrm{np}}$و $C_{p,\mathrm{np}}$ به ترتیب ظرفیت حرارتی سیال پایه و نانوذرات و ρ_{bf} و ρ_{np} چگالی سیال پایه و چگالی نانوذرات می‌باشد. همچنین بازدهی کالکتور صفحه تخت خورشیدی را می‌توان به صورت اختلاف کل انرژی دریافتی کالکتور با انرژی هدر رفته از سطح کالکتور، تقسیم بر انرژی کل تابشی بر سطح کالکتور به صورت رابطه (3) نیز بازنویسی نمود[3]:

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - U_L F_R\left(\frac{T_i - T_a}{G_t}\right) \quad (3)$$

در این رابطه نیز، F_R ضریب اخذ کالکتور، $\alpha\tau$ بازدهی نوری[1] و U_L ضریب افت حرارت کالکتور می‌باشند. با رسم نمودار بازدهی برحسب پارامتر کاهش دما $(T_i - T_a)/G_t$ یک خط راست به‌دست می‌آید، که محل برخورد خط با نمودار عمودی پارامتر $F_R(\tau\alpha)$ یا پارامتر انرژی دریافتی[2] را نشان می‌دهد و شیب این خط نشان دهنده‌ی $U_L F_R$ یا پارامتر انرژی از دست رفته[3] می‌باشد.

5- بحث و نتیجه‌گیری

"اشکال 3 الی 5" نشان‌دهنده‌ی بازدهی کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی برحسب پارامتر کاهش دما برای دبی‌ها و درصد جرمی‌های مختلف نانوسیال می‌باشند. همان‌طور که از نمودارها مشخص می‌گردد، در حالت کلی با افزایش نانوذرات مگنتیت، بازدهی حرارتی کالکتور افزایش می‌یابد. به عنوان مثال، در جایی که پارامتر کاهش دما به سمت صفر میل می‌کند، نانوسیال مگنتیت با درصد جرمی سه دهم درصد دارای بازدهی 9 تا 12 درصد بیشتر از حالت سیال پایه (آب/ پروپیلن گلیکول) است.

همان‌طور که از "اشکال 3 الی 5"مشخص می‌گردد، با افزایش دبی استفاده از نانوسیال با درصد جرمی بیشتر بازدهی بیشتری را نسبت به سیال پایه و استفاده از نانوسیال با درصد جرمی کمتر نشان می‌دهد.

در انتها در "شکل 6"، تغییرات پارامتر انرژی از دست رفته $(F_R U_L)$ برحسب درصد جرمی‌های مختلف نانوسیال برای دبی‌های مختلف نشان داده شده است، همان‌طور که از نمودار مشخص می‌گردد برای هر دبی، یک درصد جرمی بهینه وجود دارد به‌طوری‌که پارامتر انرژی از دست رفته برای آن دبی

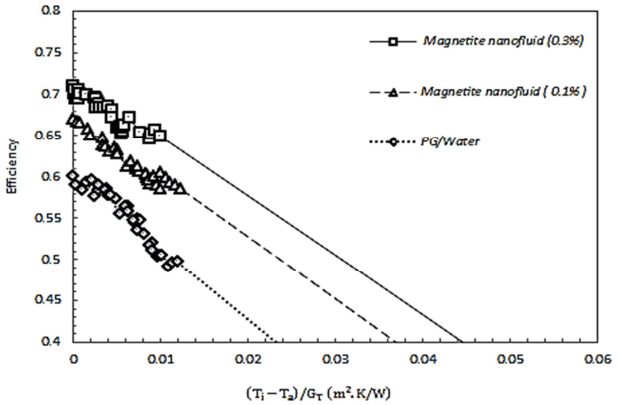

Fig.3 Efficiency in terms of the parameters of temperature decrease for 1 lit/min debyi

شکل 3 بازدهی برحسب پارامتر کاهش دما برای دبی 1 لیتر بر دقیقه

[1] Optical efficeincy
[2] Absorbed Energy Parameter
[3] Removed Eneregy Parameter

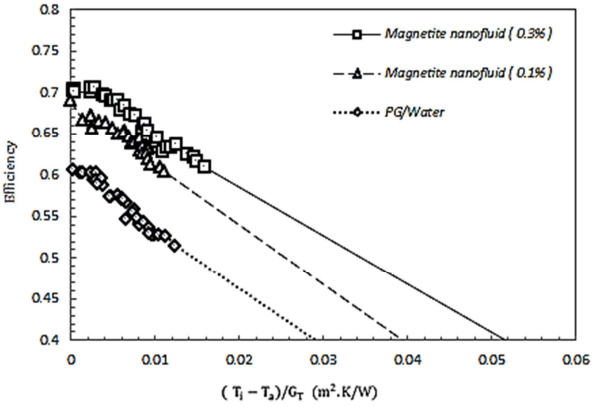

Fig.4 Efficiency in terms of the parameters of temperature decrease for 1.5 lit/min debyi

شکل 4 بازدهی برحسب پارامتر کاهش دما برای دبی 1.5 لیتر بر دقیقه

حداقل می‌باشد. واضح است که پارامتر انرژی از دست رفته با دبی رابطه عکس دارند زیرا هنگامی‌که سیال با سرعت کمتری در کالکتور حرکت می‌کند، اتلافات حرارتی در کالکتور افزایش می‌یابد و در نتیجه پارامتر انرژی از دست رفته نیز افزایش خواهد یافت.

6- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیرات نانوسیال اکسیدآهن(مگنتیت) با سیال پایه‌ی مخلوط آب و پروپیلن گلیکول بر بازدهی حرارتی آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی که

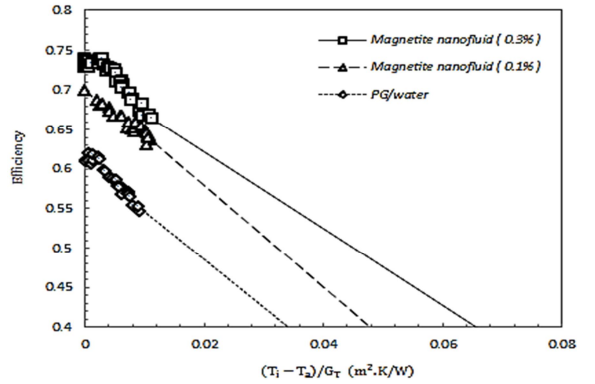

Fig.5 Efficiency in terms of the parameters of temperature decrease for 2 lit/min debyi

شکل5 بازدهی برحسب پارامتر کاهش دما برای دبی 2 لیتر بر دقیقه

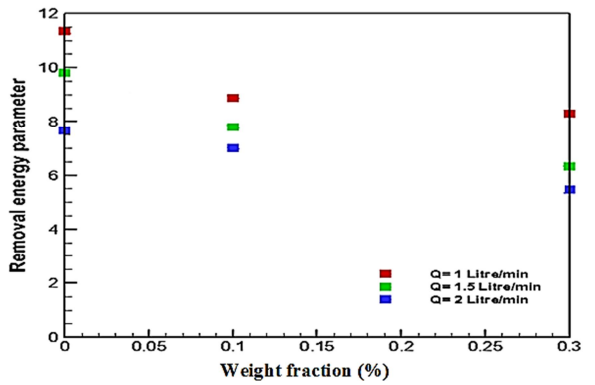

Fig. 6 Removal energy parameters in terms of nanofluids different percent mass rates for different debyis

شکل 6 پارامتر انرژی از دست رفته برحسب درصد جرمی‌های مختلف نانوسیال برای دبی‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID

موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان می‌گردد، مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفت. آزمایشات برای نانوسیال با درصد جرمی‌های 0 و 0.1 و 0.3، سه دبی جرمی مختلف 1 و 1.5 و 2 لیتر بر دقیقه انجام پذیرفت. نتایج به‌دست آمده نشان دهنده‌ی این موضوع اند که نانوذرات مگنتیت در سیال پایه مخلوط آب و پروپیلن‌گلیکول قابلیت افزایش بازدهی حرارتی آبگرم‌کن‌های خورشیدی و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان را به میزان مناسب دارا می‌باشند. نتایج نشان می‌دهند که در حالتی که پارامتر کاهش دما به سمت صفر میل می‌کند، با افزایش درصد جرمی نانوسیال از 0 به 0.3، بازدهی حرارتی به صورت تقریبی بین 9 تا 12 درصد افزایش می‌یابد. که این موضوع بدین معناست، که با استفاده از این نوع نانوسیال خاص در آب گرم‌کن‌های خورشیدی میزان بهره‌وری این سیستم‌ها در ساختمان را به میزان قابل قبولی افزایش می‌دهد. نتایج تجربی نشان دهنده این موضوع است که با استفاده از نانوسیال در دبی‌های بالا، بازده‌ای افزایش بیشتری نشان می‌دهد. همچنین از نتایج مشخص می‌گردد که بازدهی حرارتی نانوسیال با درصد حجمی 0.1 و 0.3 درصد جرمی برای دبی های کم، تقریبا به یکدیگر نزدیک است، بنابراین توصیه می‌گردد برای کاهش هزینه و مشکلات پایداری نانوسیال از درصد جرمی‌های کمتر استفاده شود. همچنین داده‌های تجربی نشان می‌دهند، پارامتر انرژی از دست رفته با افزایش دبی، کاهش می‌یابد.

7- منابع

[1] S. A. Kalogirou, *Solar energy engineering: processes and systems*: Academic Press, 2013.

[2] E. Shojaeizadeh, F. Veysi, T. Yousefi, F. Davodi, An experimental investigation on the efficiency of a Flat-plate solar collector with binary working fluid: A case study of propylene glycol (PG)–water, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 53, pp. 218-226, 2014.

[3] T. Yousefi, F. Veysi, E. Shojaeizadeh, S. Zinadini, An experimental investigation on the effect of Al 2 O 3–H 2 O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors, *Renewable Energy*, Vol. 39, No. 1, pp. 293-298, 2012.

[4] S. S. Meibodi, A. Kianifar, H. Niazmand, O. Mahian, S. Wongwises, Experimental investigation on the thermal efficiency and performance characteristics of a flat plate solar collector using SiO 2/EG–water nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 65, pp. 71-75, 2015.

[5] T. Yousefi, F. Veisy, E. Shojaeizadeh, S. Zinadini, An experimental investigation on the effect of MWCNT-H 2 O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 39, pp. 207-212, 2012.

[6] H. Chaji, Y. Ajabshirchi, E. Esmaeilzadeh, S. Z. Heris, M. Hedayatizadeh, M. Kahani, Experimental study on thermal efficiency of flat plate solar collector using tio^ sub 2^/water nanofluid, *Modern Applied Science*, Vol. 7, No. 10, pp. 60, 2013.

[7] A. Zamzamian, M. KeyanpourRad, M. KianiNeyestani, M. T. Jamal-Abad, An experimental study on the effect of Cu-synthesized/EG nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors, *Renewable Energy*, Vol. 71, pp. 658-664, 2014.

[8] L. Godson, B. Raja, D. M. Lal, S. Wongwises, Enhancement of heat transfer using nanofluids—an overview, *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 14, No. 2, pp. 629-641, 2010.

[9] O. Mahian, A. Kianifar, C. Kleinstreuer, A.-N. Moh'd A, I. Pop, A. Z. Sahin, S. Wongwises, A review of entropy generation in nanofluid flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 65, pp. 514-532, 2013.

www.SID.ir