



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

جلال قندهاری<sup>1\*</sup>، علی کیانیفر<sup>2</sup>

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 محدودیت های سوخت های فسیلی، استفاده از روش های بهینه مانند استفاده از نانوسیالات برای افزایش بازدهی آب گرم کن های 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 غلظت های مختلف نانوذره تا سه دهم درصد جرمی و در سه دبی مختلف مورد آزمایش قرار گرفته اند. آزمایشات تمامی در روزهای صاف و بدون ابر فصل تابستان و در پژوهشگاه هوا خورشید دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده پتانسیل مناسب نانوسیال اکسید آهن (مگنتیت) در افزایش بازدهی حرارتی کالکتور صفحه تخت خورشیدی به عنوان اصلی ترین جز آب گرم کن های خورشیدی می باشد. نتایج بدست آمده، افزایش 12 درصدی بازدهی حرارتی کالکتور صفحه تخت خورشیدی را نشان می دهند.

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. 9177511111 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 Havākshid 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,  $Fe_3O_4$  nanofluids, Thermal efficiency

## 1- مقدمه

ضدجوش بودن پروپیلن گلیکول و جلوگیری از یخ زدگی سیال در کالکتور، با افزودن آب از کاهش شدید انتقال حرارت (به دلیل انتقال حرارت پایین پروپیلن گلیکول) جلوگیری شود [2].

در دهه های گذشته، بسیاری از محققان به ارزیابی تاثیرات نانوسیالات بر بهبود انتقال حرارت در سیستم های گرمایی مختلف پرداخته اند [3]. در میان کاربردهای متفاوت نانوسیالات، استفاده آن ها در انرژی های تجدیدپذیر به خصوص در انرژی خورشیدی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نانوسیالات عموماً ظرفیت حرارتی پایین تری نسبت به سیالات متداول دارند، بنابراین، استفاده از نانوسیالات در کالکتورهای خورشیدی به عنوان اصلی ترین جزء آب گرم کن های خورشیدی، موجب بالا رفتن دمای خروجی از کالکتور می شود که همین امر یعنی دمای بالاتر خروجی سیال برای بسیاری از کاربردها به ویژه سیستم های گرمایشی ساختمان ها بسیار حائز اهمیت می باشد. در زیر به مرور چند تحقیق انجام گرفته بر تاثیر نانوسیالات بر بازدهی کالکتورهای

کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی به عنوان یکی از مهمترین اجزای آب گرم کن خورشیدی محسوب می گردند که با جذب انرژی تابشی خورشید آن را به صورت گرما به سیال جاری در کالکتور (معمولاً هوا، آب یا روغن) منتقل و به وسیله یک مبدل حرارتی، موجب گرم شدن آب مصرفی می گردند [1]. کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی به دلیل سادگی طراحی، عملکرد مناسب و تعداد اجزای مکانیکی کمتر، پرکاربردترین و مشهورترین نوع کالکتورهای خورشیدی برای سیستم های آب گرم کن خورشیدی مورد استفاده در انواع ساختمان های مسکونی و اداری می باشند. به همین دلیل در این پژوهش از این نوع کالکتورها در سیستم آب گرم کن خورشیدی استفاده شده است. همچنین در این پژوهش از مخلوط آب و پروپیلن گلیکول<sup>1</sup> به عنوان سیال پایه استفاده شده است تا ضمن استفاده از خواص ضدیخ و

<sup>1</sup> Propylene glycol

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)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

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)

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 بسته‌ای 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 تابش سنج کیپ‌اندزون 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 درجه‌ای 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 کاملاً آفتابی مطابق استاندارد اشری 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].

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

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

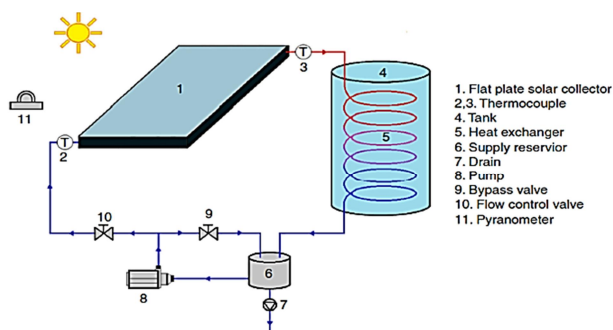


Fig.2 Schematic picture of solar water heater system

شکل 2 شکل شماتیکی سیستم آب گرم کن خورشیدی

صفحه تخت خورشیدی پرداخته شده است.

میبدی و همکاران [4]، به بررسی تأثیر 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 تأثیر مناسبی بر افزایش راندمان حرارتی کالکتور صفحه تخت خورشیدی می‌گذارد و بازدهی حرارتی را بین 4 تا 8 درصد برای دبی‌های مختلف افزایش می‌دهد. 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<sup>1</sup> 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)<sup>2</sup> 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 تهیه نانوسیال

در این پژوهش، برای تهیه نانوسیال از نانوذرات اکسید آهن (مگنتیت) با قطر متوسط 40 نانومتر در مخلوط 50 درصد جرمی 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 اولتیک 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

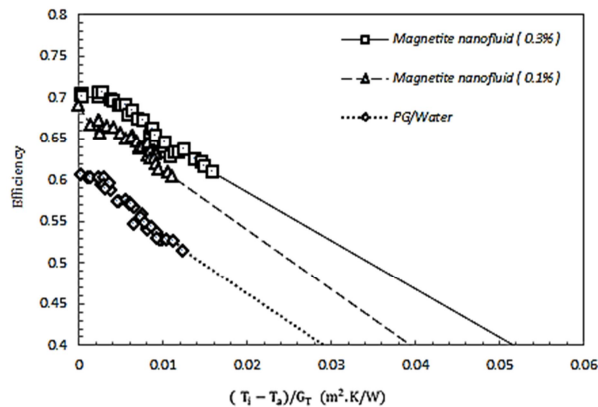


Fig. 1 Nanofluid picture used in the test

شکل 1 تصویر نانوسیال استفاده شده در آزمایش

<sup>1</sup> TiO<sub>2</sub>

<sup>2</sup> Magnetite

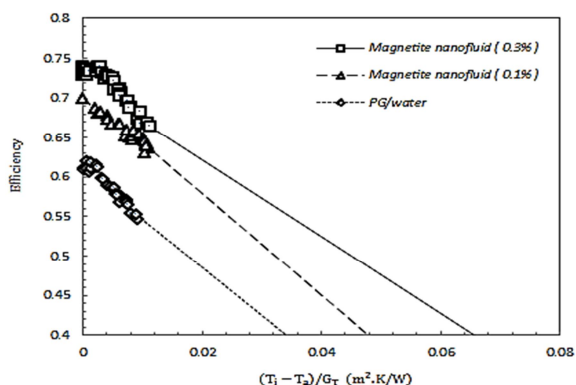


**Fig.4** Efficiency in terms of the parameters of temperature decrease for 1.5 lit/min debyi

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 هنگامی که 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.

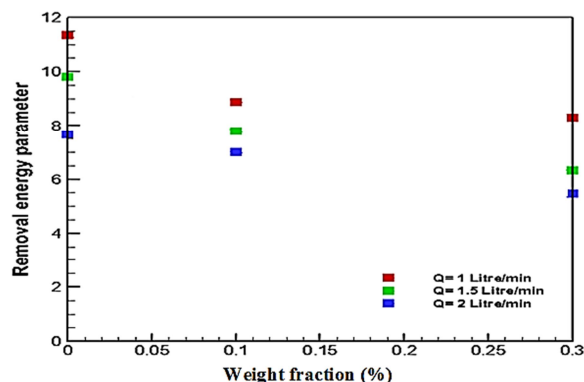
#### 6- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیرات نانوسیال اکسید آهن (مگنتیت) با سیال پایدی مخلوط آب و پروپیلن گلیکول بر بازدهی حرارتی آب گرم‌کن‌های خورشیدی که



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

شکل 5 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

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

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

در این رابطه،  $\phi$  درصد جرمی نانوسیال،  $C_{p,np}$  و  $C_{p,bf}$  به ترتیب ظرفیت حرارتی سیال پایه و نانوذرات و  $\rho_{np}$  و  $\rho_{bf}$  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]:

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

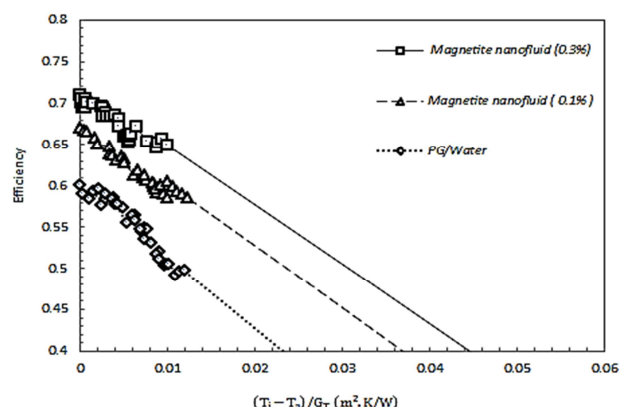
در این رابطه نیز،  $F_R$  ضریب اخذ کالکتور،  $\alpha\tau$  بازدهی نوری و  $U_L$  ضریب افت حرارت کالکتور می‌باشند. با رسم نمودار بازدهی برحسب پارامتر کاهش دما  $(T_i - T_a)/G_t$  یک خط راست به دست می‌آید، که محل برخورد خط با نمودار عمودی پارامتر  $F_R(\tau\alpha)$  یا پارامتر انرژی دریافتی<sup>2</sup>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

#### 5- بحث و نتیجه‌گیری

"اشکال 3 الی 5" نشان‌دهنده 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

<sup>1</sup> Optical efficiency

<sup>2</sup> Absorbed Energy Parameter

<sup>3</sup> Removed Energy Parameter

- [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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>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<sub>2</sub>/EG-water nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 65, pp. 71-75, 2015.
- [5] T. Yousefi, F. Veysi, E. Shojaeizadeh, S. Zinadini, An experimental investigation on the effect of MWCNT-H<sub>2</sub>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. Hedayatzadeh, M. Kahani, Experimental study on thermal efficiency of flat plate solar collector using tio<sup>2</sup>/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.

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 5.1 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، بازدهی افزایش بیشتری نشان می‌دهد. همچنین از نتایج مشخص می‌گردد که بازدهی حرارتی نانوسیال با درصد حجمی 0.1 و 0.3 درصد جرمی برای دبی‌های کم، تقریباً 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.