

Amirkabir Journal of Mechanical Engineering

Amirkabir J. Mech. Eng., 53(Special Issue 5) (2021) 803-806 DOI:10.22060/mej.2020.17872.6684

Experimental investigation on MWCNTs-COOH nano fluid on 3D oscillating heat pipe

M. Khosrodad, H. R. Goshayeshi, A. R. Alizadeh*, H. Mohseni Fadardi, K. Bashirnezhad

Department of Mechanical Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad university, Mashhad, Iran

ABSTRACT: The oscillating heat pipe is a new technology that, despite its simple structure, has a very high heat transfer rate. Due to boiling and condensation during operation, the oscillating heat pipe is capable of transferring heat at low temperature without the need for external power, high heat transfer and small volume. The thermal conductivity equivalent to an oscillating heat pipe can reach several hundred times the best conductors such as copper. The present study investigated thermal performance of nano fluid carboxylic multi walled carbon nano tubes (MWCNTs-COOH) with 0.1 wt% based on water with corrugated evaporator in newly designed three dimensional oscillating heat pipe. The results show that using this nano fluid, the thermal resistance has been reduced up to 13%. Also, in filling ratio of 60% compared to 50%, temperature difference between evaporator and condenser has been reduced 8 degree centigrade and the thermal resistance has been reduced up to 6.4%. Corrugating the evaporator leads to mixing and turbulence in the pipe and increases heat transfer. The results showed that thermal resistance decreased with increasing thermal load. It also reduces thermal resistance by reducing the temperature difference between the evaporator and the condenser.

Review History:

Received: Feb. 16, 2020 Revised: Aug.15, 2020 Accepted: Oct. 25, 2020 Available Online: Nov. 27, 2020

Keywords:

3D Oscillating heat pipe Nano fluid MWCNTs-COOH Corrugated.

1-Introduction

Oscillating Heat Pipes (OHPs) are a new generation of heat pipes consisting of a narrow tube with U-shaped bends. First, the air inside it is evacuated and then it is filled by an operating fluid with a suitable filling ratio, the optimal value of which is between 40-60%. Ghashayeshi et al. [1] investigated the effect of magnetic field on the heat transfer rate of an OHP with Fe2O3/Kerosene nanofluid. The results showed an improvement in the thermal performance of the device under the magnetic field. They also found that OHPs made of copper had better thermal performance, especially in higher heat fluxes and in the presence of a magnetic field than glass pipes [2]. Qu et al. [3] reviewed experimental studies on multilayer three-dimensional OHP. Their results showed that the 3D-OHP had significant advantages over the 2-dimensional OHP due to its multilayer structure. Yu et al. [4] investigated the thermal performance of an OHP with hydroxylated MWNTs nanofluid at various concentration. Experimental results showed that the MWNTs nanofluid PHP exhibits the better start-up characteristics than water as the concentration is below 0.3 wt%. Mobadersani et al. [5], by numerical solution, concluded that the performance of the OHP was reduced by applying a uniform magnetic field.

In this study, a new design of a 3D-OHP made of copper pipe and experiments with water working fluid and nanofluid of carboxylic multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs-COOH) with a concentration of 0.1 wt% and temperature, thermal resistance and heat transfer coefficient is measured and investigated.

2- Experimental Setup and Test Procedure

This OHP is closed and three-dimensional with 11 bends in the evaporator part with a new design. The length of each part of the evaporator, adiabatic and condenser is 100 mm, the diameter of the device is 300 mm and the inner diameter of each bend is 40 mm. This device is made of copper pipe with internal and external diameters of 3.4 and 4.8 mm, respectively. Fig. 1 shows the device and its components along with the measuring equipment.



Fig. 1. The new proposed cycle for the power and natural gas production

*Corresponding author's email: aalizadeh@mshdiau.ac.ir

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.

An electric plate heater is used to apply heat to the evaporator. The evaporator is insulated from the outside and inside to reduce heat loss. A fan with a wind speed of 8 m/s was used to cool the condenser. Different heat loads are applied by changing the voltage by Varyak device (0-250 Volts). The thermal power applied to the evaporator is calculated from Eq. (1).

$$q = V I \tag{1}$$

where V is the voltage applied to the heater and I is the current intensity, which is measured by the digital multimeter. To prepare nanofluids, the MWCNTs Nano particles were added in to the distilled water as the base fluid. In order to stabilize and homogenize the nanofluid, the ultrasonic bath model 5510 BRANSON has been used. After completing the experiments and in order to investigate the effect of curvature on the thermal performance of the 3D-OHP, 4 grooves were created on the evaporator tubes at intervals of 10 mm from each other.

First, the device was evacuated by vacuum pump for 20 minutes at 0.15 bar absolute pressure. Then the vacuum pump path was closed and the injection path opened. Experiments were performed with two Filling Ratios (FR) of 50 and 60% with water and nanofluids with a concentration of 0.1 wt%. Experiments were performed from an input power of 30-300 Watts with an increase of 30 Watts in 15 minutes and the results were recorded. To measure and record the temperature in the evaporator and condenser sections, a BTM-4208SD data logger and a K-type digital thermometer with six temperature sensors are used. Temperatures are recorded in memory every 5 seconds. The average evaporator and condenser temperatures are obtained from Eqs. (2) and (3), respectively. The thermal resistance of the device is calculated according to Eq. (4).

$$T_e = \frac{T_{e1} + T_{e2} + T_{e3}}{3} \tag{2}$$

$$T_c = \frac{T_{c1} + T_{c2} + T_{c3}}{3} \tag{3}$$

$$R = \frac{T_e - T_c}{a} \tag{4}$$

where R is the thermal resistance in K/W, T_e the average temperature of the evaporator, T_e the average temperature of the condenser and q is the rate of heat input in W.

Uncertainty is calculated according to the Holman method. Voltage and current uncertainty is ± 0.4 V and ± 0.015 A, respectively, and temperature measurement uncertainty in the thermometer is ± 1 K. The maximum error in measuring the input heat flux is less than 5.7%. Also, the thermal resistance uncertainty is 3.29%.

3- Results and Discussion

The average evaporator and condenser temperatures are plotted over time in Fig. 2. (a) With increasing heat capacity, water after about 120 minutes at $68 \cdot c$, the first signs of temperature fluctuations are observed. (b) With nanofluids in FR 50%, the onset of oscillation occurs after about 90

minutes at a temperature of $63 \cdot c$. (c) At a filling ratio of 60%, the temperature fluctuation occurs 60 minutes after the start of heating at $52 \cdot c$. (d) In a grooved evaporator with a filling ratio of 60%, the oscillations start 40 minutes after heating $47 \cdot c$.

Fig. 3 shows the thermal resistance of the device in terms of input power. According to this figure, the thermal resistance of the device with nanofluid has decreased by 13.1% in the filling ratio of 50% compared to water. The thermal resistance of the device with nanofluid with 60% filling ratio has decreased by 6.4% compared to nanofluid with 50% filling ratio. Therefore, increasing the filling ratio reduces the thermal resistance. The thermal resistance at the



Fig. 2. Evaporator and condenser temperatures over time for operating fluid (a) water with FR 50%, (b) nanofluid with FR 50%, (c) nanofluid with FR 60%, (d) nanofluid with FR 60% with Grooved evaporator tubes



Fig. 3. Thermal resistance in terms of heat output for the operating fluid: water and nanofluid with 50% filling ratio, nanofluid with 50% and 60% filling ratio, nanofluid with grooved and non-grooved evaporator with 60% filling ratio

filling ratio of 60% in the grooved evaporator decreased by 5.3% compared to the non-grooved evaporator and it can be concluded that the grooving of the operator disturbed the flow inside the pipe and increased the heat transfer rate.

4- Conclusions

In this study, water-working fluid with MWCNTs nanofluid with a concentration of 0.1 wt% with a filling ratio of 50 and 60% has been investigated. Normally the best thermal

performance of an oscillating heat pipe is in the filling ratio of 40-70%. In this experimental study, it was found that the 60% filling ratio had a better performance. Thermal performance is also improved by grooving the evaporator.

References

- [1] H. Goshayeshi, M. Goodarzi, M. Dahari, Effect of magnetic field on the heat transfer rate of kerosene/Fe2O3 nanofluid in a copper oscillating heat pipe, Experimental Thermal and Fluid Science, 68 (2015) 663-668.
- [2] H.R. Goshayeshi, I. Chaer, Comparison of copper and glass oscillating heat pipes with Fe2O3 under magnetic field, International Journal of Low-Carbon Technologies, 11(4) (2016) 455-459.
- [3] J. Qu, J. Zhao, Z. Rao, Experimental investigation on thermal performance of multi-layers three-dimensional oscillating heat pipes, International Journal of Heat and Mass Transfer, 115 (2017) 810-819.
- [4] M. Xing, J. Yu, R. Wang, Performance of a vertical closed pulsating heat pipe with hydroxylated MWNTs nanofluid, International Journal of Heat and Mass Transfer, 112 (2017) 81-88.
- [5] M. Farrokh, T. Goodarz, J. Samad, N. Javid, H. Amin, Analysis of Entropy Generation of a Magneto-Hydrodynamic Flow Through the Operation of an Unlooped Pulsating Heat Pipe, Journal of Heat Transfer, 140(8) (2018)

HOW TO CITE THIS ARTICLE

M. Khosrodad, H. R. Goshayeshi, A. R. Alizadeh , H. Mohseni Fadardi, K. Bashirnezhad,. Experimental investigation on MWCNTs-COOH nano fluid on 3D oscillating heat pipe ,*Amirkabir J. Mech. Eng.*, *53(Special Issue 5) (2021) 803-806*



DOI: 10.22060/mej.2020.17872.6684

This page intentionally left blank

نشريه مهندسي مكانيك اميركبير

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۳، شماره ویژه ۵، سال ۱۴۰۰، صفحات ۳۴۰۱ تا ۳۴۱۶ DOI: 10.22060/mej.2020.17872.6684

بررسی آزمایشگاهی تاثیر نانوسیال کربوکسیل نانولولههای کربنی چند جداره در لوله حرارتی نوسانی سه بعدی

مسعود خسروداد، حميد رضا گشايشي، عليرضا عليزاده جاجرم ، حسين محسني فدردي، كاظم بشيرنژاد

دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

تاریخچه داوری: دریافت: ۲۷ /۱۱/ ۱۳۹۸ بازنگری: ۲۵ /۵ /۱۳۹۹ پذیرش: ۴ /۸ /۱۳۹۹ ارائه آنلاین: ۷ /۹/ /۱۳۹۹

کلمات کلیدی: لوله حرارتی نوسانی سه بعدی نانوسیال کربوکسیل نانولوله کربنی چندجداره شیاردار

خلاصه:لوله حرارتی نوسانی، فناوری نوینی است که با وجود ساختاری ساده، نرخ انتقال گرمای بسیار بالایی دارد. به دلیل وجود جوشش و چگالش در حین کار کرد، لوله حرارتی نوسانی قابلیت انتقال گرما با اختلاف دمای کم، بدون نیاز به توان خارجی، انتقال گرمای بالا و حجم کوچک را دارا است. هدایت حرارتی معادل لوله حرارتی نوسانی میتواند تا چند صد برابر بهترین رساناها مانند مس برسد. در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی اثر نانوسیال کربوکسیل نانو لولههای کربنی چندجداره با سیال پایهٔ آب با کسر حجمی ۱/۰ درصد با اواپراتوری شیاردار در لوله حرارتی نوسانی سه بعدی با ساختاری مهمچنین در نسبت پرشدگی ۶۰% در مقایسه با ۱۰ستاده از این نانوسیال، مقاومت حرارتی حدود ۱۳% کاهش مییابد. و مقاومت حرارتی نیز ۶/۶%، کمتر شده است. شیاردار کردن اواپراتور باعث اختلاط و آشفتگی جریان درون لوله و افزایش انتقال حرارت شده است. نتایج نشان داد با افزایش با حرارتی ورودی، مقاومت حرارتی کاهش مییابد. همچنین با کاهش یافته افزایش انتقال کرارت شده است. نتایج نشان داد با افزایش با می کندانسور و اواپراتور ۸ درجه سانتیگراد کاهش یافته

۱– مقدمه

پیشرفت فناوریهای الکترونیکی و افزایش گرمای تولیدشده در محصولات الکترونیکی، پژوهشگران را بر آن داشته تا به روشهای خنککاری به وسیلهی مایعات مناسب تمرکز کنند. نیاز به مایعی با خواص حرارتی بالا موجب شد پژوهشگران به سمت نانوسیالات گرایش پیدا کنند. نانوسیالات حاوی نانوذرات پراکنده در یک سیال پایهاند که افزودن درصد کمی از نانوذرات باعث افزایش چشم گیر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال نسبت به سیال پایه میشود [۱–۴]. در این میان نانولولههای کربنی به علت دارابودن ضریب هدایت گرمایی بسیار بالا نسبت به نانوذرات فلزی اهمیت بیشتری پیدا کردهاند. دو شکل مختلف نانولوله کربنی شناخته شده است، نانو لولههای چندجداره^۱ و تکجداره^۲ که به ترتیب در سال ۱۹۹۱ و ۱۹۹۳ کشف شدند. نانوسیالات در مبدلهای حرارتی مختلفی به کار رفتهاند از جمله در

لولههای حرارتی هستند که مانند لوله حرارتی معمولی، از سه بخش اواپراتور، کندانسور و آدیاباتیک تشکیل شدهاند [۵]. طراحی و ساخت لوله حرارتی نوسانی به صورت مهندسی توسط هیستارو آکاچی [۵] در سال ۱۹۹۰ انجام شد. لوله حرارتی نوسانی یک مبدل حرارتی است که با تغییر فاز نوسانی یک سیال عامل کار می کند. لوله حرارتی نوسانی شامل یک رشته از تکههای مایع و حبابهای بخار[†] است که در مسیر مارپیچی لولههای مویین یا کانالهای بههمپیوسته مرتب شده اند [۶]. از موارد کاربرد آن میتوان به خنک کننده میکروچیپها و واحدهای پردازش مرکزی^۵ و گرافیکی⁴، باطریهای لیتیوم-یون، تجهیزات هواپیما و ماهوارهای اشاره نمود. این لولهها از یک لوله باریک با تعدادی خم U شکل ساخته شدهاند که توسط یک سیال

لولههای حرارتی نوسانی". لولههای حرارتی نوسانی نسل جدیدی از

- 3 Oscillating Heat Pipe (OHP)
- 4 Liquid slugs and vapor plugs
- 5 Central Processing Unit (CPU)
- 6 Graphic Processing Unit (GPU)

- Multi Walled Carbon Nanotubes (MWCNTs)
- 2 Single Walled Carbon Nanotubes (SWCNTs)

* نویسنده عهدهدار مکاتبات: aalizadeh@mshdiau.ac.ir

Creative Commons License) حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) دین فرمائید.

سیستم خلا تخلیه می گردد. مقدار بهینهٔ نسبت پرشدگی در لولههای گرمایی نوسانی بین %۶۰–۴۰% است [۷].

یارامترهای مختلفی بر کارکرد لوله حرارتی نوسانی تاثیرگذارند از قبیل: قطر داخلی لوله، شار گرمایی، نسبت پرشدگی، تعداد دورهای لوله، گرانش، خواص ترموفیزیکی و غلظت سیال عامل، جنس لوله و ... [۶]. در دهه اخیر تلاش های بسیاری جهت بررسی عملکرد لولههای گرمایی نوسانی تحت شرایط مختلف انجام شده است. سوهل ا و همکاران [۸] به صورت تجربی نشان دادند که با افزایش غلظت حجمی نانوسیال Al₂O₃ / H₂O از ۱٫۰% به ۲۵٫۰%، عملکرد حرارتی در همهی دبیها افزایش یافته است. نظری و همکاران [۹]، یژوهشی تجربی روی خنککننده CPU با استفاده از آب به عنوان سیال پایه و نانو لولههای کربنی و نانوسیال آلومینیوم انجام دادند. با مقایسه نتایج آزمایشها با آب دریافتند که در کسر جرمی ۲۵ ۰% و ۵۰٬۵۰%، ضریب انتقال گرمای جابجایی به ترتیب ۱۳% و ۶% افزایش می یابد. دیزاجی و همکاران [۱۰]، چندین لوله شیاردار محدب و مقعر را در یک لوله دوتایی مبدل گرما مقایسه کردند. آنها دریافتند که مبدل حرارتی با لوله بیرونی شیاردار مقعر و لوله درونی شیاردار محدب بهترین کارایی انتقال گرما را دارند. ژو^۲ و همکاران [۱۱]، لوله حرارتی نوسانی تک حلقه ای با ساختار شیاردار در بخش اواپراتور، آدیاباتیک و کندانسور را به طور عددی و تجربی بررسی کردند. پژوهش آنها تحت شرایط مختلف بار حرارتی ورودی در محدودهٔ ۵ تا ۴۰ وات و نسبت پرشدگی ۳۰% تا ۶۰% انجام گرفت. آنها دریافتند لوله حرارتی نوسانی با ساختار شیاردار در بخش اواپراتور دارای بهترین کارایی در زمان راهاندازی میباشد. نتایج آنها نشان داد به دلیل استفاده از ساختار شیاردار در اواپراتور، زمان راهاندازی ۲۶٬۹۶% و مقاومت حرارتی ۳۷٬۵۷% کاهش داشته است. گشایشی و همکاران [۱۲] اثر میدان مغناطیسی را بر نرخ انتقال حرارت یک لوله حرارتی نوسانی با نانوسیال نفت Fe_2O_3 بررسی کردند. آنها یک لوله حرارتی نوسانی بسته ۳ با تعداد ۵ دور و قطر داخلی ۱٫۷۵ میلیمتر را با نسبت پرشدگی ۵۰% آزمایش کردند. نتایج بیانگر این بود که افزودن نانوذرات باعث بهبود عملکرد حرارتی دستگاه بویژه تحت اثر میدان مغناطیسی می گردد و دمای اواپراتور نیز در حضور

ميدان مغناطيسي افزايش مييابد. آنها همچنين اثر جنس لوله در حضور میدان مغناطیسی بر روی عملکرد حرارتی لوله حرارتی نوسانی را بررسی کردند. نتایج نشاندهنده این بود که لوله حرارتی نوسانی ساخته شده از جنس مس، عملکرد حرارتی بهتری بویژه در شارهای حرارتی بالاتر و در حضور میدان مغناطیسی نسبت به لوله شیشهای دارد [۱۳]. اگرچه لوله حرارتی نوسانی در زمینههای متعددی مورد استفاده قرار گرفته ولى تاكنون لوله حرارتى نوسانى سه بعدى[†] به طور گسترده به کار نرفته است. اسموت و همکاران [۱۴] چندین لوله حرارتی نوسانی سهبعدی مسطح^۵ با طرحهای هندسی مختلف ساخته و عملكرد حرارتي آن را تحت شرايط مختلف آزمايش كردند. نتایج تجربی بیانگر آن بود که لوله حرارتی نوسانی سهبعدی مسطح عملکرد بهتری نسبت به لوله حرارتی نوسانی مسطح دارد. کیو v و همکاران [۱۵]، اثر سرعت هوای خنککننده، جهت قرارگیری دستگاه و توان حرارتی روی عملکرد حرارتی لوله حرارتی نوسانی سهبعدی را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش سرعت هوای خنک کننده و کاهش زاویهی دستگاه نسبت به راستای عمود بر افق، دمای راهاندازی کاهش یافته و خشکشدگی دیرتر رخ می دهد و به طور کلی مقاومت حرارتی دستگاه با افزایش توان ورودی، کاهش می یابد. کیو^ و همکاران [۱۶]، مطالعات تجربی بر روی اثر توان حرارتی، تعداد لایهها، جهت قرار گیری دستگاه و نسبت پرشدگی در لوله حرارتی سهبعدی چندلایه و را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد، دمای راهاندازی با افزایش تعداد لایه از ۱ به ۴، کاهش می یابد اما در حالت ۵ لایه، دمای شروع بکار و نوسان بالاتر رفته است. لوله حرارتی نوسانی ۳ بعدی۴ لایه دارای پایینترین توان و دمای راهاندازی در بین لوله حرارتی نوسانی سهبعدیها از تکلایه تا پنجلایه است. همچنین آنها دریافتند که مقاومت حرارتی لوله حرارتی نوسانی سهبعدی با افزایش تعداد لایه از ۱ به ۴، کاهش می یابد اما در حالت ۵ لایه، مقاومت حرارتی افزایش یافته است. لوله حرارتی سهبعدی در مقایسه با لوله حرارتی دوبعدی، به دلیل ساختار چندلایه آن، برتریهای چشمگیری داشت. کیو و همکاران [۱۷] در سال ۲۰۱۹

- 7 Qu
- 8 Qu
- 9 Multi-layer 3D-OHP

¹ SOHEL

² Qiang Zhu

³ Closed loop Oscillating Heat Pipe (CLOHP)

⁴ Three Dimensional Oscillating Heat Pipe (3D-OHP)

^{5 3}D FP-OHP

⁶ Flat Plate Oscillating Heat Pipe (FP-OHP)

Heat out Suojtelioso Brits/Brid Heat in Evaporator Heat in

شکل ۱. شماتیک لوله حرارتی نوسانی Fig. 1. Schematic of oscillating heat pipe

توسط لوله مسی ساخته شده و آزمایشات با سیال عامل آب و نانوسیال کربوکسیل نانولولههای کربنی چندجداره با غلظت ۰٫۱% مورد بررسی قرار گرفته و خواص ترمودینامیکی همچون دما، مقاومت حرارتی و ضریب انتقال حرارت جابجایی بررسی شده است. در ادامه سیال عامل آب و نانوسیال فوقالذکر، در شرایطی که جداره بخش اواپراتور شیاردار شده است، آزمایشها تکرار شده است. نتایج حاصل از این کارها در ادامه شرح داده شده است.

۲- ساخت دستگاه

در این بخش مراحل و روش ساخت دستگاه لوله حرارتی نوسانی سهبعدی شرح داده شده است. شکل ۱ طرحواره دستگاه مورد آزمایش و نحوه عملکرد آن را نشان میدهد.

۱-۱- طراحی و ساخت دستگاه

در این آزمایش از لوله مسی با قطرهای داخلی و خارجی به ترتیب ۳٫۴ و ۴٫۸ میلیمتر برای ساخت لوله حرارتی نوسانی استفاده شده است. این لوله حرارتی از نوع بسته و سهبعدی با ۱۱ خم در قسمت اواپراتور با طرحی نو میباشد. طول هر کدام از قسمتهای اواپراتور، آدیاباتیک و کندانسور ۱۰۰ میلیمتر است. قطر دایره سهبعدی مورد

عملکرد حرارتی مواد تغییرفازدهنده کوپلشده با لوله حرارتی نوسانی سهبعدی را بررسی کردند. آنها دو دستگاه لوله حرارتی نوسانی سهبعدی سه و چهار لایه را با یک دستگاه لوله حرارتی نوسانی دوبعدی آزمایش و با هم مقایسه کردند. بر اساس نتایج بدست آمده، هر دو نوع سیستم دارای تغییرات دمایی یکسان در طی فرایند ذوب بودند. سیستم یارافین/OHP نسبت به سیستم یارافین/OHP نیاز به زمان بیشتری برای ذوب کامل در حرارت ورودی یکسان می باشد. همچنین این سیستم دارای عملکرد سرمایش بهتری است. یو^۳ و همکاران [۱۸]، عملکرد حرارتی لوله حرارتی نوسانی را با استفاده از آب خالص و نانوسیال هیدروکسیل نانولولههای کربنی چندجداره ٔ با بازه غلظت ۱-۱۰%، بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که نانوسیال، بهترین ویژگی راهاندازی را در شرایطی که غلظت آن کمتر از ۳۰% باشد، از خود نشان میدهد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که با استفاده از نانوسیال، در غلظت پایین تر، می توان عملکرد انتقال حرارت دستگاه را بهبود بخشید. هنگامی که توان حرارتی تا ۱۰۰ وات افزایش می یابد، مقاومت حرارتی نانوسیال با غلظت ۰٫۰% در مقایسه با آب خالص ۳۴% کاهش یافته است. مبادرثانی و همکاران [۱۹]، تاثیر میدان مغناطیسی یکنواخت، تولید انتروپی و انتقال حرارت را بر عملکرد یک لوله حرارتی نوسانی به صورت عددی تحلیل و آنالیز كردهاند. آنها با حل معادلات حاكم از قبيل معادله مومنتوم، جرم و انرژی به روش صریح (به جز برای معادله انرژی تکههای مایع)، به این نتیجه رسیدند که عملکرد لوله حرارتی نوسانی با اعمال میدان مغناطیسی یکنواخت کاهش مییابد. انتقال گرمای محسوس و نهان در لوله حرارتی نوسانی با افزایش قطر، بیشتر می شود، چون تکههای مایع با اندازههای بزرگتری نوسان میکنند. علاوه بر این با افزایش قطر لوله، توليد آنتروپي نيز بيشتر مي شود.

این لولهها علیرغم ساختار سادهای که دارند، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفتهاند بگونهای که مطالعات تئوری، عددی و تجربی بر روی این لولهها همچنان ادامه دارد و البته به علت پیچیدگیهای جریان و انتقال حرارت، ابعاد ناشناخته زیادی دارند. در پژوهش آزمایشگاهی حاضر، طرح جدیدی از لوله حرارتی نوسانی سهبعدی

¹ Phase Change Material (PCM)

^{2 2}D-OHP

³ Jianlin Yu

⁴ MWCNTs-OH



شکل ۲. دستگاه آزمایش و تجهیزات وابسته آن Fig. 2. Testing system and its related equipment

شده تا بیشترین تماس را با آن داشته باشد. برای به حداقل ساندن اتلاف حرارتی به محیط بیرون، پیرامون اواپراتور از سمت خارج و داخل دستگاه به طور کامل توسط پنبه نسوز به ضخامت یک اینچ عایق بندی شده است (شکل ب-۲). بخش آدیاباتیک دستگاه با هوای اطراف در ارتباط است که در مقایسه بخش آدیاباتیک دستگاه با هوای اطراف در ارتباط است که در مقایسه بخش آدیاباتیک دستگاه با هوای اطراف در ارتباط است که در مقایسه بخش آدیاباتیک دستگاه با هوای اطراف در ارتباط است که در مقایسه بخش آدیاباتیک دستگاه با هوای اطراف در ارتباط است که در مقایسه بخش آدیاباتیک دستگاه با هوای اطراف در ارتباط است که در مقایسه بخش آدیاباتیک دستگاه با هوای اطراف در ارتباط است که در مقایسه با اواپراتور که تحت توان گرمایی قرار دارد، میتوان آن را آدیاباتیک فرض یک فن تحت وزش هوا قرار دارد، میتوان آن را آدیاباتیک فرض کرد. طول این قسمت همانند بخش های اواپراتور و کندانسور، ۱۰۰

برای خنککاری دستگاه از یک فن استفاده شده که لولههای

نظر ۳۰۰ میلیمتر و قطر داخلی هر خم نیز ۴۰ میلیمتر است. شکل ۲ دستگاه مورد نظر و اجزای آن به همراه تجهیزات اندازه گیری را نشان میدهد.

این دستگاه در حقیقت شامل دو قسمت اصلی برای گرمایش و سرمایش است. بخش گرمایش از یک گرمکن الکتریکی تشکیل شده که شار حرارتی ثابتی را به دیواره لوله منتقل میکند. به منظور اعمال بار حرارتی مورد نظر به اواپراتور، از یک گرمکن الکتریکی تمام استیل صفحه ای که متناسب و هم اندازه با قالب لوله حرارتی مورد آزمایش ساخته شده و دارای حداکثر توان حرارتی ۱۳۰۰ وات با ولتاژ ۲۲۰ ولت، استفاده شده که توسط پیچ و مهره به اواپراتور متصل

Table 1. Accuracy of laboratory equipment		
واحد	دقت	ابزار
بار	• ,)	مانومتر
ولت	١	اتوترانس
درجه سانتیگراد	•,•)	ترمومتر ديجيتال
ثانيه	١	زمانسنج
ميلىمتر	١	متر
میلیمتر	۰, ۱	كوليس
آمپر	• , 1	مولتىمتر

جدول ۱. دقت تجهیزات آزمایشگاهی Fable 1. Accuracy of laboratory equipment



شکل ۳. کندانسور و محل نصب سنسورهای ترموکوپل بر روی آن Fig. 3 Condenser and place of installation of thermocouple sensors on it

در رابطه فوق، V ولتاژ اعمالی به گرمکن و I شدت جریان است که با قراردادن مولتیمتر در مسیر جریان ورودی به گرمکن اندازه گیری می گردد.

به منظور ثبت دما در بخش های اواپراتور و کندانسور، از ترمومتر دیجیتالی نوع K با شش عدد سنسور دما استفاده شده که در سه قسمت مختلف اواپراتور و سه قسمت متفاوت کندانسور (شکل ۳) به صورت تماسی به لوله حرارتی نوسانی سه بعدی متصل شده است. جهت نمایش و ثبت دماهای احساسشده توسط سنسورهای دما در جهت نمایش و ثبت دماهای احساسشده توسط سنسورهای دما در BTM جهت نمایش و ثبت دماهای احساسشده توسط سنسورهای دما در قسمتهای اواپراتور و کندانسور، از دستگاه دادهبردار مدل –BTM SD ۴۲۰۸SD استفاده شده که شش سنسور دمای مورد نظر، به این دستگاه وصل میشود. یک عدد کارت حافظه در داخل این دستگاه قرار داده میشود که قابلیت ثبت دادههای دمایی را دارد. در این آزمایش، دادهبردار طوری تنظیم شد تا دماها را هر پنج ثانیه یکبار در حافظه ثبت نماید.

دقت تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. کندانسور را در معرض جریان هوا با سرعت وزش ۸ متر بر ثانیه قرار داده است. برای جلوگیری از اتلاف حرارت جریان هوای اجباری، قسمت کندانسور به صورت کامل در داخل یک کانال عایق قرار داده شده است (شکل ج-۲). شکل ۲ شماتیک کلی دستگاه تحت آزمایش همراه با دیگر تجهیزات به کار برده شده نشان میدهد.

به منظور وکیومنمودن دستگاه قبل از تزریق سیال، لوله حرارتی نوسانی توسط یک پمپ خلا با توان ۱۶ اسب بخار و خلا نهایی ۱۰ پاسکال به مدت ۲۰ دقیقه برای هر آزمایش تحت مکش قرار گرفته است. فشار خلا در پایان مکش حدود ۰۹ بار نشان داده شد.

اعمال بارهای حرارتی مختلف به بخش اواپراتور لوله حرارتی نوسانی، با تغییر ولتاژ توسط دستگاه واریاک انجام می گردد. محدودهی تغییرات ولتاژ این دستگاه از صفر تا ۲۵۰ ولت است. توان حرارتی اعمال شده به بخش اواپراتور که به صورت گرمای تولیدشده در گرمکن به لوله حرارتی نوسانی منتقل می شود، از رابطه ۱ محاسبه می شود.

 $q = VI \tag{1}$

مشخصات	خاصيت	
٪. ۹۵	خلوص	
۳۰–۲۰ نانومتر	قطر نانوذرات	
۱۰–۵ میکرومتر	طول نانوذرات	
سياه	رنگ	
VCN Materials	شرکت سازنده	

جدول ۲. خواص فیزیکی نانوذرات هیدروکسیل نانولولههای کربنی چندجداره Table 2. Physical properties of hydroxyl nanoparticles of multi-walled carbon nanotubes



شکل ۴. تصویر میکروسکوپ الکترونی و ظرف محتوی نانوذره Fig. 4. Electron microscope image and container containing nanoparticles

برای انجام آزمایشات از ترکیب آب مقطر به عنوان سیال پایه و هیدروکسیل نانو لولههای کربنی چندجداره^۱ برای ساخت نانوسیال استفاده شده که مشخصات آن در جدول ۲ و تصاویر آن در شکل ۴ آورده شده است.

برای پایداری نانوسیال و جلوگیری از تهنشینی، به جای نانولولههای کربنی چندجداره از کربوکسیل نانو لولههای کربنی چندجداره با غلظت ۰٫۱۰% که از این پس به اختصار نانوسیال مینامیم، استفاده شده است. پیش از هر آزمایش، پس از چند تکان شدید، نانوسیال به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه حمام التراسونیک با توان ۸۰۰ وات، فرکانس ۳۰ کیلو هرتز قرار داده شد. پس از گذشت ۳ ساعت، نانوسیال همچنان پایدار بود و اثری از تهنشینی دیده نشد.

به منظور پایدارسازی و همگن کردن نانوسیال از حمام التراسونیک

مدل ۵۵۱۰ ساخت شرکت برانسون^۲ استفاده شده است. به منظور بررسی اثر انحنا بر عملکرد گرمایی دستگاه، بر روی ۱۱ شاخه لوله در قسمت اواپراتور تعداد ۴ شیار به فواصل ۱۰ میلیمتر از یکدیگر بر روی هر لوله مطابق شکل ۵ ایجاد شد تا لوله شیاردار شود. شیاردارکردن لوله، پس از اتمام آزمایشات بر روی لوله بدون شیار، بر روی آن ایجاد شده است.

۱- ۲- روش انجام آزمایش و تکرارپذیری

پس از تهیه نانوسیالات و طراحی و ساخت دستگاه و نمونههای آزمایش، برای بررسی تاثیر پارامترهای مختلف و نصب ترموکوپلها در دو بخش کندانسور و اواپراتور، دستگاه برای وکیوم آماده شد. پیش از مکش دستگاه، یک شیر سه راهه در ورودی دستگاه نصب شد که یک سمت آن به دستگاه وصل شده و سمت دیگر آن به پمپ خلاء

1 MWCNTs-COOH

2 BRANSON



شکل ۵. برشی از لوله شیاردارشده اواپراتور به همراه شماتیک لوله برشخورده Fig. 5. A section of the evaporator grooved tube with a schematic of the cut tube

ترموکوپل از نوع K نصب شد. این ترموکوپلها به دستگاه دادهبردار وصل شده است و دادهها هر ۵ ثانیه یک بار در حافظهٔ دستگاه ثبت شدهاند. طبق رابطههای (۲) و (۳) به ترتیب میانگین دمای اواپراتور و کندانسور بدست میآید [۱۱].

$$T_e = \frac{T_{e1} + T_{e2} + T_{e3}}{3}$$
(Y)

$$T_c = \frac{T_{c1} + T_{c2} + T_{c3}}{3} \tag{(7)}$$

مقاومت حرارتی دستگاه طبق رابطه (۴) محاسبه می گردد [۱۱].

$$R = \frac{T_e - T_c}{q} \tag{(f)}$$

که در آن R مقاومت گرمایی بر حسب K/W ، T_e دمای میانگین اواپراتور، T_c دمای میانگین کندانسور و q مقدار گرمای ورودی بر حسب W است. یکی از اهداف پژوهشها محاسبه میزان ضریب انتقال حرارت جابجایی و یافتن روشهایی برای افزایش آن است. این کمیت مطابق رابطهی

وصل شده است. خط سوم آن به سرنگ تزریق حاوی نانوسیال وصل گردید. سیس به وسیله یمپ خلاء دستگاه به مدت ۲۰ دقیقه با فشار ۸۵ بار تحت مکش قرار داده شد. آنگاه مسیر پمپ خلاء بسته و مسیر تزریق باز شد. آزمایشات با دو نسبت پرشدگی ۵۰ و ۶۰% با سیالات آب و نانوسیال با غلظت ۰٫۰% انجام شد. ولتاژ از اتوترانس و جریان از آمیرمتر خوانده شده و از حاصلضرب آنها مقدار حرارت تولیدشده در گرمکن بدست میآید. با توجه به عایق بودن اواپراتور و با چشمپوشی از خطاهای آزمایشگاهی همهی حرارت تولیدشده در گرمکن به اواپراتور منتقل میشود. آزمایشها از توان ورودی ۳۰ وات تا ۳۰۰ وات با افزایش ۳۰ وات در هر نوبت با گام زمانی ۱۵ دقیقه انجام شده است. ابتدا چند بار آزمایش در گامهای زمانی متفاوت انجام شد که معلوم گردید که وقتی شار حرارتی افزایش داده می شود، بعد از حدود ۱۵ دقیقه، نشانگر دما (دیتالاگر) عدد ثبتی را در همان شار حرارتی به صورت ثابت نشان میدهد. در حقیقت تغییرات کمتر از ۱. •± درجه سانتیگراد در دما در مدت معین به عنوان حالت پایدار در نظر گرفته شده است. پس از آن توان ورودی یک گام به اندازه ۳۰ وات افزایش داده می شود تا عملکرد حرارتی دستگاه ارزیابی گردد. این فرایند برای توانهای ۳۰ وات تا ۳۰۰ وات تکرار گردیده و نتایج آن در این تحقیق آورده شده است

برای ثبت دما در هر یک از بخشهای کندانسور و اواپراتور سه

(۵) محاسبه می شود.

(۶)

$$=\sqrt{\left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2} + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 \tag{A}$$

$$\frac{\Delta h}{h} = \sqrt{\left(\frac{\Delta q}{q}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta T)}{\Delta T}\right)^2} \tag{9}$$

 Δq

معادله زیر نیز برای محاسبه حداکثر عدم قطعیت مقاومت حرارتی استفاده شده است:

$$\frac{\Delta R}{R} = \sqrt{\left(\frac{\Delta Q}{Q}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta T)}{\Delta T}\right)^2} \tag{(1)}$$

با توجه به اینکه در آزمایشات برای اندازه گیری ولتاژ و جریان الکتریکی از مولتیمتر دیجیتال استفاده شده، بنابراین از اطلاعات موجود در کتابچه راهنمای آن برای محاسبه عدم قطعیت اسفاده گردید. عدم قطعیت ولتاژ و جریان به ترتیب برابر با % / 1 + eمیباشد. همچنین عدم قطعیت اندازه گیری دما در ترمومتر دیجیتالی K ± میباشد.

در شارهای حرارتی کم، بیشترین خطا در اندازه گیری شار حرارت ورودی کمتر از ۵٫۷% است. با افزایش شار حرارت ورودی، میزان خطا تا ۲٫۴% کاهش مییابد. بنابراین میتوان نتیجه گرفت که مقدار اندازه گیری شده قابل اطمینان میباشد. همچنین عدم قطعیت در ضریب انتقال حرارت و مقاومت حرارتی به ترتیب ۱٫۴% و ۲۹٫۳% میباشند.

۴- نتایج و بحث

۱- ۳- تحلیل شکلهای دماهای ثبتشده بر حسب زمان پس از تزریق سیال عامل، توان گرمایی به اواپراتور را از ۳۰ وات شروع کرده و هر ۱۵ دقیقه به اندازه ۳۰ وات افزایش داده شده است. برای هر آزمایش، دمای قسمت اواپراتور و کندانسور توسط دادهبردار بوسیله تعدادی حسگر دما که به لوله حرارتی نوسانی سهبعدی متصل هستند، ثبت گردیده و پس از میانگین گیری دمای اواپراتور و کندانسور، ترسیم آنها مطابق شکل ۶ انجام شد. در این شکلها،

$$h = \frac{q}{A \cdot \Delta T} \tag{(a)}$$

در این رابطه q میزان انتقال حرارت بر حسب W، A سطح تبادل حرارت بر حسب $^{\rm V}$ میزان انتقال حرارت بر حسب $^{\rm T}$ و ΔT اختلاف دمای بین اواپراتور و کندانسور بر حسب K است. مقدار A از رابطهی (۶) بدست می آید.

$$A = n \pi D L$$

که n تعداد دور لوله، D قطر لوله و L طول اواپراتور است. دستگاه بعد از هر بار آزمایش تا رسیدن به شرایط عادی در محیط آزمایشگاه، متوقف میگردید. سپس دستگاه برای تکرار آزمایش آماده میگردید. نتایج آزمایشات اختلاف چندانی با یکدیگر نداشتند. تکرارپذیری میتواند به این واقعیت منجر شود که حرکات تصادفی نانوذرات تحت تاثیر نیروی شناوری در سیال اصلی میتواند یک نانو سیال یکنواخت تولید کنند بعد از اینکه نانوذرات ثابت نگه داشته شوند برای مدت طولانی. نتایج آزمایش میتواند به خوبی برای نانو سیالی که به صورت یکنواخت دیسپرس شده تکرار شود.

۳- صحت دادهها و عدم قطعیت

مطالعات تجربی بدون خطا نیستند. به طور کلی، این خطاها باعث ایجاد تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر مشاهده شده می گردد. بنابراین ارزیابی خطاهای اصلی مهم است. براساس روش هولمن [۲۰, [۲۱]، توان ورودی از اختلاف ولتاژ بدست آمد. همچنین شار حرارتی و جریان بر مبنای مساحت اواپراتور و توان ورودی محاسبه شد. ضریب انتقال حرارت متوسط به صورت زیر محاسبه می شود:

$$h = \frac{q}{\Delta T} = \frac{Q}{A\,\Delta T} \tag{Y}$$

عدم قطعیت ضریب انتقال حرارت و شار حرارتی به صورت زیر محاسبه می *گ*ردد:



شکل ۶. دماهای اواپراتور و کندانسور بر حسب زمان برای سیال عامل (الف) آب با نسبت پرشدگی ٪۵۰، (ب) نانوسیال با نسبت پرشدگی ٪۵۰، (ج) نانوسیال با نسبت پرشدگی ٪۶۰، (د) نانوسیال با نسبت پرشدگی ٪۶۰ با لولههای اواپراتور شیاردار

Fig. 6. Evaporator and condenser temperatures over time for operating fluid (a) water with 50% filling ratio, (b) nanofluid with 50% filling ratio, (c) nanofluid with 60% filling ratio, (d) nanofluid with 60% filling ratio with Grooved evaporator tubes

دماهای میانگین اواپراتور (_c) و کندانسور (T) برحسب زمان ترسیم شده است. مطابق این شکل؛ (الف) با افزایش توان گرمایی، آب (با نسبت پرشدگی ۵۰%) گرم شده و پس از حدود ۲ ساعت در دمای ۶۸°C، اولین نشانههای نوسان دما مشاهده می شود. ۳ ساعت پس از زمان شروع آزمایش، نوسان در دمای ^oC، همچنان ادامه دارد. (ب) با نانوسیال با نسبت پرشدگی ۵۰%، شروع نوسان پس از گذشت حدود یک ساعت و ۳۰ دقیقه و در دمای ۶۳°C رخ میدهد. بنابراین نسبت به آب با نسبت پرشدگی ۵۰%، نوسانات ۳۰ دقیقه زودتر و ۵°C پایین تر شروع شده است. پس از گذشت سه ساعت، نوسان در دمای ۷۶°C همچنان ادامه دارد. (ج) در آزمایش با نانوسیال با نسبت پرشدگی ۶۰%، نوسان دما یک ساعت پس از شروع گرمادهی و در دمای ۵۲°C اتفاق می افتد که در مقایسه با نانوسیال با نسبت پرشدگی ۵۰%، ۳۰ دقیقه زودتر و ۲°۱۱ پایینتر شروع به نوسان کرده است و در مقایسه آب با نانوسیال با نسبت پرشدگی ۵۰%، اختلاف چشمگیری از خود نشان داده است. ۳ ساعت پس از شروع آزمایش، نوسان در دمای ۲۵°۷۲ همچنان ادامه دارد. (د) دمای اواپراتور و کندانسور بر حسب زمان برای نانوسیال با نسبت پرشدگی ۶۰% است با این تفاوت که بخش اواپراتور، شیاردار شده است (شکل ۵). شعاع شیارها ۰/۶ میلیمتر و روی هر شاخه ۴ شیار به فاصله یک سانتیمتر از هم اجرا شده است. از شکل دیده می شود که نوسانات ۴۰ دقیقه پس از گرمادهی و در دمای ۴۷°۲ شروع شده است که در مقایسه با حالت قبل، ۲۰ دقیقه زودتر و ۵°C پایین تر، نوسانات شروع شده است. حدود ۳ ساعت پس از شروع آزمایش نوسان در دمای ۶۸°C همچنان ادامه دارد.

۱- ۴- تحلیل دما بر حسب توان ورودی

در شکل ۲-الف میانگین دمای اواپراتور و کندانسور در حالتهایی که از سیال عامل آب و نانوسیال با نسبت پرشدگی ۵۰% استفاده شده باشد، در توانهای گرمایی مختلف رسم شده است. همانطور که دیده میشود وقتی از نانوسیال استفاده میشود دمای اواپراتور و کندانسور (در توان ورودی ۳۰۰ وات) کاهش قابل توجهی در حدود ۱۴°C داشتهاند. این کاهش دما طبق رابطه انتقال حرارت جابجایی یعنی رابطه (۵) قابل تحلیل است. به علت افزایش ضریب انتقال حرارت به علت استفاده از نانوسیال، طبعاً باید اختلاف دما کاهش یابد

تا میزان گرما مقدار ثبات باقی بماند. شکل ۷-ب مقایسه نانوسیال را در دو نسبت پرشدگی ۵۰% و ۶۰% نشان میدهد. با افزایش نسبت پرشدگی از ۵۰% به ۶۰%، دمای اواپراتور و کندانسور حدود ۲°۸ کاهش مییابد. شکل ۷-ج، مقایسه دمای اواپراتور و کندانسور را با نانوسیال با نسبت پرشدگی ۶۰% در دو حالت اواپراتور بدون شیار و با شیار، نشان میدهد. شیاردار کردن اواپراتور موجب کاهش دماهای اواپراتور و کندانسور می گردد. با مقایسه همه حالتهای فوق میتوان گفت دمای اواپراتور و کندانسور در حالت استفاده از نانوسیال با نسبت پرشدگی ۶۰% و اواپراتور شیاردار، از همه حالتها پایین تر است. همانطور که شکلها نشان میدهند افزودن نانوذرات به دلیل ضریب مدایت حرارتی بالای آن باعث میشود نانوسیال در فشار پایین تری نسبت به سیال آب به جوش آید و شروع به نوسان کند لذا دمای کارکرد دستگاه پایین تر میآید. همچنین شیاردارکردن اواپراتور باعث

۱– ۵– بحث درباره تلفات

اگرچه در این تحقیق با استفاده از پنبه نسوز به ضخامت یک اینچ پیرامون اواپراتور از سمت داخل و خارج به طور کامل عایق شده است و قسمت كندانسور نيز توسط كانال از بقيه قسمتها مجزا شده تا هوای ورودی توسط فن به طور کامل روی لولههای کندانسور بدمد، اما تلفات حرارتی به محیط میتواند روی توزیع دما تا حدودی موثر باشد. برای بررسی دقیقتر توزیع دمای لوله حرارتی نوسانی و تعیین اختلاف دمای بین دو نقطه متوالی، نیاز به استفاده از دماسنجهای بيشتر مىباشد. اما با توجه به محدوديت تعداد دماسنجها، انجام اين موضوع مقدور نبوده است. به عبارت دیگر چنانچه از تعداد بیشتری دماسنج به ویژه برای قسمت میانی دستگاه (بخش آدیاباتیک که اواپراتور و کندانسور را از یکدیگر تفکیک کرده) استفاده می گردید، توزیع دمای دقیقتری حاصل میشد. اما با این وجود، چون شرایط انجام آزمایش و نحوه عایق کاری در تمام حالتهای آزمایش، ثابت و مشابه بکدیگر بودهاند و تغییری در ساختار دستگاه صورت نگرفته، بنابراین تمام حالتها از شرایط یکسان آزمایشگاهی برخوردار بوده و دادههای حاصل شده در مقایسه با یکدیگر قابل قبول هستند و خدشهای بر آن وارد نیست.







شکل ۷. دماهای اواپراتور و کندانسور بر حسب توان گرمایی برای سیال عامل (الف) آب و نانوسیال با نسبت پرشدگی ٪۵۰، (ب) نانوسیال با نسبت پرشدگی ٪۵۰ و ٪۶۰، (ج) نانوسیال با اواپراتور شیاردار و بدون شیار با نسبت پرشدگی ٪۶۰

Fig. 7. Evaporator and condenser temperatures in terms of heat output for operating fluid (a) water and nanofluid with 50% filling ratio, (b) nanofluid with 50% and 60% filling ratio, (c) nanofluid with grooved and non-grooved evaporator % with filling ratio 60

۱- ۶- تحلیل مقاومت حرارتی

برای بررسی عملکرد حرارتی لوله حرارتی نوسانی در حالات مختلف باید مقاومت حرارتی آنها را بررسی نمود. مقاومت حرارتی طبق رابطه (۴) بدست میآید. در شکل ۸–الف، مقاومت حرارتی دستگاه بر حسب توان ورودی برای سیال آب و نانو سیال در نسبت پرشدگی ۵۰%، نشان داده شده است. مطابق این شکل مقاومت حرارتی دستگاه با نانوسیال در مقایسه با آب ۱۳٫۱ کاهش داشته است. پرواضح است که کاهش مقاومت حرارتی به معنای افزایش نرخ انتقال حرارت میباشد. مقاومت حرارتی دستگاه با نانوسیال با نسبت پرشدگی ۶۰% در مقایسه با نانوسیال با نسبت پرشدگی ۵۰% نیز مطابق آنچه که افزایش نسبت پرشدگی موجب کاهش مقاومت حرارتی می گردد. افزایش نسبت پرشدگی موجب کاهش مقاومت حرارتی می گردد. افزایش نسبت پرشدگی به معنی افزایش میزان نانوسیال میباشد. افزایش مقاومت حرارتی و در نتیجه افزایش میزان نانوسیال می باشد. کاهش مقاومت حرارتی و در نتیجه افزایش عملکرد حرارتی دستگاه گردد.

مقاومت حرارتی نانوسیال با پرشدگی ۶۰% در اواپراتور شیاردارشده، ۵٫۳% نسبت به اواپراتور بدون شیار کاهش داشته است و میتوان نتیجه گرفت که شیاردارکردن اوپراتور باعث آشفتهشدن جریان داخل لوله و افزایش نرخ انتقال حرارت شده است (۸-ج). با مقایسه مقاومت حرارتی در تمامی حالتها در شکل ۸-د مشاهده میشود که بیشترین کاهش مقاومت حرارتی، زمانی است که به جای آب از نانوسیال با نسبت پرشدگی ۵۰%، استفاده شده است و کاهش مقاومت در دو حالت پرشدگی ۶۰% و شیاردارکردن اواپراتور نتیجهٔ ضعیفتری داشته است.

به طور معمول بهترین عملکرد یک لوله حرارتی نوسانی در نسبت پرشدگی ۴۰% تا ۲۰% فرار دارد. در آزمایشهایی که در این تحقیق در نسبتهای پرشدگی ۵۰% و ۶۰% انجام شده، نسبت پرشدگی ۶۰% دارای عملکرد بهتری بوده است. با این حال به طور قطع نمی توان گفت که بهترین عملکرد دستگاه در بین تمام نسبتهای پرشدگی در این نسبت ۶۰% قرار دارد. در تحقیقی که توسط محمدی و همکاران [۲۲]، درباره تاثیر میدان مغناطیسی بر روی عملکرد لوله حرارتی نوسانی با نانوسیال فروفلوید انجام گرفته به این نتیجه رسیدهاند که در نبود میدان مغناطیسی، بهترین نسبت پرشدگی ۵۵% می باشد در

حالیکه نسبت بهینه در حضور میدان مغناطیسی ۷۰% است.

۱- ۷- تحلیل ضریب انتقال حرارت جابجایی

در شکل ۹ ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال عامل بر حسب توان ورودی نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده میشود ضریب انتقال حرارت از توان ورودی ۱۵۰ وات به بالا، شروع به افزایش میکند. در شکل ۹-الف، ضریب انتقال حرارت جابجایی آب و نانوسیال با پرشدگی ۵۰% نشان داده شده است. مطابق این شکل، ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال نسبت به آب به اندازه شکل، ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال نسبت به آب به اندازه باکه افزایش داشته است. مطابق شکل ۹-ب، ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال با پرشدگی ۶۰%، حدود ۴۷% نسبت با نانوسیال با پرشدگی ۵۵%، افزایش داشته است. در شکل ۹-ج، ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال با پرشدگی ۶۰% و اوپراتور شیاردار با

۵- نتیجهگیری

امروزه لولههای حرارتی نوسانی را، به عنوان مبدلهای حرارتی پیشرفته در صنایع به ویژه صنعت الکترونیک میشناسند که بهرغم حجم کوچکی که دارند به دلیل استفاده از ظرفیت حرارتی بالای جوشش و چگالش، قادر به انتقال مقادیر بالای انتقال حرارت هستند. مطالعات مختلف نشان داده است عواملی همچون استفاده از نانوسیالات و اصلاح ساختار لوله جهت اختلاط بیشتر سیال در لوله، باعث افزایش انتقال حرارت شده است. در این پژوهش به مقایسه سیال عامل آب با نانوسیال کربوکسیل نانولولههای کربنی با غلظت ۰٫۰٪ با نسبت پرشدگی ۵۰ و ۶۰٪ پرداخته شده است. همچنین اواپراتور را شیاردار نموده و اثر آن روی انتقال حرارت و مقاومت حرارتی بررسی شده است. نتایج نشان داد که:

- ۱. نسبت پرشدگی ۶۰% در همه آزمایشات نتایج بهتری داده است.
- ۲. استفاده از نانوسیال در مقایسه با آب هر دو در نسبت پرشدگی ۵۰%، عملکرد حرارتی همچون ضریب انتقال حرارت جابجایی و مقاومت حرارتی، به طرز چشمگیری بهبود یافته است.
- ۳. عملکرد حرارتی نانوسیال با پرشدگی ۶۰% در مقایسه با نانوسیال با پرشدگی ۵۰%، افزایش داشته است.



شکل ۸. مقاومت حرارتی بر حسب توان گرمایی برای سیال عامل (الف) آب و نانوسیال با نسبت پرشدگی ٪۵۰، (ب) نانوسیال با نسبت پرشدگی ٪۵۰ و ٪۶۰، (ج) نانوسیال با اواپراتور شیاردار و بدون شیار با نسبت پرشدگی ٪۶۰، (د) مقایسه تمام حالتهای آزمایش با یکدیگر

Fig. 8. Thermal resistance in terms of heat output for the operating fluid (a) water and nanofluid with 50% filling ratio, (b) nanofluid with 50% and 60% filling ratio, (c) nanofluid with grooved and non-grooved evaporator with 60% filling ratio, (D) Compare all test modes with each other



شکل ۹. ضریب انتقال حرارت جابجایی برای سیال عامل (الف) آب و نانوسیال با نسبت پرشدگی ٪۵۰، (ب) نانوسیال با نسبت پرشدگی ٪۵۰ و ٪۶۰، (ج) نانوسیال با اواپراتور شیاردار و بدون شیار با نسبت پرشدگی ٪۶۰

Fig. 9. Convection heat transfer coefficient for operating fluid (a) water and nanofluid with 50% filling ratio, (b) nanofluid with filling ratio of 50% and 60%, (c) nanofluid with grooved evaporator and without groove with filling ratio of 60% Thermal characteristics of closed loop pulsating heat pipe with nanofluids, Journal of Enhanced Heat Transfer, 18(3) (2011).

- [8] M. Sohel, S. Khaleduzzaman, R. Saidur, A. Hepbasli, M. Sabri, I. Mahbubul, An experimental investigation of heat transfer enhancement of a minichannel heat sink using Al2O3–H2O nanofluid, International Journal of Heat and Mass Transfer, 74 (2014) 164-172.
- [9] M. Nazari, M. Karami, M. Ashouri, Comparing the thermal performance of water, Ethylene Glycol, Alumina and CNT nanofluids in CPU cooling: Experimental study, Experimental Thermal and Fluid Science, 57 (2014) 371-377.
- [10] H.S. Dizaji, S. Jafarmadar, F. Mobadersani, Experimental studies on heat transfer and pressure drop characteristics for new arrangements of corrugated tubes in a double pipe heat exchanger, International Journal of Thermal Sciences, 96 (2015) 211-220.
- [11] J. Wang, H. Ma, Q. Zhu, Y. Dong, K. Yue, Numerical and experimental investigation of pulsating heat pipes with corrugated configuration, Applied Thermal Engineering, 102 (2016) 158-166.
- [12] H. Goshayeshi, M. Goodarzi, M. Dahari, Effect of magnetic field on the heat transfer rate of kerosene/ Fe2O3 nanofluid in a copper oscillating heat pipe, Experimental Thermal and Fluid Science, 68 (2015) 663-668.
- [13] H.R. Goshayeshi, I. Chaer, Comparison of copper and glass oscillating heat pipes with Fe2O3 under magnetic field, International Journal of Low-Carbon Technologies, 11(4) (2016) 455-459.
- [14] C. Smoot, H. Ma, Experimental investigation of a threelayer oscillating heat pipe, Journal of Heat Transfer, 136(5) (2014) 051501.
- [15] J. Qu, J. Zhao, Z. Rao, Experimental investigation on the thermal performance of three-dimensional oscillating heat pipe, International Journal of Heat and Mass Transfer, 109 (2017) 589-600.
- [16] J. Qu, J. Zhao, Z. Rao, Experimental investigation on thermal performance of multi-layers three-dimensional oscillating heat pipes, International Journal of Heat and Mass Transfer, 115 (2017) 810-819.

 ۴. با شیاردارکردن اواپراتور، عملکرد حرارتی افزایش یافته است اما این افزایش در مقایسه با حالت دوم تغییر آنچنانی نداشته است.

۶- فهرست علائم

علائم انگلیسی

- ${
 m m}^2$ مساحت، A
 - *D* قطر، mm
- W/m².K ضریب انتقال گرمای جابجایی، h
 - I شدت جريان، A
 - ${
 m m}$ طول، L
 - q نرخ انتقال گرمای ورودی، W
 - K/W مقاومت حرارتی، R
 - K دما، T
 - v ولتاژ، V

زيرنويس

- c كندانسور
- اواپراتور e

۷- مراجع

- [1] S. Choi, Z. Zhang, W. Yu, F. Lockwood, E. Grulke, Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions, Applied physics letters, 79(14) (2001) 2252-2254.
- [2] G. Paul, J. Philip, B. Raj, P.K. Das, I. Manna, Synthesis, characterization, and thermal property measurement of nano-Al95Zn05 dispersed nanofluid prepared by a twostep process, International Journal of Heat and Mass Transfer, 54(15-16) (2011) 3783-3788.
- [3] X. Wang, X. Xu, S.U. S. Choi, Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture, Journal of thermophysics and heat transfer, 13(4) (1999) 474-480.
- [4] Y. Xuan, Q. Li, Heat transfer enhancement of nanofluids, International Journal of heat and fluid flow, 21(1) (2000) 58-64.
- [5] H. Akachi, Structure of a heat pipe, in: Google Patents, 1990.
- [6] H. Ma, Oscillating heat pipes, Springer, 2015.
- [7] H. Jamshidi, S. Arabnejad, M.B. Shafii, Y. Saboohi,

Unlooped Pulsating Heat Pipe, Journal of Heat Transfer, 140(8) (2018).

- [20] J.P. Holman, Solutions manual to accompany heat transfer, McGraw-Hill, 1976.
- [21] M. Hisoda, S. Nishio, R. Shirakashi, Study of Meandering Closed-Loop Heat-Transport Device: Vapor-Plug Propagation Phenomena, JSME International Journal Series B Fluids and Thermal Engineering, 42(4) (1999) 737-744.
- [22] M. Mohammadi, M. Mohammadi, A.R. Ghahremani, M.B. Shafii, N. Mohammadi, Experimental investigation of thermal resistance of a ferrofluidic closed-loop pulsating heat pipe, Heat transfer engineering, 35(1) (2014) 25-33.
- [17] J. Qu, Z. Ke, A. Zuo, Z. Rao, Experimental investigation on thermal performance of phase change material coupled with three-dimensional oscillating heat pipe (PCM/3D-OHP) for thermal management application, International Journal of Heat and Mass Transfer, 129 (2019) 773-782.
- [18] M. Xing, J. Yu, R. Wang, Performance of a vertical closed pulsating heat pipe with hydroxylated MWNTs nanofluid, International Journal of Heat and Mass Transfer, 112 (2017) 81-88.
- [19] M. Farrokh, T. Goodarz, J. Samad, N. Javid, H. Amin, Analysis of Entropy Generation of a Magneto-Hydrodynamic Flow Through the Operation of an

براى ارجاع به اين مقاله از عبارت زير استفاده كنيد: M. Khosrodad, H. R. Goshayeshi, A. R. Alizadeh , H. Mohseni Fadardi, K. Bashirnezhad . Experimental investigation on MWCNTs-COOH nano fluid on 3D oscillating heat pipe ,Amirkabir J. Mech. Eng., 53(Special Issue 5)(2021) 3401-3416.



