



کاربرد همزمان نانوذرات آلومینا و لوله حرارتی در یک سیستم تهویه مطبوع

پیام رحیم‌مشائی^{1*}، سیدمصطفی حسینعلی‌پور²، حمید فاضلی³، محسن طاهری قزوینی⁴، ساجده مدنی⁵، کاظم اسماعیل‌پور⁶

- 1- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، تهران
 - 2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
 - 3- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران
 - 4- مربی، مهندسی مکانیک، موسسه آموزش عالی پارسیان، قزوین
 - 5- کارشناسی ارشد، مهندسی محیط زیست، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان
 - 6- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، تهران
- * تهران، صندوق پستی 1862964469، Payam.Mashaei@Parsian.ac.ir

چکیده

یک مطالعه عددی-تحلیلی بر رفتار حرارتی نانوسیال در یک لوله حرارتی استوانه‌ای انجام می‌پذیرد تا کاربرد نانوسیال در سیستم‌های تهویه مطبوع مورد ارزیابی واقع گردد. آب خالص و نانوسیال آب-آلومینا، به‌عنوان سیال‌های کاری، مورد استفاده واقع می‌گردند. یک مدل ریاضی توسعه داده می‌شود تا گرمایی را که توسط لوله‌حرارتی بین قسمت‌های پیش‌سرمایش و بازگرمایش سیستم تهویه مطبوع انتقال می‌یابد، پیش‌بینی کند. نتایج بدست آمده توسط مدل پیشنهاد شده با داده‌های آزمایشگاهی اعتبارسنجی می‌گردد و تطابق خوبی بین آن‌ها مشاهده می‌شود. تاثیر غلظت و اندازه نانوذرات بر انرژی منتقل شده موردنیاز در قسمت‌های پیش‌سرمایش و بازگرمایش مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از نانوسیال می‌تواند به‌طور چشمگیری اختلاف دمای بخش کندانسور و اواپراتور لوله حرارتی را در شرایط انرژی حرارتی انتقال شده یکسان کاهش دهد با افزایش غلظت و کاهش قطر نانوذره شرایط بهتری برای فرآیندهای پیش‌سرمایش و بازگرمایش فراهم می‌گردد. همچنین ملاحظه گردید که تغییر محسوسی در انتقال حرارت برای نانوذرات با قطر بالاتر 40 نانومتر مشاهده نمی‌شود. یافته‌های این مطالعه پتانسیل کاربرد نانوسیال را برای سیستم‌های تهویه مطبوع ساختمان‌هایی که در محیط‌های گرم و مرطوب ساخته شده‌اند، اثبات می‌کند.

کلید واژگان: سیستم‌های تهویه مطبوع، نانوذره، پیش‌سرمایش، رطوبت‌زدایی، بازگرمایش

Simultaneous application of Al_2O_3 nanoparticles and heat pipe in an air conditioning system

Payam Rahim Mashaei^{1*}, Seyed Mostafa Hosseinalipour², Hamid Fazeli³, Mohsen Taheri-Ghazvini⁴, Sajede Madani⁵, Kazem Esmailpour⁶

- 1- Young Researchers and Elite Club, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahr-e-Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
 - 2- Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
 - 3- Institute of Mechanics and Manufacturing Technology, Malek-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran
 - 4- Department of Mechanical Engineering, Parsian Institute of Higher Education, Qazvin, Iran
 - 5- Young Researchers and Elite Club, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
 - 6- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Damavand Branch, Damavand, Iran
- * P.O.B. 1862964469, Tehran, Iran, Payam.Mashaei@Parsian.ac.ir

ABSTRACT

An analytical-numerical study on the thermal behavior of nanofluid in a cylindrical heat pipe is performed to investigate the nanofluid application in air conditioning systems. Pure water and Al_2O_3 -water nanofluid are used as working fluids. A mathematical modeling is developed to predict the heat transferred by the heat pipe between precooling and reheating sections of the air conditioning system. The obtained results by proposed model are validated against experimental data and a good agreement between them is observed. The effect of nanoparticle concentration and size on the amount of energy required in precooling and reheating sections are evaluated. The results reveal that using nanofluid can dramatically decrease the temperature difference between condenser and evaporator sections of a cylindrical heat pipe under constant transferred thermal energy condition. Enhanced condition for precooling and reheating processes is provided for higher concentration and lower size of nanoparticles. Also, not a significant variation in heat transfer is observed by increasing nanoparticles size beyond 40 nm. The findings of this study prove the potential of nanofluid application for air conditioning of buildings located in regions with hot and humid climate.

Keywords: Air conditioning systems, Nanoparticle, Precooling, Dehumidification, Reheating

1- مقدمه

پربازده معروف است و نانوسیال دارای خواص گرمایی ارتقا یافته می‌باشد. بنابراین استفاده از نانوذرات در لوله حرارتی می‌تواند نرخ انتقال حرارت را بدون نیاز به انرژی و توان بیرونی افزایش دهد. اولین مقاله در باره استفاده

استفاده همزمان لوله حرارتی و سوسپانسیون آب-نانوذرات توجه زیادی را در سال‌های اخیر جذب کرده است. لوله حرارتی به‌عنوان یک مبدل حرارتی

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
P.R.Mashaei, S.M.Hosseinalipour, H.Fazeli, M.Taheri-Ghazvini, S.Madani, K.Esmailpour, Simultaneous application of Al_2O_3 nanoparticles and heat pipe in an air conditioning system, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 213-216, 2016 (in Persian) (فarsi)

فرایند رطوبت‌زدایی به منظور رسیدن به رطوبت دلخواه، دمای هوا پیش از اندازه سرد می‌گردد. لذا برای رسیدن به دمای اتاق به گرمایش مجدد نیاز است. این امر در ناحیه کندانسور لوله حرارتی صورت می‌گیرد. اجزای مختلف لوله حرارتی در "شکل 2" نشان داده شده است. شعاع ناحیه بخار، شعاع داخلی و بیرونی لوله به ترتیب 7mm، 6mm و 8mm در نظر گرفته می‌شود.

3- مدل‌سازی ریاضی

مدل استفاده شده در مطالعه حاضر مبتنی بر فرض‌های زیر می‌باشد: (1) فرآیند در حالت دائمی رخ می‌دهد؛ (2) تنها مکانیزم انتقال حرارت در ناحیه متخلخل هدایت می‌باشد؛ (3) توزیع نانوذرات یکنواخت است؛ (4) فرآیند خشک شدگی رخ نمی‌دهد و محیط متخلخل کاملاً با مایع پر می‌شود. به‌منظور همگن کردن شرایط مرزی تغییر متغیر زیر در نظر گرفته می‌شود [9]:

$$\theta = T - T_v \quad (1)$$

و لذا معادله انرژی در پوسته لوله حرارتی استوانه به‌صورت زیر نوشته می‌گردد:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = 0 \quad (2)$$

شرایط مرزی حاکم بر مساله با معادله‌های (3) الی (6) قابل بیان است:

$$At \ x = 0 \text{ and } x = L \rightarrow \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$At \ r = r_w \rightarrow \frac{\partial \theta}{\partial r} = \frac{k_{wick}}{k_{wall} r_w \log(r_w/r_p)} \quad (4)$$

$$At \ r = r_0 \rightarrow q(x) = -k_{wall} \frac{\partial \theta}{\partial r} = \begin{cases} q_e & 0 \leq x \leq L_e \\ 0 & L_e \leq x \leq L_e + L_a \\ q_c & L_e + L_a \leq x \leq L_e + L_a + L_c \end{cases} \quad (5)$$

که k ، q ، r_0 ، r_w ، n_v ، L_a و L_c ضریب هدایت گرمایی، شار حرارتی، شعاع بیرونی، شعاع داخلی، طول اواپراتور، طول ناحیه آدیاباتیک و طول کندانسور می‌باشد. شار حرارتی کندانسور نیز از رابطه (6) محاسبه می‌شود:

$$q_c = \frac{L_e q_e}{L_c} \quad (6)$$

ضریب هدایت حرارتی موثر ناحیه متخلخل از رابطه (7) حاصل می‌گردد [10]:

$$k_{eff} = \frac{k_{nf}[(k_{nf} + k_s) - (1 - \varepsilon)(k_{nf} - k_s)]}{(k_{nf} + k_s) + (1 - \varepsilon)(k_{nf} - k_s)} \quad (7)$$

که ε ، k_{nf} و k_s به ترتیب ضریب تخلخل، ضریب حرارتی نانوسیال و ماتریکس جامد هستند. برای ضریب هدایت حرارتی نانوسیال از مدل اصلاح شده ماکسول استفاده می‌گردد [12، 11]:

$$k_{nf} = \left[\frac{k_p + 2k_f + 2(k_p - k_f)(1 + \beta)^3 \varphi}{k_p + 2k_f - (k_p - k_f)(1 + \beta)^3 \varphi} \right] k_f \quad (8)$$

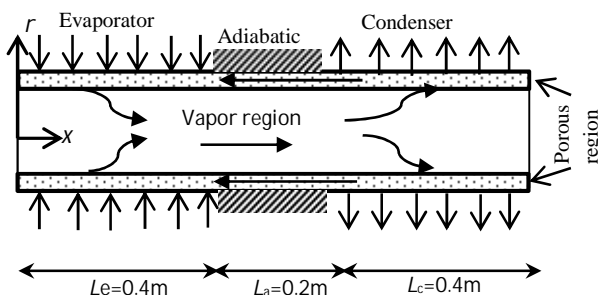


Fig. 2 Various sections of a cylindrical heat pipe

شکل 2 قسمت‌های مختلف یک لوله حرارتی استوانه‌ای

نانوذرات در لوله حرارتی توسط چن و همکاران [1] منتشر شد. نانوسیال حاوی آب و نانوذرات طلا با قطر 17nm در یک لوله حرارتی دیسکی شکل کوچک به‌کار گرفته شد. شفاهی و همکاران [2] به‌صورت تحلیلی تاثیر نانوذرات آلومینا، اکسید مس و اکسید تیتانیوم را بر عملکرد حرارتی لوله حرارتی استوانه‌ای بررسی کردند. تاسی و همکاران [3] کاربرد نانوسیال آب-طلا را در لوله حرارتی مورد آزمایش قرار دادند و مشاهده نمودند که با افزودن نانوذرات مقاومت حرارتی لوله حرارتی بین 20% تا 37% کاهش می‌یابد. مشایی و شهریاری [4] پیشنهاد کردند که استفاده از نانوسیال در لوله حرارتی با دو اواپراتور می‌تواند یک ایده خوب برای خنک‌کاری تجهیزات ماهواره باشد. در دهه اخیر استفاده از لوله حرارتی در قسمت‌های پیش سرمایش و بازگرمایش سیستم‌های تهویه مطبوع مورد ارزیابی واقع شد. چوگل و همکاران [5] بعضی از این مطالعات را مرور کرده‌اند. وان و همکاران [6] گزارش کردند که مصرف انرژی در فرآیندهای پیش سرمایش و بازگرمایش با استفاده از لوله حرارتی کاهش می‌یابد. تاثیر میزان برداشت رطوبت و مقدار گرمای بازگرمایش در سیستم تهویه مطبوع مجهز به لوله حرارتی توسط مک فارلند و همکاران [7] به صورت آزمایشگاهی مورد ارزیابی واقع شد. داده‌ها نشان دادند که استفاده از لوله حرارتی انرژی مورد نیاز را در ناحیه بازگرمایش کاهش می‌دهد و میزان رطوبت اتاق بهتر کنترل می‌شود. فیروزفر و همکاران [8] تاثیر همزمان نانوسیال و لوله حرارتی را در یک سیستم تهویه مطبوع مورد بررسی قرار دادند. این محققان گزارش کردند استفاده از نانوسیال نقره-متانول باعث صرفه‌جویی 8.8-31.5% و 18-100% در انرژی موردنیاز در فرآیندهای پیش سرمایش و بازگرمایش می‌گردد. در مطالعه حاضر یک مدل تحلیلی برای به‌دست آوردن توزیع دمای سطح لوله حرارتی توسعه داده شده است. تحت شرایط شار ثابت نشان داده می‌شود که استفاده از نانوسیال شرایط گرمایی بهتری را برای فرآیندهای پیش سرمایش و بازگرمایش فراهم می‌کند. همچنین تاثیر غلظت و اندازه نانوذره بر گرمای مبادله شد مورد ارزیابی واقع می‌گردد.

2- توصیف مساله

در سیستم‌های قدیمی تهویه مطبوع معمولاً تنها از انرژی الکتریکی برای بالا بردن دما بعد از فرایند رطوبت‌زدایی استفاده می‌شد. در سیستم‌های جدید یک لوله حرارتی استفاده می‌شود تا در مصرف انرژی صرفه‌جویی گردد. یک سیستم تهویه مطبوع که به لوله حرارتی مجهز شده است در "شکل 1" نشان داده شده است. هوای مرطوب و گرم بیرون به واسطه عبور از قسمت اواپراتور لوله حرارتی انرژی خود را از دست می‌دهد و دمای آن پایین می‌آید. با انجام

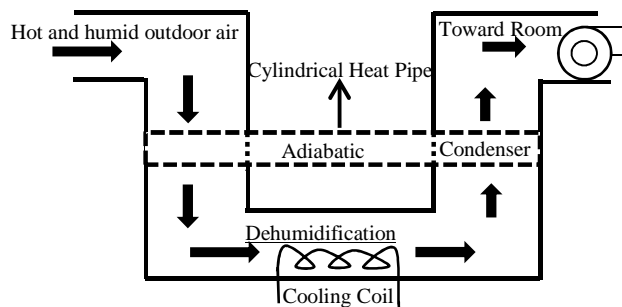


Fig. 1 A schematic of an air conditioning system equipped with a cylindrical heat pipe

شکل 1 طرحواره یک سیستم تهویه مطبوع مجهز به یک لوله حرارتی استوانه‌ای

جدول 1 دمای دیوار حاصل از شبیه‌سازی حاضر در مقابل داده‌های آزمایشگاهی [13]
Table 1 Wall temperature of present simulation against experimental data [13]

x(m)	داده‌های آزمایشگاهی (K)	نتایج شبیه‌سازی (K)	خطا (%)
0.0096	322.4	322.1	0.06
0.0297	322.1	320.8	0.40
0.0796	316.1	315.0	0.34
0.1501	304.9	303.9	0.32
0.2	301.7	300.2	0.5

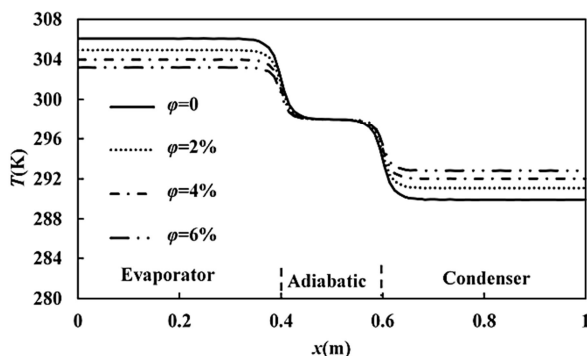


Fig. 4 Effect of nanoparticle concentration on wall temperature profiles
شکل 4 تاثیر غلظت نانوذره بر پروفیل‌های دمای دیوار

می‌شود استفاده از نانوسیال دمای کندانسور و اواپراتور را به ترتیب کاهش و افزایش می‌دهد.

نکته دیگر که در "شکل 4" می‌توان مشاهده نمود کاهش بیشتر دمای اواپراتور و افزایش بیشتر دمای کندانسور در اثر افزایش غلظت نانوذره می‌باشد این امر باعث می‌گردد که شرایط انتقال حرارت در فرایندهای پیش سرمایش و باز گرمایش بهبود پیدا کند. تاثیر غلظت نانوذره و شار حرارتی بر نسبت اختلاف دمای بین کندانسور و اواپراتور $(\Delta T_r = (\bar{T}_e - \bar{T}_c)_{nf} / ((\bar{T}_e - \bar{T}_c)_{bf}))$ در "شکل 5" نشان داده شده است. مطابق این شکل نسبت اختلاف دما تقریباً مستقل از شار حرارتی می‌باشد و با افزایش غلظت نانوسیال کاهش می‌یابد که نتیجه مستقیم کاهش مقاومت حرارتی می‌باشد. با توجه به این که ما علاقه‌مند هستیم میزان انتقال حرارت منتقل شده بین بخش‌های پیش سرمایش و باز گرمایش را در اختلاف دمای ثابت ارزیابی کنیم، از روش صحیح-خطا برای به دست آوردن شار حرارتی استفاده شده است. گرمای منتقل شده برای اندازه‌های و غلظت مختلف نانوذره در "شکل 6" نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کاهش قطر نانوذرات و افزایش غلظت آن‌ها باعث بهبود انتقال حرارت می‌شود. همچنین ملاحظه می‌گردد که افزایش قطر نانوذره بیشتر از 40 نانومتر تاثیر چندانی بر انتقال حرارت ندارد.

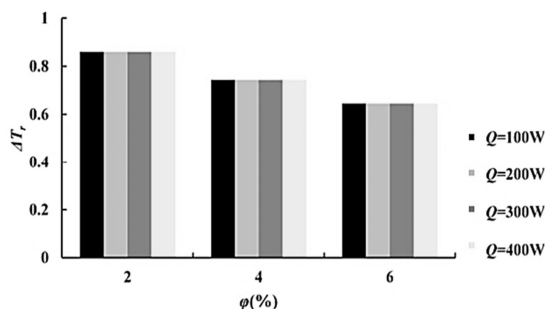


Fig. 5 Temperature difference ratio for various heat loads and nanoparticle concentrations

شکل 5 نسبت اختلاف دما برای شارهای حرارتی و غلظت‌های مختلف نانوسیال

که k_p و k_f به ترتیب ضریب هدایت حرارتی نانوذره و سیال پایه می‌باشند و ضریب β از رابطه (9) محاسبه می‌گردد:

$$\beta = 2t/d_p \quad (9)$$

که d_p قطر نانوذره و t ضخامت نانولایه می‌باشد.

4- حل مساله

معادله انرژی و شرایط مرزی متناظر به کمک جداسازی متغیرها حل می‌شود و عبارت زیر برای توزیع دما به دست می‌آید [9]:

$$T(r, z) = \sum_{n=0}^{\infty} \cos(\lambda_n z) \{C_n [I_0(\lambda_n r) + E_n K_0(\lambda_n r)]\} + T_v \quad (10)$$

که I_0 و K_0 توابع بسل اصلاح شده نوع اول و دوم هستند. ضرایب λ_n و E_n نیز از روابط زیر حاصل می‌گردد:

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{L} \quad (11)$$

$$E_n = \frac{\lambda_n I_1(\lambda_n r_w) - \frac{k_{wick}}{k_{wall} r_w \log(r_w/r_v)} K_0(\lambda_n r_w)}{\lambda_n I_1(\lambda_n r_w) + \frac{k_{wick}}{k_{wall} r_w \log(r_w/r_v)} K_0(\lambda_n r_w)} \quad (12)$$

$$C_n = \frac{-k_{wall} (\frac{L}{2}) \lambda_n [I_1(\lambda_n r_w) - E_n K_0(\lambda_n r_w)]}{\int_0^{L_e} q_e \cos(\lambda_n x) dx + \int_{L_e+L_a}^{L_e+L_a+L_c} q_c \cos(\lambda_n x) dx} \quad (13)$$

معادلات (10) الی (13) به کمک نرم‌افزار مطلب حل گردیدند. به منظور بررسی تعداد گره‌های مناسب بر دیواره لوله حرارتی، مطالعه استقلال از گره برای یک نمونه از حل انجام گرفت. نتایج در "شکل 3" نشان داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود با تعداد 100 گره دمای دیواره مستقل از تعداد گره می‌شود.

5- نتایج

به منظور بررسی صحت نتایج، داده‌های مطالعه حاضر با نتایج آزمایشگاهی پوترا و همکاران [13] مقایسه گردیدند. سیال کاری نانوسیال آب-آلومینا می‌باشد و اطلاعات بیشتر در مورد هندسه و شرایط آزمایش در مرجع [13] موجود است. نتایج حاصل از مقایسه در شکل دمای سطح لوله حرارتی در جدول 1 نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود تطابق خوبی بین نتایج حاصل از مدل‌سازی حاضر و داده‌های آزمایشگاهی وجود دارد. "شکل 4" پروفیل دمای سطح لوله حرارتی را برای شارهای حرارتی و غلظت‌های مختلف نانوذره تحت شرایط شار ثابت نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه

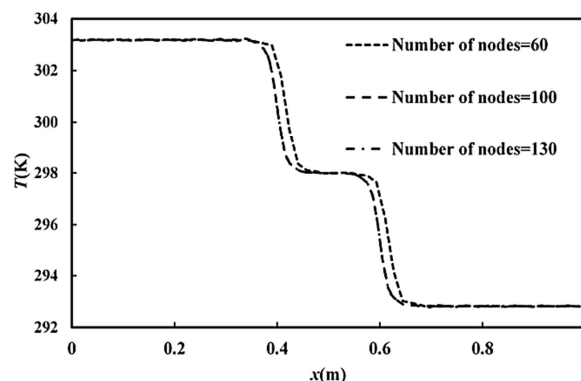


Fig. 3 Mesh independency study

شکل 3 مطالعه استقلال از مش

- حرارتی می شود و در نتیجه انتقال حرارت بهتری در فرآیندهای پیش سرمایش و باز گرمایش در سیستم‌های تهویه مطبوع حاصل می‌گردد.
- نسبت اختلاف دما بین اواپراتور و کندانسور مستقل از شار حرارتی هست و با افزایش غلظت نانوذرات افزایش می‌یابد.
- استفاده از نانوسیال باعث بهبود انتقال حرارت در فرآیندهای پیش سرمایش و باز گرمایش در شرایط دما ثابت می‌گردد.
- چنانچه اندازه نانوذره کاهش یابد یا غلظت نانوسیال افزایش یابد، شرایط بهترانتقال حرارت در سیستم تهویه مطبوع می‌گردد.
- تغییرات قطر نانوذرات بالاتر از 40nm تاثیر اندکی در انتقال حرارت دارد.

7- مراجع

- [1] H.T. Chien, C.I. Tsai, P.H. Chen, P.Y. Chen, Improvement on thermal performance of a disk-shaped miniature heat pipe with nanofluid, *Electronic Packaging Technology Proceedings, 2003, ICEPT 2003, Fifth International Conferenc IEEE*, pp. 389–391, 2003.
- [2] M.Shafahi, V.Bianco, K.Vafai, M.Manca, Thermal performance of flat-shaped heat pipe using nanofluids, *International Journal of Heat and Mass transfer*, Vol. 53, No. 7-8, pp. 1438-1445, 2010.
- [3] C.Y. Tsai, H.T. Chien, P.P. Ding, B. Chan, T.Y. Luh, P.H. Chen, Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluid on heat pipe thermal performance, *Material Letters*, Vol. 58, No. 9, pp. 1461-1465, 2004.
- [4] P.R. Mashaei, M. Shahyari, Effect of nanofluid on thermal performance of heat pipe with two evaporators; application to satellite equipment cooling, *Acta Astronautica*. Vol. 111, pp. 345-355, 2015.
- [5] N. S. Chougule, T.S. Jadhav, M. M. Lele, A Review on Heat Pipe for Air Conditioning applications, *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol. 4, pp. 204-207, 2016.
- [6] J.W. Wan, J.L. Zhang, W.M. Zhang, The effect of heat pipe air handling coil on energy consumption in central air-conditioning system, *Energy Build*, Vol. 39, pp. 1035-1040, 2007.
- [7] J.K. McFarland, SM Jeter, S.I. Abdel-Khalik, Effect of heat pipe on dehumidification of a controlled air space. *ASHRAE Transactions*., Vol. 102, pp. 132-139, 1996.
- [8] E. Firouzfar, M. Soltanieh, S. H. Noie, S. H. Saidi, Energy saving in HVAC systems using nanofluid, *Applied Thermal engineering*, Vol. 31, pp. 1543-1545, 2011.
- [9] H. Shabgard, A.Faghri, Performance characteristics of cylindrical heat pipes with multiple heat sources, *Applied Thermal engineering*, Vol. 31, pp. 3410-1545, 2011.
- [10] S.W. Chi, *Heat Pipe Theory and Practice*, Hemisphere, Washington, D.C., 1976.
- [11] W.Yu, S.U.S. Choi, The role of interfacial layers in the enhanced thermal conductivity of nanofluids: a renovated Maxwell model, *Journal of Nanoparticle Research*. Vol. 5, No. 3, pp. 167-171, 2003.
- [12] L. Asmaei, M. Haghshenasfard, A. Mehrabani-Zeinabad, N. Nasr Esfahany, Thermal performance analysis of nanofluids in at hermp- syphone heat pipe using CFD modeling, *Heat and Mass Transf*. Vol. 49, pp. 667-678, 2013.
- [13] N. Putra, W.N. Septiadi, H. Rahman, R. Irwansyah, Thermal performance of screen mesh wick heat pipes wit nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 40, pp. 10-17, 2012.

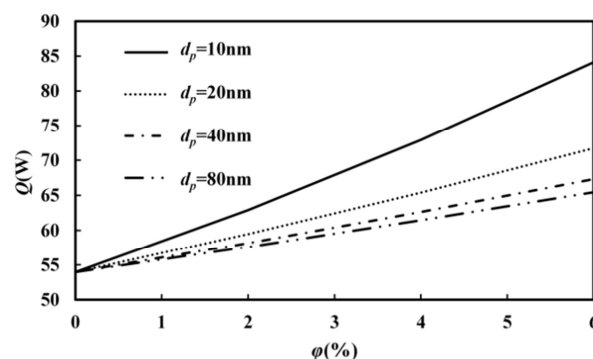


Fig. 6 Effect of nanoparticle concentration and diameter on energy transferred between precooling and reheating section

شکل 6 تاثیر غلظت و قطر نانوذره بر انرژی منتقل شده بین بخش‌های پیش سرمایش و بازگرمایش

نسبت انرژی منتقل شده (به سیال پایه) در "شکل 7" نشان داده شده است. با توجه به این که همه مقادیر بیشتر از واحد می باشند، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از نانوسیال می‌تواند باعث شود در شرایط اختلاف دمای ثابت انرژی بیشتری بین بخش‌های پیش سرمایش و باز گرمایش منتقل شود. همچنین ملاحظه می‌گردد که بهترین افزایش انتقال حرارت حدود 55% می‌باشد که مربوط به کوچکترین سایز ($d_p = 10\text{nm}$) و بیشترین غلظت ($\phi = 6\%$) نانوذره است.

6- جمع‌بندی

مقاله حاضر تاثیر همزمان نانوسیال آب- آلومینا و لوله حرارتی را در یک سیستم تهویه مطبوع مورد بررسی قرار می‌دهد. نتایج مهم در زیر خلاصه شده است:

- وجود نانوذره باعث افزایش دمای کندانسور و کاهش دمای اواپراتور لوله

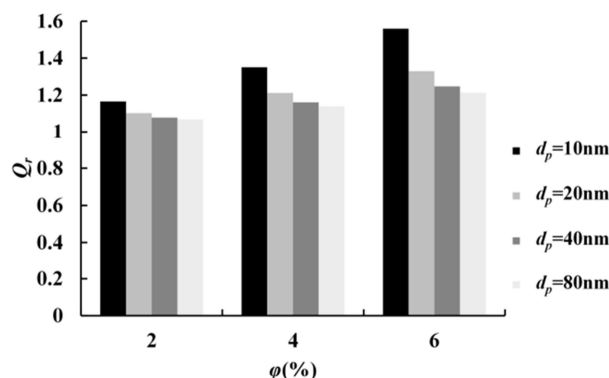


Fig.7 Transferred energy ratio for various nanoparticle concentrations and diameters

شکل 7 نسبت انرژی منتقل شده برای غلظت‌ها و قطرهای مختلف نانوذره