http://mechanics.journals.modares.ac.ir
مجله علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک مدرس
دوره ۱۱ شماره ۳ پاییز ۱۳۹۰ ص ص ۷۵-۸۴
تاریخچه مقاله:
دریافت ۹۰/۶/۲۱
پذیرش ۹۰/۷/۱۶
ارائه در سایت ۹۰/۶/۲۲

بررسی کاربرد نانو سیالات اتیلن گلیکول-اکسید آلومینیوم به‌عنوان سیال خنک‌کننده در مبدل حرارتی دولوله‌ای

نوید بزرگان[۱*]، فرشاد پناهی‌زاده[۲]، نریمان بزرگان[۳]

۱- عضو هیات علمی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آبادان، ایران
۲- مدرس گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خرمشهر، ایران
۳- پژوهشگر دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، باشگاه پژوهشگران جوان، اهواز، ایران
*آبادان، صندوق پستی ۶۶۶، N. Bozorgan@gmail.com

چکیده- در مقاله حاضر، از سه نمونه متفاوت اکسید آلومینیوم که از لحاظ خواص سطح، شکل و اندازه با هم تفاوت دارند به عنوان نانو ذرات در سوسپانسیون اتیلن گلیکول-اکسید آلومینیوم در محدوده غلظت‌های حجمی $0 \le \phi \le 7\%$ استفاده شده است. کاربرد نانو سیالات اتیلن گلیکول-اکسید آلومینیوم به‌عنوان سیال خنک‌کننده در یک مبدل حرارتی دولوله‌ای که باید یک محلول گرم را به‌میزان مشخصی خنک کند، تحت شرایط جریان آرام مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا، روابط انتقال‌حرارت میان محلول گرم و نانو سیال به‌عنوان سیال خنک‌کننده بررسی شده است. در ادامه سطح انتقال‌حرارت و دبی جرمی سیال خنک‌کننده با استفاده از نانو سیالات بهینه‌سازی شده است. در مقاله حاضر، ضریب انتقال‌حرارت، ضریب انتقال‌حرارت کلی، ضریب اصطکاک، افت فشار و توان پمپاژ لازم برای نانو سیالات اتیلن گلیکول- اکسید آلومینیوم محاسبه شده است.

کلید واژگان: نانو سیالات اتیلن گلیکول-اکسید آلومینیوم، مبدل حرارتی دولوله‌ای، جریان آرام، ضریب انتقال‌حرارت، بهینه‌سازی.

Investigating the using of Al_2O_3/EG nanofluids as coolants in a double-tube heat exchanger

N. Bozorgan[1*], F. Panahizadeh[2], N. Bozorgan[3]

1- Faculty of Mech. Eng., Abadan Branch, Islamic Azad University, Abadan, Iran.
2- Instructor of Mech. Eng., Khorramshahr Branch, Islamic Azad University, Khorramshahr, Iran.
3- Young Researchers club, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
*P.O.B. 666, Abadan, Iran, N.Bozorgan@gmail.com

Abstract- In the present paper, three different samples of alumina used as nanoparticles in the ethylene glycol suspension of alumina with volumetric concentration in the range $0 \le \phi \le 7\%$. These samples have different surface properties, shape and size. The use of Al_2O_3/EG nanofluids as coolants in a double-tube heat exchanger has been studied under laminar flow conditions. The hot solvent inlet heat exchanger must be cooled down with a specified amount. At first, heat transfer relations between hot solvent and nanofluids as coolants have been investigated theoretically. Subsequently, heat transfer area and flow rate of coolant are optimized by using the nanofluids. In the present paper, heat transfer coefficient, overall heat transfer coefficient, friction factor, pressure drop and pumping power for Al_2O_3/EG nanofluids calculated.

Keywords: Al_2O_3/EG Nanofluids, Double-tube Heat Exchanger, Laminar Flow, Heat Transfer Coefficient, Optimization.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1390.11.3.1.3]

۱- مقدمه

با توسعه سریع تکنولوژی مدرن در صنایع مختلف، افزایش انتقال‌حرارت، کاهش زمان انتقال‌حرارت، کوچک‌سازی اندازه مبدل‌های حرارتی و در نهایت افزایش انرژی و راندمان سوختی یک نیاز جدی است. خنک‌کاری به‌عنوان یکی از مهمترین چالش‌های موجود در صرفه‌جویی انرژی و افزایش بهره‌وری بسیاری از صنایع مطرح می‌باشد. اولین مانع جدی در فشرده‌سازی و کارامد کردن دستگاه‌های انتقال‌حرارت، خواص ضعیف انتقال‌حرارت سیالات متداولی همچون آب و اتیلن گلیکول می‌باشد. در فرایندهای انتقال‌حرارت هدایتی و جابه‌جایی یکی از مشخصه‌های موثر سیال ضریب هدایت حرارتی آن است. بالا بودن این مشخصه بیانگر بالا بودن نرخ انتقال‌حرارت توسط هر یک از دو مکانیسم یاد شده است. هدایت حرارتی در ذرات جامد حدوداً صدها برابر بیشتر از سیالات رایج در انتقال‌حرارت می‌باشد. بنابراین ساخت سوسپانسیونی از ذرات ریز جامد در سیالات خالص یک راهکار جدید برای افزایش خواص انتقال‌حرارت سیالات حامل انرژی می‌باشد. اما سوسپانسیون‌ها با ذرات معلق (فلزی، غیر فلزی و پلیمری) در اندازه‌های میلی‌متری و حتی میکرومتری مشکلاتی همچون اثر ساییدگی ذرات، مسدود کردن مسیر کانال، فرسایش شبکه لوله و کاهش در انتقال مومنتم و افزایش افت فشار را ایجاد می‌کردند. همچنین به مشکلات آن‌ها باید ناپایداری و مشکلات رئولوژیکی را نیز افزود. به‌خصوص اینکه ذرات شدیداً متمایل به ته‌نشین شدن در سوسپانسیون هستند. راهی که به کمک مهندسی سیالات آمد و به بهبود ویژگی‌های انتقال‌حرارت سیالات منتهی شد علم نانو تکنولوژی بود. استفاده از ذرات با اندازه نانومتری در سیال خالص پایه برای اولین بار در آزمایشگاه ملی آرگون آمریکا توسط چوی [۱] در سال ۱۹۹۵ مطرح شد و او این سوسپانسیون را نانو سیال نامید. نانو سیالات در مقایسه با سوسپانسیون‌های حاوی ذرات میکرومتری و میلی‌متری، پایداری طولانی‌تر و خواص رئولوژیکی بهتری از خود نشان می‌دهند. در ده سال گذشته بسیاری از محققین خواص انتقال حرارت نانو سیالات گوناگون را در کاربردهای مختلف انتقال حرارت بررسی نموده‌اند[۲-۷].

به‌عنوان مثال، فالکنر و همکارانش[۸] در سال ۲۰۰۳ با استفاده از نانو سیال در سیستم خنک‌کننده کانال جریان شاهد افزایش میزان خنک‌کنندگی بودند. تسای و همکارانش [۹] در سال ۲۰۰۴ از نانو سیالات با اندازه‌های مختلف (۲-۳ و ۱۵-۷۵ نانومتر) در یک لوله حرارتی استفاده کردند و مقاومت حرارتی را بین ۰/۱۷ تا ۰/۲۱۵ K/W محاسبه نمودند. کیم و همکارانش[۱۰] در سال ۲۰۰۶ نانو ذرات Cu، CuO و Al_2O_3 را در سیستم جذبی NH_3/H_2O به‌کار بردند. آن‌ها مشاهده نمودند که در غلظت‌های حجمی ۱٪ نانو ذرات مس و ۱۸/۷٪ آمونیاک، حداکثر نسبت جذبی موثر با افزایش در حدود ۳/۲۱ برابر ایجاد می‌گردد. نویی‌اِن و دیگر همکارانش [۱۱] در سال ۲۰۰۷ از نانو سیال آلومینا در سیستم خنک‌کنندگی الکترونیکی استفاده نمودند. آن‌ها در تحقیقات از نانو ذرات ۳۶ و ۴۷ نانومتری استفاده کرده بودند و نشان دادند که در غلظت‌های حجمی یکسان استفاده از نانو ذرات کوچکتر باعث افزایش بیشتر ضریب انتقال‌حرارت می‌شود. سریکان و همکارانش [۱۲] در سال ۲۰۰۹ با افزودن نانو ذرات به سیالات برش توانستند عملکرد حرارتی آن‌ها را افزایش دهند. آن‌ها با پیش‌بینی ضریب انتقال حرارت سیال برش، دمای تولید شده در فرایند ماشین‌کاری را محاسبه و با نتایج تجربی مقایسه نمودند. این محققان با شبیه‌سازی توسط نرم افزار انسیس نشان دادند که با افزودن نانو ذرات به سیال برش می‌توان عملکرد ماشین‌کاری را افزایش داد به‌طوری که با افزودن نانو ذرات به سیال برش، ظرفیت انتقال‌حرارت تا حدود ۶٪ افزایش یافته است. مُحَمِّد و دیگر همکارانش[۱۳] در سال ۲۰۱۱ با مطالعه عددی، تاثیر انواع نانو سیالات را بر روی عملکرد مبدل حرارتی میکرو کانال بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که نانو سیالات آلومینیوم و نقره بیشترین ضریب انتقال‌حرارت و کمترین افت فشار را در مقایسه با نانوسیالات دیگر دارند. در این مقاله از نانو سیالات اتیلن گلیکول‌اکسید آلومینیوم به‌عنوان سیال خنک‌کننده در مبدل حرارتی دولوله‌ای برای بهینه‌سازی مبدل حرارتی استفاده شده است. اکسیدهای فلزی همچون اکسید آلومینیوم از نظر شیمیایی پایداری بیشتری در سوسپانسیون نسبت به فلزات دارند. همچنین نانو ذرات اکسید

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1390.11.3.1.3]

آلومینیوم در pHهای مختلف پایداری خوبی در سوسپانسیون نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان به‌طور خلاصه دلایل زیر را به‌عنوان مهمترین دلایل انتخاب نانو ذرات اکسید آلومینیوم در این تحقیق بیان نمود:

- نانو سیالات حاوی اکسید آلومینیوم دارای ضریب انتقال‌حرارت بالایی هستند.
- اکسید آلومینیوم برای انسان و حیوان ضرر زیادی ندارد. به‌طوری که از این اکسید در محصولات آرایشی و در گندزدایی آب استفاده می‌شود.
- نانو سیالات حاوی نانو ذرات اکسید آلومینیوم دارای پایداری بسیار عالی هستند (بدون استفاده از هر نوع افزودنی به سوسپانسیون).

۲- بررسی روابط انتقال حرارت

همان‌طور که اشاره شد در این تحقیق از سه نوع نانو ذرات اکسید آلومینیوم و سیال پایه اتیلن گلیکول استفاده شده است. این سه نمونه اکسید آلومینیوم AR، AK وAF از لحاظ خواص سطح، شکل و اندازه با هم تفاوت دارند. جداول ۱ و ۲ خواص فیزیکی این نانو ذرات و سیال پایه اتیلن گلیکول را نشان می‌دهند. در ابتدا با توجه به این جداول در غلظت‌های حجمی $0 \le \phi \le 7\%$ خواص ترموفیزیکی نانو سیالات همچون چگالی، گرمای ویژه و ویسکوزیته طبق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\rho_{nf} = (1-\phi)\rho_{bf} + \phi\rho_p \quad (۱)$$

$$c_{p,nf} = \frac{(1-\phi)\rho_{bf}c_{p,bf} + \phi\rho_p c_{p,p}}{\rho_{nf}} \quad (۲)$$

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1+a\phi) \quad (۳)$$

در رابطه ۱، ρ_{bf} و ρ_p به‌ترتیب چگالی سیال پایه و نانو ذرات می‌باشند. همچنین در رابطه ۲ که توسط شوان و روتزِل در سال ۲۰۰۰ [۱۴] ارائه شده است، $c_{p,bf}$ و $c_{p,p}$ به‌ترتیب گرمای ویژه سیال پایه و نانو ذرات می‌باشند. در رابطه ۳، μ_{bf} ویسکوزیته سیال پایه می‌باشد و a عدد ثابتی است. به‌عنوان مثال انیشتین مقدار a را برابر ۲/۵ در نظر گرفت. اما به‌طور کلی این مقدار برای نانو سیالات از ۲/۵ بیشتر است که به‌معنی آن است که نانو ذرات حجم موثر بیشتری در سوسپانسیون در مقایسه با میکرو ذرات دارند. کانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۶ [۱۵] با در نظر گرفتن حجم موثر ذرات در سوسپانسیون، فرمولی تئوری برای پیش‌بینی هدایت حرارتی نانو سیالات به‌صورت زیر بیان نمودند:

جدول ۱ خواص فیزیکی سیال پایه اتیلن گلیکول

سیال پایه	گرمای ویژه (kJ/kgK)	چگالی (kg/m^3)	ضریب هدایت حرارتی (W/mK)
اتیلن گلیکول	۲۴۱۵	۱۱۱۱	۰/۲۵۲

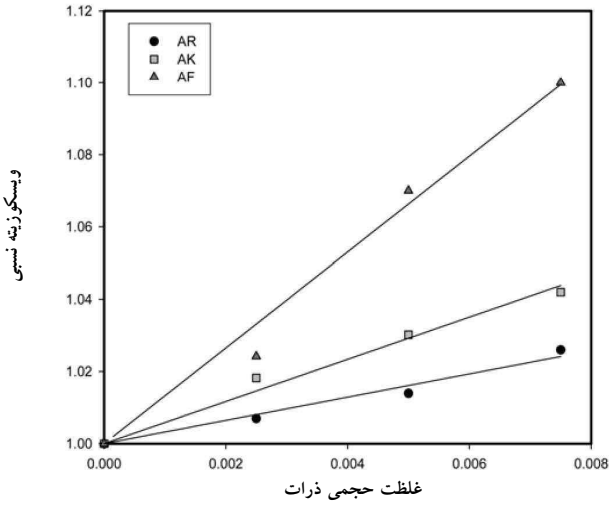
جدول۲ خواص فیزیکی نانو ذرات اکسید آلومینیوم استفاده شده در تحقیق

اکسید آلومینیوم	AK	AR	AF
شرکت سازنده	Degussa	N&A Materials	
اندازه (nm)	۴۳	۴۳-۲۷	۷
شکل	کروی	کروی	میله‌ای
سطح	آب‌گریز	آب‌دوست	آب‌دوست
گرمای ویژه (kJ/kgK)	۲۰	۲۰	۲۰
چگالی (kg/m^3)	۳۹۷۰	۳۹۷۰	۳۹۷۰
هدایت حرارتی (W/mK)	**۳۶**	**۳۶**	**۳۶**

$$k_{nf} = k_{bf}\left[\frac{k_p + 2k_{bf} - \frac{a}{1.25}\phi(k_{bf}-k_p)}{k_p + 2k_{bf} + \frac{a}{2.5}\phi(k_{bf}-k_p)}\right] \quad (۴)$$

در این مقاله، مقدار a برای سوسپانسیون حاوی نانو ذرات اکسید آلومینیوم AR، AK وAF با استفاده از مقادیر آزمایشگاهی چان و همکارانش[۱۶] محاسبه شده است. چان و همکارانش، ویسکوزیته نسبی نانو سیالات حاوی نانو ذرات اکسید آلومینیوم را به‌صورت تابعی از غلظت حجمی مطابق شکل ۱ اندازه‌گیری نمودند. با توجه به نتایج آزمایشگاهی آن‌ها و رابطه ۳، مقدار a برای سه نوع نانو ذرات AR، AK وAF به‌ترتیب ۳/۵۵۷۳، ۴/۹۴۰۷ و ۱۵/۴۱۵۰ محاسبه شده است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1390.11.3.1.3]



شکل ۱ ویسکوزیته نانو سیال تابعی از غلظت حجمی نانو ذرات [۱۶]

با محاسبه خواص ترموفیزیکی نانوسیالات در غلظت‌های حجمی مختلف، اکنون میزان کاهش سطح انتقال‌حرارت در مبدل حرارتی با کاربرد نانوسیال به‌عنوان سیال خنک‌کننده بررسی می‌شود. میزان انتقال‌حرارت از محلول گرم به سیال سرد (نانوسیال به‌عنوان سیال خنک‌کننده) در مبدل حرارتی دولوله‌ای برابر است با:

$$Q = \dot{m}_h c_{p,h} (T_1 - T_2) \cong \dot{m}_{nf} c_{p,nf} (t_2 - t_1) \quad (۵)$$

در رابطه فوق، $\dot{m}_h$ و $\dot{m}_{nf}$ به‌ترتیب دبی جرمی محلول گرم و نانو سیال (سیال سرد) می‌باشند. T_1 و T_2 به‌ترتیب دماهای ورودی و خروجی محلول گرم و t_1 و t_2 به‌ترتیب دماهای ورودی و خروجی سیال سرد می‌باشند.

سطح انتقال‌حرارت مبدل حرارتی دولوله‌ای با محاسبه میزان انتقال‌حرارت تبادل شده میان سیال سرد و گرم به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$A = \frac{Q}{U \,.\, LMTD} \quad (۶)$$

در رابطه فوق $LMTD$ اختلاف متوسط لگاریتمی است که به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{Ln \dfrac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_2)}} \quad (۷)$$

همچنین U ضریب انتقال حرارت کلی است که به‌صورت رابطه ۸ تعریف می‌گردد.

$$U = \left(\frac{1}{h_{h,o}} + \frac{1}{h_{nf}} + Rf \right)^{-1} \quad (۸)$$

در رابطه فوق Rf ضریب گرفتگی، $h_{h,o}$ ضریب انتقال‌حرارت محلول گرم در سطح بیرونی لوله داخلی و h_{nf} ضریب انتقال حرارت نانو سیال (سیال خنک‌کننده) می‌باشند. با توجه به رابطه ۸ برای محاسبه ضریب انتقال‌حرارت کلی باید ضرایب انتقال‌حرارت نانو سیال و محلوم گرم (در سطح بیرونی لوله داخلی) محاسبه شوند. ضریب انتقال‌حرارت محلول گرم تحت رژیم جریان مغشوش ($Re>10000$) طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد[۱۷]:

$$h_h = 0.023 \,\mathrm{Re}_h^{0.8} \,\mathrm{Pr}_h^{0.33} \left(\frac{\mu_{nf}}{\mu_{wnf}}\right)^{0.14} \frac{k_h}{D_i} \quad (۹)$$

در این رابطه:

D_i: قطر داخلی لوله داخلی

$\left(\frac{\mu_{nf}}{\mu_{wnf}}\right)^{0.14}$: فاکتور اصلاحی ویسکوزیته

همچنین اعداد رینولدز و پرانتل محلول گرم در مبدل حرارتی:

$$\mathrm{Re}_h = \frac{\rho_h . \mathrm{u}_h \,.\, \mathrm{D}_i}{\mu_h} \quad (۱۰)$$

$$\mathrm{Pr}_h = \frac{c_{p,h} \mu_h}{k_h} \quad (۱۱)$$

در رابطه ۱۰، u_h سرعت محلول گرم در لوله داخلی می‌باشد.

ضریب انتقال‌حرارت محلول گرم در سطح بیرونی لوله داخلی طبق رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود [۱۷]:

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1390.11.3.1.3]

$$h_{h,o} = h_h \left(\frac{D_i}{D_o} \right) \quad (۱۲)$$

که در این رابطه D_o قطر خارجی لوله داخلی است.

ضریب انتقال‌حرارت نانو سیال که به‌عنوان سیال خنک‌کننده در ناحیه حلقوی مبدل حرارتی و تحت رژیم جریان آرام ($Re<2100$) جریان دارد طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$h_{nf} = 1.86 \left(\mathrm{Re}_{nf} . \mathrm{Pr}_{nf} . \frac{D_{eq}}{L} \right)^{0.33} \left(\frac{\mu_{nf}}{\mu_{wnf}} \right)^{0.14} \frac{k_{nf}}{D_{eq}} \quad (۱۳)$$

در این رابطه:

L: طول انتقال‌حرارت

D_{eq}: قطر معادل و برابر است با:

$$D_{eq} = \frac{(D_s^2 - D_o^2)}{D_o} \quad (۱۴)$$

در رابطه ۱۴، D_s قطر داخلی لوله خارجی است. همچنین اعداد رینولدز و پرانتل نانو سیال در بخش حلقوی برابرند با:

$$\mathrm{Re}_{nf} = \frac{\rho_{nf} . \mathrm{u}_{nf} \ . \mathrm{D}_{eq}}{\mu_{nf}} \quad (۱۵)$$

$$\mathrm{Pr}_{nf} = \frac{c_{p,nf} \mu_{nf}}{k_{nf}} \quad (۱۶)$$

همچنین در این مقاله ضریب اصطکاک (f_n)، افت فشار (Δp_{nf}) و توان پمپاژ[1] (PP) برای نانو سیالات استفاده شده در مبدل حرارتی دولوله‌ای به‌عنوان سیال خنک‌کننده طبق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$f_{nf} = 16 / \mathrm{Re}_{nf} \quad (۱۷)$$

$$\Delta p_{nf} = 2 \frac{f_{nf} L \rho_{nf} u_{nf}^2}{D'_{eq}} \left(\frac{\mu_{nf}}{\mu_{wnf}} \right)^{0.25} \quad (۱۸)$$

$$PP = u_{nf} a_s \Delta p_{nf} \quad (۱۹)$$

در روابط فوق $D'_{eq} = D_s - D_o$ و $a_s = \pi \frac{D_s^2 - D_o^2}{4}$ می‌باشند.

فاکتور اصلاحی ویسکوزیته، نسبت ویسکوزیته نانو سیال در دمای متوسط آن به ویسکوزیته نانو سیال در دمای متوسط دیواره لوله می‌باشد. این فاکتور برای محاسبه دقیق ضرایب انتقال‌حرارت محلول گرم و نانو سیال باید به‌طور دقیق محاسبه شود. اما دمای متوسط دیواره لوله مشخص نیست پس باید آن را محاسبه نمود. در ابتدا فاکتور اصلاحی واحد در نظر گرفته می‌شود و مقادیر $h_{h,o}$ و h_{nf} محاسبه می‌شوند و از رابطه انتقال‌حرارت زیر دمای متوسط دیواره لوله مشخص می‌شود:

$$q_{conv} = h_{nf} (T_w - t_{ave}) = h_{h,o} (T_{ave} - T_w) \quad (۲۰)$$

در این رابطه:

T_w: دمای متوسط دیواره لوله

T_{ave}: دمای متوسط محلول گرم و برابر میانگین دماهای ورودی و خروجی $T_{ave} = \frac{(T_{h,1} + T_{h,2})}{2}$ می‌باشد.

t_{ave}: دمای متوسط نانو سیال و برابر میانگین دماهای ورودی و خروجی $t_{ave} = \frac{t_{nf,1} + t_{nf,2}}{2}$ می‌باشد. همچنین $t_{nf,2}$ برابر است با:

$$t_{nf,2} = t_{nf,1} + \frac{Q}{\dot{m}_{nf} c_{p,nf}} \quad (۲۱)$$

بنابراین با محاسبه دمای متوسط دیواره لوله، فاکتور اصلاحی تعیین می‌شود و ضرایب انتقال‌حرارت محلول گرم و نانو سیال به طور دقیق محاسبه می‌شوند.

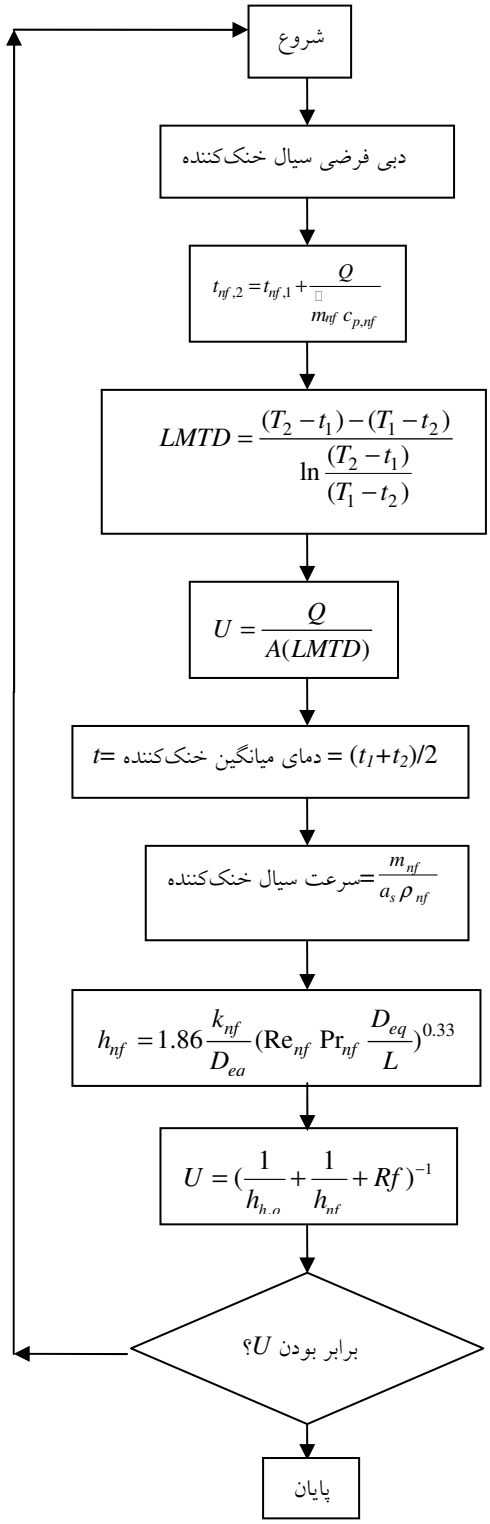
یکی از اهداف این تحقیق، بهینه‌سازی دبی جرمی سیال خنک‌کننده در مبدل حرارتی دولوله‌ای با استفاده از نانو سیالات به‌عنوان سیال خنک‌کننده به‌ازای میزان انتقال‌حرارت مشخصی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1390.11.3.1.3]

می‌باشد. بدین‌صورت که مطابق شکل ۲ در ابتدا دبی جرمی نانو سیال حدس زده می‌شود و طبق رابطه ۲۱ دمای خروجی نانو سیال به‌دست می‌آید. سپس با استفاده از رابطه ۷، اختلاف متوسط لگاریتمی محاسبه شده و از رابطه ۶ ضریب انتقال‌حرارت کلی با مشخص بودن میزان انتقال-حرارت مورد نیاز تعیین می‌شود. این مقدار با مقدار محاسبه شده از رابطه ۸ مقایسه می‌شود و اگر این دو مقدار تقریباً با یکدیگر برابر بودند آنگاه مقدار حدسی دبی جرمی همان بهینه دبی جرمی می‌باشد.

۳- بررسی و تحلیل نتایج

هدایت حرارتی نانو سیالات اتیلن گلیکول حاوی نانو ذرات اکسید آلومینیوم AR، AK وAF در غلظت‌های حجمی $0 \le \phi \le 7\%$ محاسبه شده و در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که افزایش هدایت حرارتی در نانو سیال حاوی اکسید آلومینیوم AK در مقایسه با نانو سیال AR بیشتر بوده است. با توجه به جدول۲ اکسیدهای آلومینیوم AK و AR شکل و اندازه تقریباً یکسانی دارند و مهمترین تفاوت بین آن‌ها خواص آب دوستی سطحی آن‌هاست. به‌طوری که سطح اکسید آلومینیوم AR آب‌دوست و AK آب‌گریز است. این تفاوت روی پایداری و توزیع ذرات در سیال پایه تاثیرگذار می‌باشد. همچنین بیشترین افزایش هدایت حرارتی در نانو سیال حاوی اکسید آلومینیوم AF مشاهده می‌شود. همان‌طور که در جدول ۲ بیان شد شکل نانو ذرات اکسید آلومینیوم AF میله‌ای است و افزایش هدایت حرارتی سیال پایه با ذرات استوانه‌ای شکل به‌علت کشیدگی این ذرات و افزایش سطح انتقال‌حرارت در مقایسه با ذرات کروی، بیشتر می‌باشد. اما استفاده از ذرات کروی به‌علت ارزانی و تولید آسان‌تر آن‌ها متداول‌تر است. البته باید توجه نمود که قطر نانو ذرات AF در مقایسه با دیگر نانو ذرات استفاده شده در این تحقیق کوچکتر بوده و این می‌تواند دلیل دیگری برای افزایش هدایت حرارتی نانو سیال AF باشد.

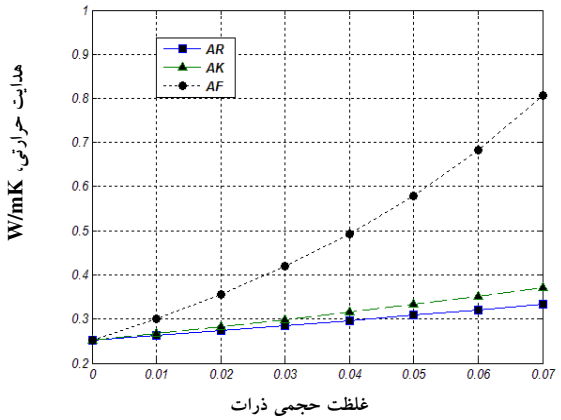


شکل ۲ بهینه‌سازی دبی جرمی سیال خنک‌کننده در مبدل حرارتی دولوله‌ای با استفاده از نانو سیالات به‌عنوان سیال خنک‌کننده

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]

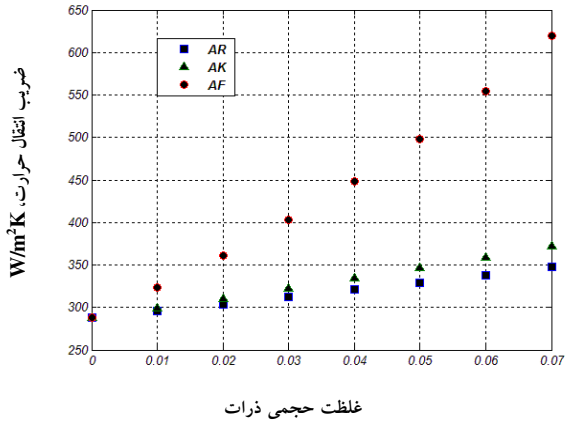
[DOR: 20.1001.1.10275940.1390.11.3.1.3]

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت حجمی نانو ذرات در سوسپانسیون، هدایت حرارتی افزایش یافته است. شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش هدایت حرارتی در نانو سیالات، ضریب انتقال‌حرارت نیز افزایش یافته است. اما افزایش غلظت حجمی نانو ذرات باعث افزایش ویسکوزیته آن شده و در نتیجه باید ضریب انتقال‌حرارت کاهش یابد. بنابراین نتایج به‌دست آمده بیانگر این است که افزایش هدایت حرارتی نانو سیال در مقایسه با افزایش ویسکوزیته آن نقش مهمتری در افزایش انتقال حرارت ایفاء می‌کند. بنابراین افزایش انتقال‌حرارت در نانو سیالات را می‌توان به‌علت افزایش هدایت حرارتی آن دانست. با حرکت نامنظم نانو ذرات در سوسپانسیون، هدایت حرارتی نانو سیال افزایش یافته و باعث تسریع تبادل انرژی میان نانو سیال و دیواره مبدل حرارتی می‌شود. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که افزایش انتقال حرارت در نانو سیال AF در مقایسه با نانو سیالات AR و AK بیشتر بوده است. افزایش بیشتر هدایت حرارتی نانو سیال AF در مقایسه با نانو سیالات AR و AK را می‌توان علت این امر دانست. همچنین شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت حجمی نانو ذرات AR، AK وAF و به‌علت احتمال برخورد بیشتر نانو ذرات با دیواره مبدل حرارتی، ضریب انتقال‌حرارت کلی در مقایسه با سیال پایه افزایش یافته است.



شکل ۳ هدایت حرارتی نانو سیالات AR، AK وAF

همان‌طور که در بخش قبلی بیان شد، دمای دیواره مبدل حرارتی برای یافتن فاکتور اصلاحی ویسکوزیته باید به‌طور دقیق محاسبه شود. شکل ۶، درصد کاهش دمای دیواره را با کاربرد نانو سیالات AR، AK وAF در غلظت‌های حجمی $0 \le \phi \le 7\%$ را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال درصد کاهش دمای دیواره با استفاده از نانو سیالات AR، AK وAF به‌عنوان سیالات خنک‌کننده در $\phi = 2\%$ به‌ترتیب در حدود ۱٪، ۱/۳۶٪ و ۴/۲۵٪ بوده است. شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت حجمی نانو سیالات، دمای دیواره کاهش یافته است. با توجه به مباحث مطرح شده در بخش قبلی، با کاربرد نانو سیالات AR، AK و AF در غلظت‌های حجمی $0 \le \phi \le 7\%$ در مبدل حرارتی دولوله‌ای، درصد کاهش سطح انتقال‌حرارت نسبت به سیال پایه محاسبه شده و در شکل ۷ نشان داده شده است. به‌عنوان مثال مشاهده می‌شود که درصد کاهش سطح انتقال‌حرارت با استفاده از نانو سیالات AR، AK وAF به‌عنوان سیالات خنک‌کننده در $\phi = 2\%$ به‌ترتیب در حدود ۳/۷۳٪، ۵/۰۸٪ و ۱۴/۱۲٪ بوده است.

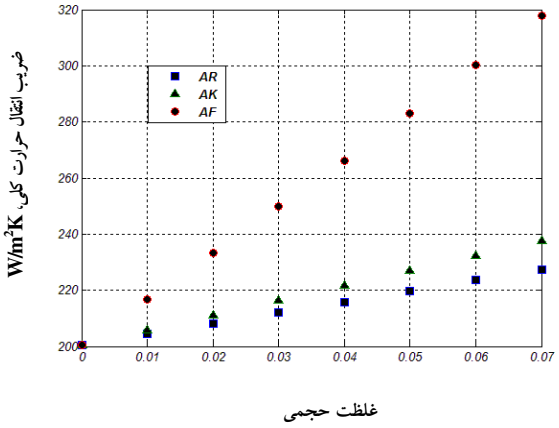


شکل ۴ ضریب انتقال‌حرارت نانو سیالات AR، AK وAF استفاده شده به عنوان سیالات خنک‌کننده در یک مبدل حرارتی دولوله‌ای

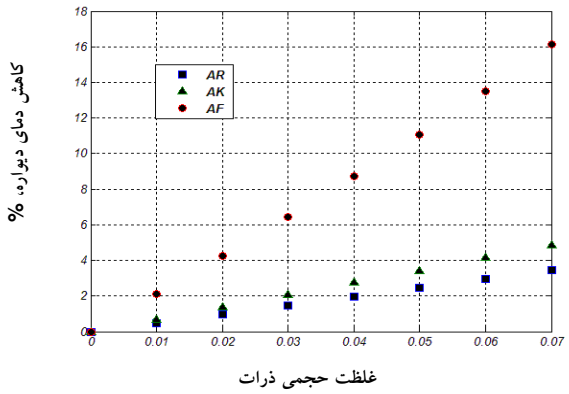
با توجه به شکل ۸ دبی جرمی سیال خنک‌کننده در مبدل حرارتی دولوله‌ای به‌ازای مقدار انتقال‌حرارت مشخصی با استفاده از نانو سیالات AR، AK وAF در مقایسه با سیال

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1390.11.3.1.3]

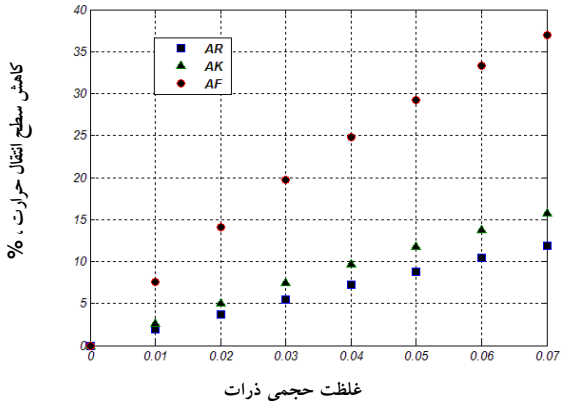
پایه اتیلن گلیکول کاهش یافته است. به‌عنوان مثال مشاهده می‌شود که درصد کاهش دبی جرمی سیال خنک‌کننده با استفاده از نانو سیالات AR، AK وAF به‌عنوان سیالات خنک‌کننده در $\phi = 2\%$ به‌ترتیب در حدود ۷٪، ۱۱/۶۳٪ و۳۵/۴۶٪ بوده است. همچنین باید توجه نمود که افت فشار ایجاد شده در خلال جریان سیال خنک‌کننده یکی از پارامترهای بسیار مهم در تعیین بازدهی استفاده از نانو سیال به‌عنوان سیال خنک‌کننده می‌باشد. در تعیین افت فشار سیال خنک‌کننده، دانسیته و ویسکوزیته سیال بسیار تاثیرگذار می‌باشد به‌طوری که افت فشار در سیال با ویسکوزیته و دانسیته بالاتر بیشتر می‌باشد و این از معایب استفاده از نانو سیال به‌عنوان سیال خنک‌کننده محسوب می‌شود. بنابراین در این مقاله، ضریب اصطکاک، افت فشار و توان پمپاژ برای نانو سیالات AR ، AK وAF در مبدل حرارتی دولوله‌ای محاسبه شده و نتایج به‌دست آمده در اشکال ۹ تا ۱۱ نشان داده شده است. به‌عنوان مثال مشاهده می‌شود که افزایش توان پمپاژ نانو سیالات AR، AK وAF در $\phi = 2\%$ به‌ترتیب در حدود ۳٪، ۴/۲٪ و۱۱/۹٪ بوده است. این نشان می‌دهد که با استفاده از نانو سیالات AF در مبدل حرارتی علیرغم افزایش بیشتر انتقال حرارت نسبت به دیگر نانو سیالات استفاده شده در این تحقیق شاهد افزایش بیشتر توان پمپاژ و بالا رفتن هزینه‌ها هستیم. همچنین با دقت بیشتر در نتایج نشان داده شده در اشکال ۹ تا ۱۱ متوجه می‌شویم که افزایش ضریب اصطکاک، افت فشار و توان پمپاژ برای نانو سیالات AR ، AK وAF در مبدل حرارتی در غلظت‌های بالاتر چشمگیرتر بوده است. به‌عنوان مثال با استفاده از نانو سیال AR در مبدل حرارتی در غلظت‌های حجمی $\phi = 3\%$ و $\phi = 7\%$ افزایش ضریب اصطکاک در مقایسه با سیال پایه به‌ترتیب در حدود ۲/۸٪ و ۶٪ بوده است. همچنین افزایش توان پمپاژ نیز به‌ترتیب در حدود ۴/۵٪ و ۹/۷۴٪ بوده است.



شکل ۵ ضریب انتقال‌حرارت کلی نانو سیالات AR، AK وAF استفاده شده به‌عنوان سیالات خنک‌کننده در یک مبدل حرارتی دولوله‌ای



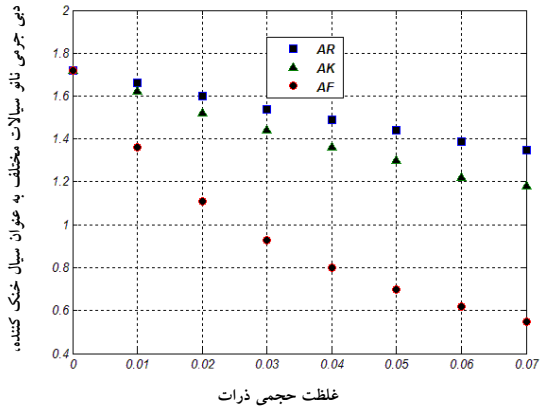
شکل ۶ درصد کاهش دمای دیواره مبدل حرارتی با کاربرد نانو سیالات



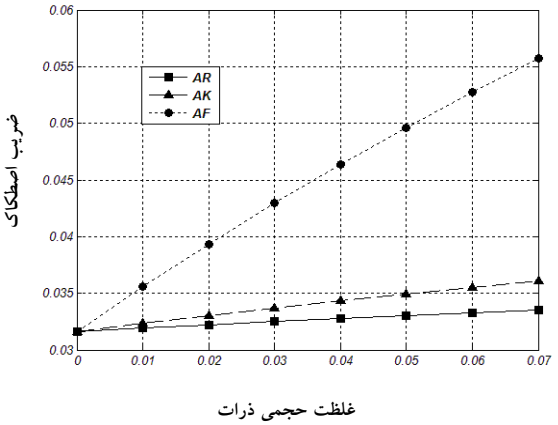
شکل ۷ درصد کاهش سطح انتقال‌حرارت با کاربرد نانو سیالات

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]

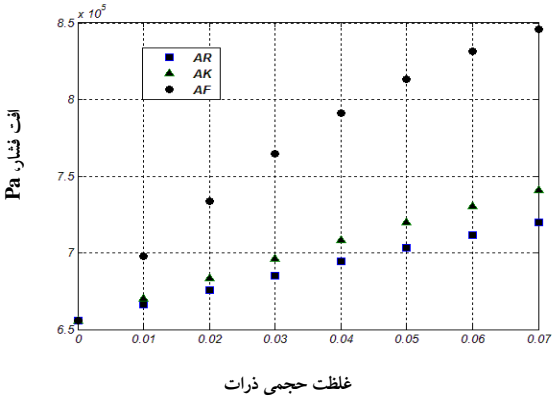
[DOR: 20.1001.1.10275940.1390.11.3.1.3]



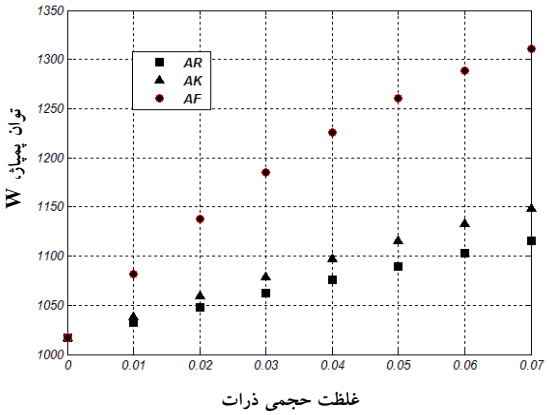
شکل ۸ کاهش دبی جرمی سیال خنک‌کننده در یک مبدل حرارتی دولوله‌ای با استفاده از نانو سیالات AR، AK وAF



شکل ۹ محاسبه ضریب اصطکاک برای نانو سیالات AR ، AK وAF



شکل ۱۰ افت فشار ایجاد شده در نانو سیالات AR، AK وAF



شکل ۱۱ توان پمپاژ مورد نیاز برای نانو سیالات AR، AK وAF در مبدل حرارتی دولوله‌ای

۴- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، تاثیر تماس بین نانو ذرات و سیال پایه به‌عنوان یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در انتقال‌حرارت نانو سیالات بررسی شده است. بدین‌صورت که با افزودن سه نمونه متفاوت نانو اکسیدهای آلومینیومی AR، AK وAF که از لحاظ خواص سطح، شکل و اندازه با هم تفاوت دارند به سیال پایه اتیلن گلیکول در غلظت‌های حجمی $0 \le \phi \le 7\%$، کاربرد نانو سیالات AR، AK وAF به‌عنوان سیالات خنک‌کننده در مبدل حرارتی دو لوله‌ای تحت شرایط جریان آرام بحث و بررسی گردید. در ابتدا میزان کاهش سطح انتقال‌حرارت و دبی جرمی سیال خنک‌کننده در مبدل حرارتی دولوله‌ای با افزودن نانو ذرات AR، AK و AF به سیال پایه اتیلن گلیکول در غلظت‌های حجمی $0 \le \phi \le 7\%$ بررسی شد. سپس ضریب اصطکاک، افت فشار و توان پمپاژ این نانو سیالات در مبدل حرارتی دولوله‌ای محاسبه گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که به‌علت اینکه سطح اکسید آلومینیوم AR آب‌دوست و AK آب‌گریز است، افزایش انتقال‌حرارت در نانو سیال AK در مقایسه با AR بیشتر بوده است. بیشترین افزایش انتقال‌حرارت در نانو سیالات AF مشاهده شد. زیرا شکل نانو ذرات اکسید آلومینیوم AF میله‌ای است و افزایش هدایت حرارتی سیال پایه با ذرات استوانه‌ای شکل به‌علت کشیدگی این ذرات و افزایش سطح

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1390.11.3.1.3]

انتقال‌حرارت در مقایسه با ذرات کروی، بیشتر می‌باشد. البته کوچکتر بودن قطر نانو ذرات AF در مقایسه با دیگر نانو ذرات استفاده شده در این تحقیق می‌تواند دلیل دیگری برای افزایش هدایت حرارتی نانو سیال AF باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از نانو سیالات AF در مبدل حرارتی علیرغم افزایش بیشتر انتقال‌حرارت نسبت به دیگر نانو سیالات استفاده شده سبب افزایش توان پمپاژ و بالا رفتن هزینه‌ها نیز خواهد گردید.

۵-تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد آبادان به‌واسطه حمایت از این کار تحقیقاتی، اعلام می‌نمایند.

۶- مراجع

[1] S.U.S. Choi, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, Developments and Applications of Non-Newtonian Flows FED-vol. 231/MD-vol. 66,(1995), pp. 99–105.

[2] S.Z. Heris, S.Gh. Etemad, M.N. Esfahany, Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer, Int. Communications in Heat and Mass Transfer 33 (2006) 529–53.

[3] M.N. Pantzali, A.A. Mouza, S.V. Paras, Investigating the efficacy of nanofluids as coolants in plate heat exchangers (PHE), Chem. Eng. Science 64 (2009) 3290 – 3300.

[4] S. Kakaç, A. Pramuanjaroenkij, Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids, Int. J. Heat and Mass Transfer 52 (2009) 3187–3196.

[5] R.S. Vajjha, D.K. Das, P.K. Namburu, Numerical study of fluid dynamic and heat transfer performance of Al_2O_3 and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator, Int. J. Heat and Fluid Flow 31 (2010) 613–621.

[6] H. Demir, A.S. Dalkilic, N.A. Kurekci, B. Kelesoglu, S. Wongwises, A numerical investigation of nanofluids forced convection flow in a horizontal smooth tube, Int. Heat Transfer Conference, ASME, (2010), August 8–13, USA.

[7] L. Godson, B. Raja, D.M. Lal, S. Wongwises, Enhancement of heat transfer using nanofluids-An overview, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 629-641.

[8] D. Faulkner, M. Khotan, R. Shekarriz, Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, IEEE, San Jose, CA, United States, (2003), pp.223-230.

[9] C.Y. Tsai, H.T. Chien, P.P. Ding, B. Chan, T.Y. Luh, P.H. Chen, Mater. Lett. 58 (2004) 1461–1465.

[10] J.K. Kim, J.Y. Jung, Y.T. Kang, Int. J. Refrig. 29 (2006) 22–29.

[11] C.T. Nguyen, G. Roy, C. Gauthier, N. Galanis, Appl. Therm. Eng. 27 (2007) 1501–1506.

[12] Srikan RR, Rao DN, Subrahmanyam MS, Vamsi KP, Applicability of cutting fluids with nanoparticle inclusion ascoolants in machining. Proc IMechE Part J: Eng Tribol (2009); 223.

[13] H.A. Mohammed, G. Bhaskaran, N.H. Shuaib, R. Saidur, Heat transfer and fluid flow characteristics in microchannels heat exchanger using nanofluids: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 1502-1512.

[14] Xuan, Y., Roetzel, W., Conceptions of heat transfer correlation of nanofluids. Int. J. Heat Mass Transfer 43, (2000) 3701-3707.

[15] H. U. Kang, J. M. Oh S. H. Kim, Exp. Heat Transfer, 19, 181 (2006).

[16] B. H. Chun, H. k. Kang, S. H. Kim, Effect of alumina nanoparticles in the fluid on heat transfer in double-pipe heat exchanger system, Korean J. Chem. Eng., 25(5), (2008) 966-971.

[17] E. Cao, heat transfer in process engineering, New York: McGraw-Hill, (2010).

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-25]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1390.11.3.1.3]