

مطالعه عددی عملکرد حرارتی نانو سیال آب- اتیلن گلیکول- اکسید آلومینیوم در رادیاتور موتور دیزل خودرو

در مقاله حاضر، کاربرد نانو سیال متشکل از مخلوط آب و اتیلن گلیکول (به عنوان ماده ضدیخ) حاوی نانو ذرات ۲۸ نانومتری اکسید آلومینیوم تا حداکثر غلظت حجمی ۲٪ در رادیاتور موتور دیزلی شورلت سوبریان تحت شرایط جریان مغشوش به صورت عددی مطالعه شده است. روابط انتقال حرارت میان نانو سیال و جریان هوا در رادیاتور برای محاسبه ضریب انتقال حرارت، ضریب انتقال حرارت کلی و توان پمپاژ نانو سیال آب- اتیلن گلیکول- اکسید آلومینیوم استخراج شده اند. در مقاله حاضر، تاثیر سرعت خودرو و عدد رینولدز نانو سیال در غلظت های حجمی مختلف بر روی عملکرد رادیاتور خودرو مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهند که ضریب انتقال حرارت کلی نانو سیال آب- اتیلن گلیکول- اکسید آلومینیوم در غلظت حجمی ۲٪ و در عدد رینولدز ۶۰۰۰ در سرعت ۷۰ کیلومتر در ساعت نسبت به سیال پایه (آب- اتیلن گلیکول) حدود ۱۰/۶۳٪ افزایش یافته است.

نوید بزرگان^۱

مربی

واژه های راهنما: رادیاتور موتور دیزل خودرو، نانو سیال، جریان مغشوش، ضریب انتقال حرارت کلی

۱- مقدمه

طراحان خودرو نیاز شدید به ارتقای سیستم خنک کنندگی خودروها جهت دستیابی به بهترین طراحی خودرو از جنبه های مختلف عملکرد و بازدهی، مصرف سوخت، زیبایی و ایمنی دارند. در سیستم خنک کاری خودرو، طراحی بهینه رادیاتور اهمیت ویژه ای دارد. در صورتی که سیالات خنک کننده بتوانند حرارت را با سرعت بالایی انتقال دهند، با ایجاد توانایی در دفع حرارت بیشتر می توان موتور اتومبیل را با قدرت بیشتر و با رادیاتور در ابعاد کوچکتر ساخت. راه حلی که در دهه اخیر به کمک مهندسی سیالات آمده است و به بهبود ویژگی های انتقال حرارت سیالات رایج حامل انرژی منتهی شده است تکنولوژی نانو است. استفاده از ذرات با اندازه نانومتری در سیال خالص پایه به منظور افزایش هدایت حرارتی آن و حذف مشکلاتی که مخلوط های حاوی ذرات میلی متری و میکرومتری داشتند برای اولین بار در آزمایشگاه ملی آرگون آمریکا توسط چوی و همکاران [۱] در سال (۱۹۹۵) مطرح شد و آن ها این سوسپانسیون را نانو سیال نامیدند. در ده سال گذشته بسیاری از محققین خواص انتقال حرارت نانو سیالات گوناگون را در کاربردهای مختلف انتقال حرارت بررسی نموده اند.

پیغمبرزاده و همکاران [۲] افزایش انتقال حرارت جابه‌جایی نانو سیالات آب و اتیلن گلیکول حاوی نانو ذرات اکسید آلومینیوم تا حداکثر غلظت حجمی ۱٪ را در رادیاتور خودرو به‌صورت تجربی و تحت شرایط جریان-های آرام و مغشوش بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند که در بهترین شرایط، عدد ناسلت برای هر دو نانو سیال نسبت به سیالات پایه حداکثر ۴۰٪ افزایش یافته است. اولیور و همکاران [۳] کاربرد نانو سیالات در واترژاکت^۱ یک موتور گازی با احتراق جرقه‌ای را به‌عنوان سیال خنک‌کننده به‌صورت عددی تحلیل و بررسی نمودند. وجهها و همکاران [۴] افزایش انتقال حرارت جابه‌جایی نانو سیالات حاوی نانو ذرات اکسید آلومینیوم و اکسید مس با سیال پایه مخلوط آب و اتیلن گلیکول را در رادیاتور خودرو به‌صورت عددی و در جریان آرام بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که ضریب متوسط انتقال حرارت جابه‌جایی در عدد رینولدز ۲۰۰۰ برای نانو سیال اکسید آلومینیوم با غلظت حجمی ۱۰٪ و نانو سیال اکسید مس با غلظت حجمی ۶٪ نسبت به سیال پایه به‌ترتیب در حدود ۹۴٪ و ۸۹٪ افزایش یافته است. آن‌ها بیان کردند که ضریب متوسط انتقال حرارت جابه‌جایی با افزایش عدد رینولدز و همچنین غلظت حجمی نانو ذرات افزایش می‌یابد. در کار حاضر کارایی استفاده از نانو سیال آب- اتیلن گلیکول- اکسید آلومینیوم به‌عنوان سیال خنک-کننده در رادیاتور موتور دیزلی ۸ سیلندر شورت سوپربان مجهز به توربوشارژر بر پایه روابط تجربی ترموفیزیکی توسعه یافته مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج بدست آمده با سیال پایه مقایسه شده است.

۲- پیش‌بینی خواص ترموفیزیکی نانو سیال

در این تحقیق از نانو سیال متشکل از نانو ذرات اکسید آلومینیوم کروی شکل به قطر $d_p = 28 \text{ nm}$ و سیال پایه مخلوط ۶۰ درصد اتیلن گلیکول در آب به‌عنوان سیال خنک‌کننده در رادیاتور موتور دیزل مطابق شکل (۱) استفاده شده است. این رادیاتور ۶۴۴ لوله تخت برنجی و ۳۴۶ فن مسی دارد [۵ و ۶]. استفاده از لوله تخت به‌علت درگ کمتر که در برخورد با جریان هوا ایجاد می‌شود نسبت به لوله دایره‌ای در رادیاتور متداول-تر است. مشخصات این رادیاتور در جدول (۱) داده شده است.

جدول (۲) خواص ترموفیزیکی نانو ذرات اکسید آلومینیوم و سیالات اتیلن گلیکول و آب را نشان می‌دهد. از آنجائی که دمای ورودی و خروجی سیال خنک‌کننده به رادیاتور به‌ترتیب ۱۱۰ و ۴۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد بنابراین خواص فیزیکی آب و اتیلن گلیکول در دمای متوسط $79/5^\circ \text{C}$ محاسبه شده است.

در ابتدا، چگالی ρ_{nf} و گرمای ویژه به‌طور جداگانه برای نانو سیالات با سیالات پایه آب و اتیلن گلیکول در غلظت‌های حجمی $0 \leq \phi \leq 2\%$ نانو ذرات به‌ترتیب با استفاده از روابط پاک [۷] و شوان [۸] محاسبه می‌شوند:

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

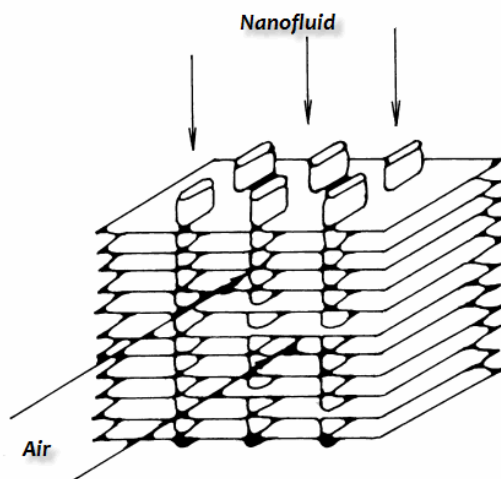
$$c_{p,nf} = \frac{(1 - \phi)\rho_{bf}c_{p,bf} + \phi\rho_p c_{p,p}}{\rho_{nf}} \quad (2)$$

در رابطه (۱)، ρ_p و ρ_{bf} به‌ترتیب چگالی سیال پایه و نانو ذرات و در رابطه (۲)، $c_{p,p}$ و $c_{p,bf}$ به‌ترتیب گرمای ویژه سیال پایه و نانو ذرات می‌باشند. سپس با استفاده از رابطه زیر برای نانو سیال با سیال پایه مخلوط ۶۰ درصد اتیلن گلیکول در آب، چگالی و گرمای ویژه محاسبه می‌شود [۹]:

¹ Water Jacket

$$\xi_m = 0.573\xi_{EG} + (1 - 0.573)\xi_{water} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، زیرنویس m اشاره به مخلوط اتیلن گلیکول در آب دارد. ξ می‌تواند خواص ترموفیزیکی همچون چگالی، گرمای ویژه و ضریب هدایت حرارتی و یا ضریب پخشش حرارتی باشد.



شکل ۱- شماتیک رادیاتور استفاده شده در تحقیق

جدول ۱- مشخصات رادیاتور استفاده شده در تحقیق

کمیت	طرف هوا	طرف سیال خنک‌کننده
مساحت پیشانی رادیاتور، ($h \times w$)	$0.06m \times 0.05m$	
ضخامت فین، t	0.01 cm	
طول فین (که در گرمایش متقارن نصف این طول در نظر گرفته شده است)، L	0.04 m	
قطر هیدرولیکی، D_h	0.0351 cm	0.0373 cm
نسبت مساحت انتقال حرارت به حجم کل، α	۸۸۶	۱۳۸
نسبت مساحت کل سطح فین به مساحت کل سطح انتقال حرارت، A_f/A	0.845	

جدول ۲- خواص فیزیکی آب، اتیلن گلیکول و نانو ذرات Al_2O_3

گرمای ویژه (J/kgK)	چگالی (kg/m^3)	ضریب هدایت حرارتی (W/mK)	ویسکوزیته دینامیکی (kg/ms)	دمای انجماد ($^{\circ}C$)
۴۱۹۷	۹۷۱	۰/۶۶۹	۰/۰۰۰۳۵	۰
۲۶۴۹	۱۰۷۸	۰/۲۶۱	۰/۰۰۰۳۲	-۱۲
۷۶۵	۳۹۷۰	۳۶	-	-

در تحقیق حاضر، ویسکوزیته نانو سیال با استفاده از مدل کورسیون [۱۰] پیش‌بینی شده است. این مدل در سال (۲۰۱۱) و بر اساس تجزیه و تحلیل رگرسیونی با احتمال خطای ۱/۸۶٪ به صورت زیر ارائه شده است:

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_{bf}}{1 - 34.87(d_p / d_{bf})^{-0.3} \phi^{1.03}} \quad (۴)$$

در رابطه (۴)، μ_{bf} ویسکوزیته سیال پایه می‌باشد که برای سیال پایه ۶۰ درصد اتیلن گلیکول در آب برحسب سانتی‌پواز و در محدوده دمایی $293K \leq T \leq 363K$ طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$\mu_{bf} = 0.555 \times 10^{-3} e^{\left(\frac{2664}{T}\right)} \quad (۵)$$

در رابطه (۴)، d_p قطر نانو ذرات و d_{bf} قطر معادل یک مولکول سیال پایه است که طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۰]:

$$d_f = 0.1 \left(\frac{6M}{N\pi\rho_{bf0}} \right)^{1/3} \quad (۶)$$

در رابطه ۶، $N = ۶/۰۲۲۱ \times ۱۰^{۲۳} \text{ mol}^{-1}$ عدد آووگادرو، M وزن مولکولی سیال پایه و ρ_{bf0} چگالی سیال پایه در دمای $T_0 = ۲۹۳^\circ\text{K}$ است که در این تحقیق $d_f = ۰/۵۰۵ \text{ nm}$ محاسبه شده است. در تحقیق حاضر، هدایت حرارتی موثر نانو سیال با استفاده از مدل کورسیون [۱۰] طبق رابطه زیر پیش‌بینی شده است:

$$\frac{k_{eff}}{k_{bf}} = 1 + 4.4Re^{0.4}Pr^{0.66} \left(\frac{T}{T_{fr}} \right)^{10} \left(\frac{k_p}{k_{bf}} \right)^{0.03} \phi^{0.66} \quad (۷)$$

در رابطه فوق، T و T_{fr} به ترتیب دمای سیال پایه و دمای انجماد سیال پایه، Pr عدد پرانتل سیال پایه و Re عدد رینولدز است که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$Re = \frac{2\rho_{bf}k_bT}{\pi\mu_{bf}^2d_p} \quad (۸)$$

در رابطه فوق k_b ثابت بولتزمن و برابر با $۱/۳۸۰۷ \times ۱۰^{-۲۳} \text{ J/k}$ است.

در ابتدا ضریب هدایت حرارتی موثر برای نانو سیالات با سیالات پایه آب و اتیلن گلیکول تا حداکثر غلظت حجمی ۲٪ با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شده است و سپس با استفاده از رابطه (۳) ضریب هدایت حرارتی نانو سیال با سیال پایه ۶۰ درصد اتیلن گلیکول در آب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\left(\frac{k_{nf}}{k_m} \right) = 0.573 \left(\frac{k_{eff}}{k_{bf}} \right)_{EG} + (1 - 0.573) \left(\frac{k_{eff}}{k_{bf}} \right)_{Water} \quad (۹)$$

در رابطه (۹)، $k_m = ۰/۳۹ \text{ W/mK}$ ضریب هدایت حرارتی مخلوط ۶۰ درصد اتیلن گلیکول در آب در دمای متوسط $۷۹/۵^\circ\text{C}$ است.

۳- مدل سازی هیدرولیکی و حرارتی

۳-۱- مدل سازی حرارتی

با محاسبه خواص ترموفیزیکی نانو سیال در غلظت‌های حجمی مختلف، در این بخش مدل ریاضی بر اساس اصول انتقال حرارت میان هوا و نانوسیال درون رادیاتور ارائه می‌گردد. فرضیات ذیل در این مدل در نظر گرفته شده است:

- جریان سیال تراکم ناپذیر، پایدار و مغشوش است.
- تاثیر نیروهای حجمی ناچیز است.
- خواص ترموفیزیکی نانو سیال ثابت است.
- انتقال حرارت تک فازی برای نانو سیال در نظر گرفته شده است.

الف) محاسبات مرتبط با جریان هوا

میزان انتقال حرارت میان نانو سیال در رادیاتور و جریان هوا برابر است با:

$$Q = \dot{m}_{nf} c_{p,nf} (T_1 - T_2) \cong \dot{m}_{air} c_{p,air} (t_2 - t_1) \quad (10)$$

دماهای ورودی و خروجی سیال خنک‌کننده به رادیاتور به ترتیب $T_1 = 110^\circ\text{C}$ و $T_2 = 49^\circ\text{C}$ می‌باشد و همچنین در این تحقیق دمای هوای ورودی $t_1 = 32^\circ\text{C}$ و t_2 برابر است با:

$$t_2 = t_1 + \frac{Q}{\dot{m}_{air} c_{p,air}} \quad (11)$$

همچنین در رابطه ۱۰، \dot{m}_{nf} دبی جرمی نانو سیال (سیال گرم) و \dot{m}_{air} دبی جرمی هوا (سیال سرد) طبق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\dot{m}_{nf} = \rho_{nf} \eta_{vol,p} Q_p \quad (12)$$

$$\dot{m}_{air} = \rho_{air} V_{vehicle} (h \times W) \quad (13)$$

در روابط فوق، $V_{vehicle}$ سرعت خودرو، $\eta_{vol,p}$ و Q_p به ترتیب بازدهی حجمی پمپ و دبی اسمی حجمی پمپ می‌باشند. در این تحقیق از پمپی با بازده حجمی ۸۰٪ و دبی نامی حجمی ۳۱۷ گالن در ساعت استفاده شده است.

در تحقیق حاضر، ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی هوا طبق رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$h_{air} = \frac{J_a Re_a \mu_a C_{p,a}}{Pr_a^{2/3} D_{h,a}} \left(\frac{\mu_{nf}}{\mu_{wnf}} \right)^{0.14} \quad (14)$$

در رابطه (۱۴)، $\left(\frac{\mu_{nf}}{\mu_{wnf}} \right)^{0.14}$ فاکتور اصلاحی ویسکوزیته می‌باشد که به صورت ویسکوزیته نانو سیال در

دمای متوسط آن به ویسکوزیته نانو سیال در دمای متوسط دیواره لوله تخت تعریف می‌شود. همچنین :

$$c_{p,air} = 1007 \text{ J/kgK}, Pr_a = 7057/0, \mu_a = 0.00001889 (\text{N.s/m}^2)$$

اعدد رینولدز و کولبرن هوا طبق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$Re_a = \frac{G_a D_{h,a}}{\mu_a} \quad (15)$$

$$J_a = \frac{0.174}{Re_a^{0.383}} \quad (16)$$

در رابطه (۱۵)، G_a سرعت جرمی هوا است.

ب) محاسبات مرتبط با جریان نانو سیال

در تحقیق حاضر، ضریب انتقال حرارت نانو سیال طبق رابطه (۱۷) محاسبه شده است. این رابطه توسط لی و شوان در سال (۲۰۰۲) [۱۲] برای پیش‌بینی ضریب انتقال حرارت نانو سیالات در جریان مغشوش تا حداکثر غلظت حجمی ۲٪ به صورت زیر ارائه شده است:

$$\frac{h_{nf} D_{h,nf}}{k_{nf}} = Nu_{nf} = 0.0059 \left(1.0 + 7.6286 \phi^{0.6886} Pe_d^{0.001} \right) \times Re_{nf}^{0.9238} Pr_{nf}^{0.4} \left(\frac{\mu_{nf}}{\mu_{wnf}} \right)^{0.14} \quad (17)$$

در این رابطه، اعداد بی بعد پکلت، رینولدز و پرانتل نانو سیال برابرند با:

$$Pe_d = \frac{u_{nf} d_p}{\alpha_{nf}} \quad (18)$$

$$Re_{nf} = \frac{\rho_{nf} u_{nf} D_{h,nf}}{\mu_{nf}} \quad (19)$$

$$Pr_{nf} = \frac{c_{p,nf} \mu_{nf}}{k_{nf}} \quad (20)$$

در رابطه (۱۸)، u_{nf} سرعت نانو سیال و α_{nf} ضریب پخشش حرارتی نانو سیال برابر است با:

$$\alpha_{nf} = \frac{k_{nf}}{\rho_{nf} c_{p,nf}} \quad (21)$$

ج) محاسبات انتقال حرارت کلی

مساحت کل سطح انتقال حرارت در رادیاتور (مساحت کل سطح فین به علاوه مساحت کل سطح لوله‌های رادیاتور) با محاسبه میزان انتقال حرارت تبادل شده میان نانو سیال و هوا به صورت زیر بدست می‌آید:

$$A = \frac{Q}{U \times LMTD} \quad (22)$$

در رابطه فوق، $LMTD$ اختلاف متوسط لگاریتمی است که طبق رابطه (۲۳) تعریف می‌گردد:

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_2)}} \quad (23)$$

همچنین U ضریب انتقال حرارت کلی است که به صورت رابطه زیر تعریف می‌گردد [۶]:

$$U = \left(\frac{1}{\eta_o h_{air}} + \frac{1}{\left(\frac{\alpha_{nf}}{\alpha_{air}} \right) h_{nf}} + Rf \right)^{-1} \quad (24)$$

در رابطه فوق h_{air} ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی هوا، η_o کارایی دمایی سطح کلی فین‌ها و h_{nf} ضریب انتقال حرارت نانو سیال و Rf ضریب گرفتگی می‌باشند. همچنین α نسبت مساحت انتقال حرارت به حجم کل است که مقادیر آن برای نانو سیال و جریان هوا در جدول (۱) داده شده است. در رابطه (۲۴)، کارایی دمایی سطح کلی فین‌ها را می‌توان طبق رابطه زیر بدست آورد:

$$\eta_o = 1.0 - (1.0 - \eta_f) \times \frac{A_f}{A} \quad (25)$$

در رابطه فوق، η_f بازده یک فین و برابر است با:

$$\eta_f = \frac{\tanh\left(\sqrt{\frac{2h_{air}}{kt}} \times L\right)}{\sqrt{\frac{2h_{air}}{kt}} \times L} \quad (26)$$

در رابطه ۲۶، k ضریب هدایت حرارتی فین مسی برابر با 377 W/mK است.

۳-۲- مدل‌سازی هیدرولیکی

در این تحقیق ضریب اصطکاک فانیگ (f_n)، افت فشار (Δp_{nf}) و توان پمپاژ (PP) برای نانو سیال درون لوله‌های تخت رادیاتور طبق روابط زیر محاسبه می‌شوند [۶]:

$$f_{nf} = 0.079 \times (Re_{nf})^{-0.25} \quad (27)$$

$$\Delta p_{nf} = 2 \frac{G_{nf}^2 \times f_{nf} \times H}{\rho_{nf} \times D_{h,nf}} \left(\frac{\mu_{nf}}{\mu_{wnf}} \right)^{0.25} \quad (28)$$

$$PP = Q_p \times \Delta p_{nf} \quad (29)$$

در رابطه (۲۸)، H طول کلی جریان نانو سیال در رادیاتور می‌باشد. در این تحقیق، طول کلی جریان نانو سیال در رادیاتور (H) با مشخص کردن مساحت کل سطح لوله‌های رادیاتور (A_t) طبق روابط زیر محاسبه شده است:

$$A_t = A - A_f \quad (30)$$

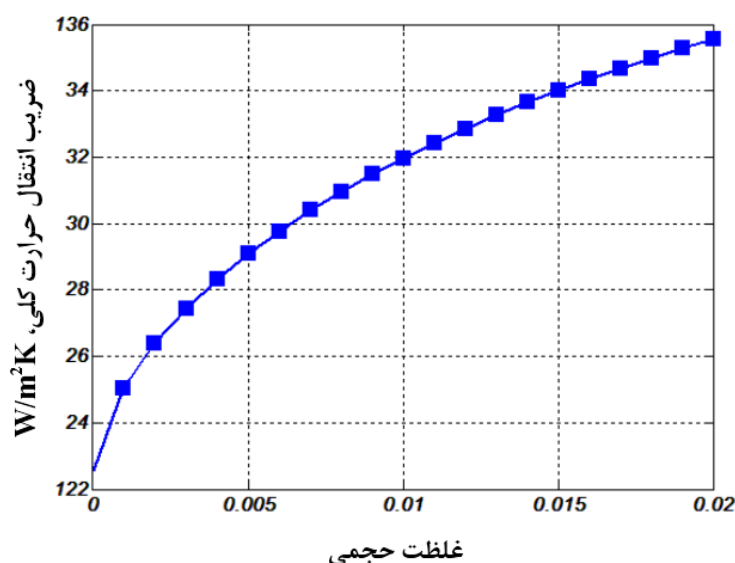
$$A_t = \pi \times D_{h,nf} \times H \quad (31)$$

۴- بررسی و تحلیل نتایج

۴-۱- ضریب انتقال حرارت کلی

در تحقیق حاضر، ضریب انتقال حرارت کلی برای نانو سیال آب- اتیلن گلیکول- اکسید آلومینیوم به عنوان سیال خنک کننده در رادیاتور خودرو در غلظت‌های مختلف حجمی و در مقادیر مختلف عدد رینولدز و سرعت خودرو به صورت عددی محاسبه شده و در شکل‌های (۲) تا (۴) نشان داده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که با استفاده از نانو سیال در رادیاتور خودرو می‌توان ضریب انتقال حرارت کلی را افزایش داده و در نتیجه مساحت کل سطح انتقال حرارت را کاهش داد.

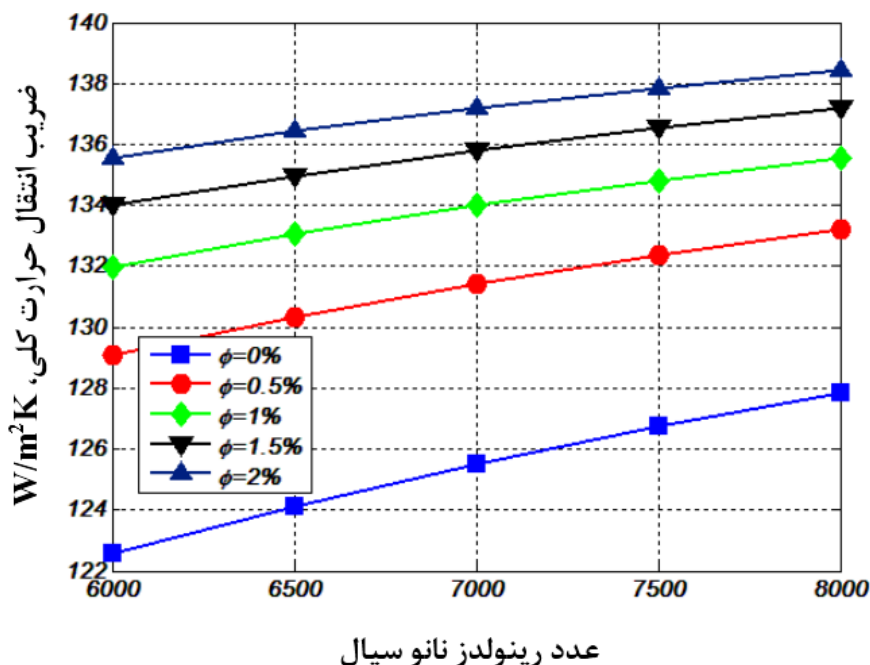
شکل (۲) نشان می‌دهد که با افزایش غلظت حجمی نانو سیال به علت احتمال برخورد بیشتر نانو ذرات با دیواره لوله‌های رادیاتور، ضریب انتقال حرارت کلی در مقایسه با سیال پایه افزایش می‌یابد. با حرکت نامنظم نانو ذرات در سوسپانسیون، هدایت حرارتی نانو سیال افزایش یافته و باعث تسریع تبادل انرژی میان نانو سیال و دیواره مبدل حرارتی می‌شود. در این تحلیل، عدد رینولدز نانو سیال ۶۰۰۰ و سرعت خودرو ۷۰ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل (۲) مشاهده می‌شود که ضریب انتقال حرارت کلی نانو سیال در غلظت‌های حجمی ۰/۱٪ و ۰/۲٪ نسبت به سیال پایه در حدود ۰/۲٪ و ۱۰/۶۳٪ افزایش یافته است.



شکل ۲- ضریب انتقال حرارت کلی در رادیاتور ($Re_{nf}=6000$ و سرعت خودرو ۷۰ کیلومتر در ساعت)

عدد رینولدز سیال خنک کننده رادیاتور در برآورد عملکرد حرارتی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. اگر سیال خنک کننده به طور مناسبی کنترل نشود ممکن است موتور بسیار داغ و یا بسیار سرد گردد. معمولاً محرک پمپاژ سیال خنک کننده، موتور خودرو می‌باشد که ترموستات نقش بسیار مهمی در کنترل عدد رینولدز سیال خنک کننده دارد. با توجه به شکل (۳) ضریب انتقال حرارت کلی در رادیاتور، با افزایش عدد رینولدز سیال خنک کننده، افزایش می‌یابد که این افزایش در نانو سیال نسبت به سیال پایه بیشتر می‌باشد. در این تحلیل، سرعت خودرو ۷۰ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال مشاهده می‌شود که

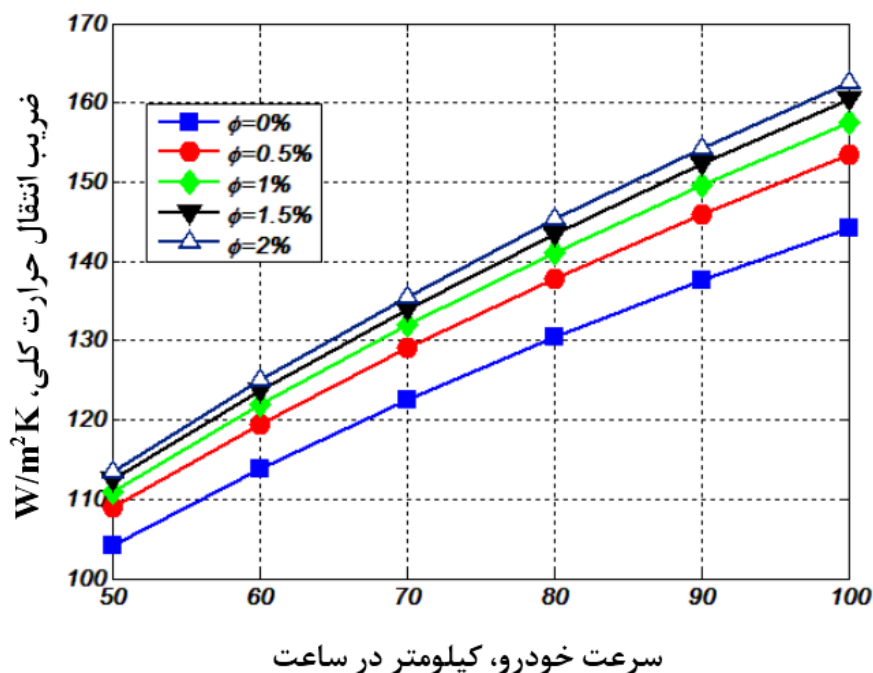
ضریب انتقال حرارت کلی نانو سیال با غلظت حجمی ۲٪ در عدد رینولدز ۸۰۰۰ در مقایسه با مقدار این ضریب در عدد رینولدز ۶۰۰۰ در حدود ۲/۱۲٪ افزایش یافته است.



شکل ۳- ضریب انتقال حرارت کلی در رادیاتور در اعداد رینولدز و غلظت‌های مختلف نانو سیال

در تحقیق حاضر، تاثیر عدد رینولدز هوا روی ضریب انتقال حرارت کلی رادیاتور با در نظر گرفتن سرعت‌های مختلف خودرو تحلیل و بررسی شده و نتایج بدست آمده در شکل (۴) نشان داده شده است. دبی جرمی هوا با افزایش سرعت خودرو افزایش یافته و بنابراین عدد رینولدز هوا نیز افزایش می‌یابد. با افزایش عدد رینولدز هوا، سرعت جرمی هوا افزایش (مطابق رابطه ۱۵) و کولبرن هوا (مطابق رابطه ۱۶) کاهش می‌یابد. اما نتایج نشان داده شده در شکل (۴) نشان می‌دهد که ضریب انتقال حرارت کلی به علت افزایش ضریب انتقال حرارت هوا با افزایش سرعت خودرو و عدد رینولدز افزایش می‌یابد. بنابراین سرعت جرمی هوا در مقایسه با کولبرن هوا در ضریب انتقال حرارت هوا تاثیر بیشتری دارد. در این تحلیل، عدد رینولدز نانو سیال ۶۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

با توجه به شکل (۴) ضریب انتقال حرارت کلی با افزایش سرعت خودرو افزایش یافته و این افزایش در غلظت‌های بالاتر نانو سیال بیشتر می‌باشد. به عنوان مثال مشاهده می‌شود که ضریب انتقال حرارت کلی نانو سیال با غلظت حجمی ۲٪ در سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت نسبت به ۵۰ کیلومتر در ساعت در حدود ۱۰/۲٪ افزایش یافته است.

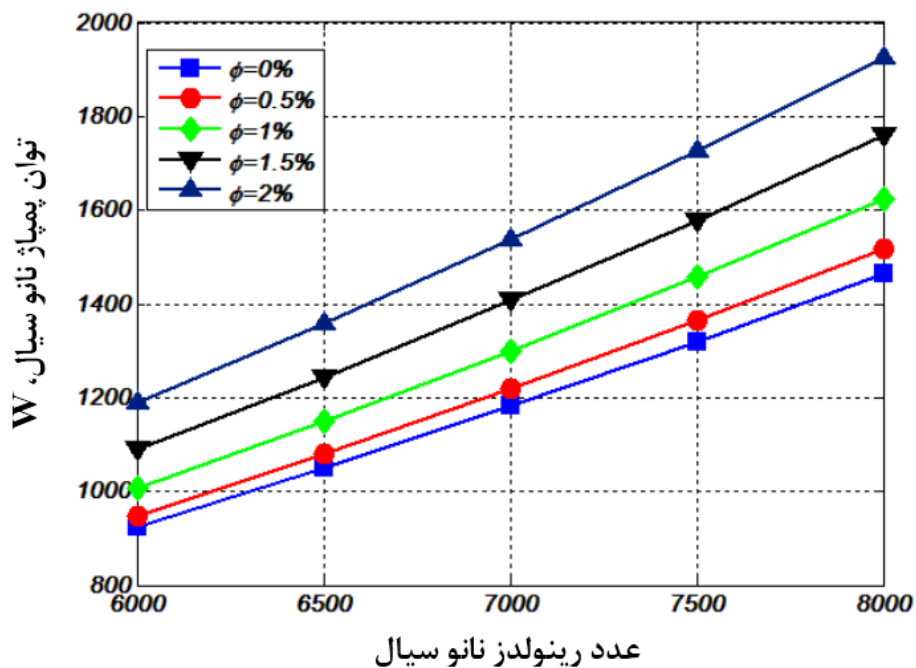


شکل ۴- ضریب انتقال حرارت کلی در رادیاتور در سرعت‌های مختلف خودرو و غلظت‌های مختلف نانو سیال

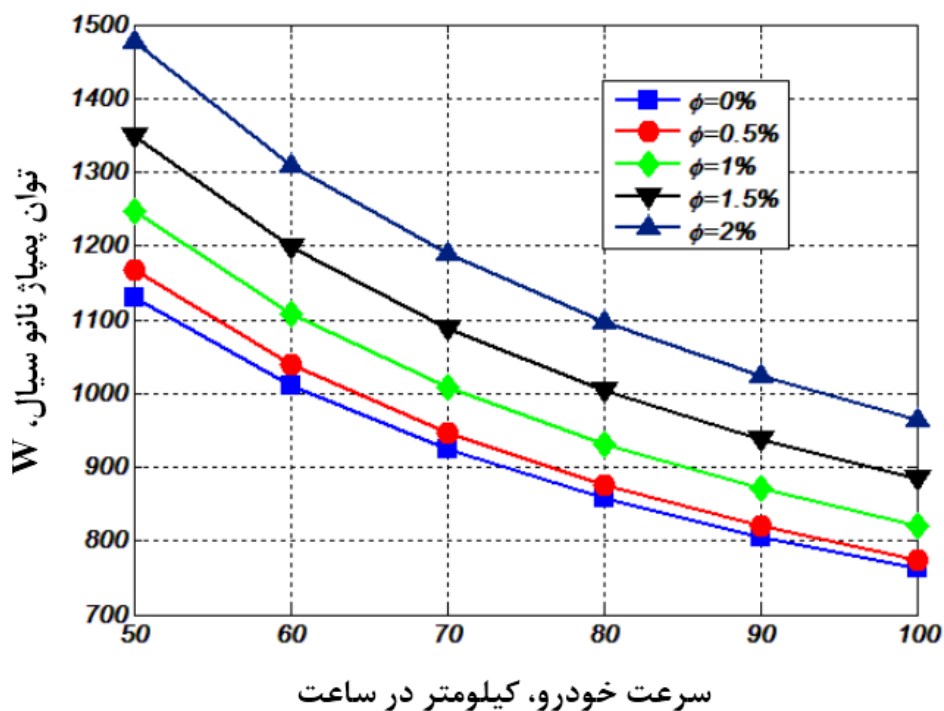
۴-۲- توان پمپاژ

افت فشار ایجاد شده در خلال جریان نانو سیال در رادیاتور یکی از پارامترهای بسیار مهم در تعیین بازدهی استفاده از نانو سیال در رادیاتور است. در تعیین افت فشار سیال خنک‌کننده، دانسیته و ویسکوزیته سیال بسیار تاثیرگذار می‌باشد به طوری که افت فشار در سیال با ویسکوزیته و دانسیته بالاتر بیشتر می‌باشد و این از معایب استفاده از نانو سیال به عنوان سیال خنک‌کننده محسوب می‌شود.

در تحقیق حاضر، توان پمپاژ نانو سیال در غلظت‌های حجمی مختلف در رادیاتور بر حسب مقادیر مختلف عدد رینولدز (در سرعت ۷۰ کیلومتر در ساعت) و سرعت خودرو (در عدد رینولدز ۶۰۰۰) محاسبه شده و در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده اند. به عنوان مثال با توجه به شکل (۵) مشاهده می‌شود که توان پمپاژ نانو سیال با غلظت حجمی ۲٪ در عدد رینولدز ۸۰۰۰ در مقایسه با مقدار این ضریب در عدد رینولدز ۶۰۰۰ در حدود ۶۲٪ افزایش یافته است. همچنین با توجه به شکل (۶) مشاهده می‌شود که توان پمپاژ نانو سیال با غلظت حجمی ۲٪ در سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت نسبت به ۵۰ کیلومتر در ساعت در حدود ۱۱/۳٪ کاهش یافته است.



شکل ۵- توان پمپاژ نانو سیال درون رادیاتور در اعداد رینولدز و غلظت‌های مختلف نانو سیال



شکل ۶- توان پمپاژ نانو سیال درون رادیاتور در سرعت‌های مختلف خودرو و غلظت‌های مختلف نانو سیال

۵- اعتبار سنجی نتایج

نتایج محققان افزایش ضریب انتقال حرارت کلی در دستگاه‌های مختلف انتقال حرارت را با کاربرد نانو سیالات نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال چوی و همکاران [۱۳] با افزودن نانو ذرات آلومینا و پودر نیتريد آلومینیم به روغن ترانسفورماتور و افزودن کمی اسید اولیک، میزان افزایش انتقال حرارت و در نتیجه افزایش بازدهی ترانسفورماتور را بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند که با افزایش هدایت حرارتی نانوسیال روغن ترانسفورماتور حاوی ۰/۵٪ نانو ذرات نیتريد آلومینیم تا حدود ۰/۸٪، می‌توان ضریب انتقال حرارت کلی را تا ۲۰٪ افزایش داد. بزرگان و همکاران [۱۴] نشان دادند که ضریب انتقال حرارت کلی نانوسیال اتیلن گلیکول- اکسید آلومینیم با غلظت حجمی ۱۰٪ که به‌عنوان سیال خنک‌کننده در ناحیه حلقوی مبدل دولوله‌ای تحت رژیم آرام جریان دارد در حدود ۱۸٪ نسبت به سیال پایه افزایش می‌یابد. افزایش ضریب انتقال حرارت کلی مطابق رابطه (۲۴) به افزایش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی نانوسیالات بستگی دارد. نافون و همکاران [۱۵] در سال (۲۰۰۹) از نانو سیال آب- اکسید آلومینیم به‌عنوان سیال خنک‌کننده در سیستم خنک‌کنندگی قطعات میکرو الکترونیکی استفاده نمودند. آن‌ها نشان دادند که نانو ذرات درون سیال پایه آب باعث افزایش ضریب انتقال حرارت شده به‌طوری که این افزایش در درصد حجمی ۶/۸٪ در حدود ۴۰٪ بوده است. نتایج مناسب آن‌ها محققان را ترغیب به بررسی استفاده از نانو سیال در انواع سیستم‌های خنک‌کننده نمود.

در محاسبه ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی نانوسیال، پیش‌بینی دقیق عدد ناسلت آن بسیار مهم است. نتایج تجربی پیغمبرزاده و همکاران [۲] نشان داد که عدد ناسلت تجربی نانوسیالات آب- اکسید آلومینیم و اتیلن گلیکول- اکسید آلومینیم استفاده شده در رادیاتور خودرو مطابقت مناسبی با رابطه ناسلت لی و شوان دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که اختلاف نتایج تجربی عدد ناسلت با رابطه ناسلت لی و شوان برای سیالات پایه آب و اتیلن گلیکول به‌ترتیب در حدود ۷٪ و ۱۲/۵٪ است. فرج‌اللهی و همکاران [۱۶] نشان دادند که در یک مبدل لوله و پوسته، تطابق خوبی بین نتایج تجربی عدد ناسلت نانو سیالات در غلظت‌های حجمی پایین تحت شرایط جریان مغشوش با نتایج حاصل از رابطه لی و شوان وجود دارد. زمزمیان و همکاران [۱۷] نشان دادند که در یک مبدل حرارتی دولوله‌ای و یک مبدل حرارتی صفحه‌ای، نسبت عدد ناسلت تجربی به عدد ناسلت تئوری لی و شوان برای نانوسیالات اتیلن گلیکول- اکسید آلومینیم و اتیلن گلیکول- اکسید مس در غلظت‌های حجمی پایین تحت شرایط جریان مغشوش نزدیک به یک است. بنابراین در تحقیق حاضر، ضریب انتقال حرارت نانو سیال از رابطه عدد ناسلت تئوری لی و شوان در جریان مغشوش نانوسیال تا حداکثر غلظت حجمی ۲٪ محاسبه شده است.

نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، عملکرد حرارتی نانو سیال تا حداکثر غلظت حجمی ۲٪ متشکل از نانو ذرات اکسید آلومینیم به قطر ۲۸ نانومتر و سیال پایه مخلوط ۶۰ درصد اتیلن گلیکول در آب به‌عنوان سیال خنک‌کننده در رادیاتور موتور دیزل شورلت سوپربان به‌صورت عددی تحت شرایط جریان مغشوش بررسی گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که با افزایش عدد رینولدز و غلظت حجمی نانو سیال و همچنین افزایش عدد

رینولدز هوا می‌توان ضریب انتقال حرارت کلی در رادیاتور را افزایش داده و در نتیجه مساحت کل سطح انتقال حرارت را کاهش داد. البته باید افزایش توان پمپاژ نانو سیال را نیز در نظر گرفت.

تشکر و قدردانی

نویسنده مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد آبادان به واسطه حمایت از این کار تحقیقاتی، اعلام می‌نماید.

مراجع

- [1] Choi, S.U.S., "Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles", ASME International Mechanical Congress & Exposition, San Francisco, Calif, USA, (1995).
- [2] Peyghambarzadeh, S.M., Hashemabadi, S.H., Hoseini, S.M. and Seifi Jamnani, M., "Experimental Study of Heat Transfer Enhancement using Water/ethylene Glycol Based Nanofluids as a New Coolant for Car Radiators", International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 38, No. 9, pp. 1283-1290, (2011).
- [3] Ollivier, E., Bellettre, J., Tazerout, M. and Roy, G.C., "Detection of Knock Occurrence in a Gas SI Engine from a Heat Transfer Analysis", Energy Conversion and Management, Vol. 47, No. 7-8, pp. 879-893, (2006).
- [4] Vajjha, R.S., Das, D.K., and Namburu, P. K., "Numerical Study of Fluid Dynamic and Heat Transfer Performance of Al_2O_3 and CuO Nanofluids in the Flat Tubes of a Radiator", International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 31, No. 4, pp. 613-621, (2010).
- [5] Charyulu, D.G., Singh, G. and Sharma, J.K., "Performance Evaluation of a Radiator in a Diesel Engine- A Case Study", Applied Thermal Engineering, Vol. 19, No. 6, pp. 625-639, (1999).
- [6] Leong, K.Y., Saidur, R., Kazi, S.N., and Mamun, A.H., "Performance Investigation of an Automotive Car Radiator Operated with Nanofluid-based Coolants (Nanofluid as a Coolant in a Radiator)", Applied Thermal Engineering, Vol. 30, No. 17-18, pp. 2685-2692, (2010).
- [7] Pak, B.C., and Cho, Y.I., "Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles", Experimental Heat Transfer, Vol. 11, No. 2, pp. 151-170, (1998).
- [8] Xuan, Y., and Roetzel, W., "Conceptions of Heat Transfer Correlation of Nanofluids", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 43, No. 19, pp. 3701-3707, (2000).
- [9] Namburu, P.K., Kulkarni, D.P., Misra, D. and Das, D.K., "Viscosity of Copper Oxide Nanoparticles Dispersed in Ethylene Glycol and Water Mixture", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 32, No. 2, pp. 397-402, (2007).

- [10] Corcione, M., "Empirical Correlating Equations for Predicting the Effective Thermal Conductivity and Dynamic Viscosity of Nanofluids", Energy Conversion and Management, Vol. 52, No. 1, pp. 789–793, (2011).
- [11] ASHRAE Handbook, Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, GA, (2005).
- [12] Li, Q., and Xuan, Y., "Convective Heat Transfer and Flow Characteristics of Cu–water Nanofluid", Science in China Series E: Technological Sciences, Vol. 45, No. 4, pp. 408-416, (2002).
- [13] Choi, C., Yoo, H.S., and Oh, J.M., "Preparation and Heat Transfer Properties of Nanoparticle-in-transformer Oil Dispersions as Advanced Energy Efficient Coolants", Curr. Appl. Phys. 2008;8:710–2.
- [14] Bozorgan, N., "Evaluation of using Al₂O₃/EG and TiO₂/EG Nanofluids as Coolants in the Double-tube Heat Exchanger", International Journal Advanced Design and Manufacturing Technology, Vol. 5, No. 2, pp. 27-34, (2012).
- [15] Naphon, P., Klangchart, S., and Wongwises, S., "Numerical Investigation on the Heat Transfer and Flow in the Mini-fin Heat Sink for CPU", Int Commun Heat Mass Transfer, Vol. 36, No. 5, pp. 834-840, (2009).
- [16] Farajollahi, B., Etemad, S.Gh., and Hojjat, M., "Heat Transfer of Nanofluids in a Shell and Tube Heat Exchanger", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 53, No. 4, pp. 12-17, (2010).
- [17] Zamzamian, A., Nasser Oskouie, S., Doosthoseini, A., Joneidi, A. and Pazouki, M., "Experimental Investigation of Forced Convective Heat Transfer Coefficient in Nanofluids of Al₂O₃/EG and CuO/EG in a Double Pipe and Plate Heat Exchangers under Turbulent Flow, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 35, No. 44, pp. 495-502, (2011).

فهرست نمادهای انگلیسی

- A : مساحت کل سطح انتقال حرارت در رادیاتور (مساحت کل سطح فین به علاوه مساحت کل سطح لوله‌های رادیاتور)
- A_f : مساحت کل سطح فین
- A_t : مساحت کل سطح لوله‌های رادیاتور
- c_p : گرمای ویژه
- D_h : قطر هیدرولیکی
- d_p : قطر نانو ذره
- f_n : ضریب اصطکاک فاینینگ
- G_a : سرعت جرمی هوا
- H : طول کلی جریان نانو سیال در رادیاتور

- h : ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی
 k : هدایت حرارتی
 k_b : ثابت بولتزمن
 L : طول فین (که در گرمایش متقارن نصف این طول در نظر گرفته شده است)
 $LMTD$: اختلاف متوسط لگاریتمی
 M : وزن مولکولی سیال پایه
 \dot{m}_{air} : دبی جرمی هوا
 \dot{m}_{nf} : دبی جرمی نانو سیال
 N : عدد آووگادرو
 pp : توان پمپاژ
 Q_p : دبی اسمی حجمی پمپ
 R_f : ضریب گرفتگی
 T : دمای سیال پایه
 T_{fr} : دمای انجماد سیال پایه
 T_1 و T_2 : دماهای ورودی و خروجی سیال خنک‌کننده
 t_1 و t_2 : دماهای ورودی و خروجی هوا
 t : ضخامت فین
 U : ضریب انتقال حرارت کلی
 u_{nf} : سرعت نانو سیال
 $V_{vehicle}$: سرعت خودرو

نمادهای یونانی

- ρ_{nf} : چگالی نانو سیال
 ϕ : غلظت حجمی
 μ_{nf} : ویسکوزیته نانو سیال
 ξ : خواص ترموفیزیکی
 $\eta_{vol,p}$: بازدهی حجمی پمپ
 η_o : کارایی دمایی سطح کلی فین‌ها
 η_f : بازده فین
 α : نسبت مساحت انتقال حرارت به حجم کل
 α_{nf} : ضریب پخشش حرارتی نانو سیال
 ΔP_{nf} : افت فشار نانو سیال

فهرست اعداد بی بعد

J : عدد کولبرن

Pr : عدد پرائنتل

Pe : عدد پکلت

Re : عدد رینولدز

فهرست زیر نویس ها

air : هوا

bf : سیال پایه

EG : اتیلن گلیکول

m : مخلوط اتیلن گلیکول در آب

nf : نانو سیال

Abstract

In the present paper, the application of nanofluid consisting of mixture of water and ethylene glycol (as anti-freezing material) synthesized with Al_2O_3 nanoparticles of 28 nm size with volumetric concentrations up 2% has been numerically studied in a radiator of Chevrolet Suburban diesel engine under turbulent flow conditions. The heat transfer relations between nanofluid and airflow in the radiator have been obtained to calculate the heat transfer coefficient, overall heat transfer coefficient and pumping power for Al_2O_3/EG -water nanofluid circulating through the flat tubes. In the present paper, the effect of automotive speed and Reynolds number of nanofluid in the different concentrations on the performance of automotive radiator is investigated. The results show that the overall heat transfer coefficient of Al_2O_3/EG -water nanofluid with concentration of 2% in $Re_{nf}=6000$ and speed of 70 km/hr is approximately 10.63% more than that of base fluid (EG-water) for given conditions.