



مطالعه آزمایشگاهی تأثیر نانوذرات Al_2O_3 و دما بر ضریب کلی انتقال حرارت (U) در یک مبدل حرارتی

سعید مباشری زاده^۱، حمید رضا قضاوتی

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان؛ گروه مهندسی مکانیک، ارسنجان، ایران
saeedm1520@gmail.com

چکیده

در این پژوهش تأثیر نانوذرات Al_2O_3 و دما بر ضریب کلی انتقال حرارت (U) در یک مبدل حرارتی در رژیم جریان آرام بصورت آزمایشگاهی بررسی شد. برای انجام آزمایش ها، سامانه خنک کننده اتومبیل شبیه سازی شد. بدین صورت که مبدل حرارتی جریان متقاطع متشکل از ۳۴ لوله با سطح مقطع بیضوی (رادیاتور اتومبیل) استفاده شد. نانوذرات در سه کسر حجمی ۰/۱۵، ۰/۴ و ۰/۶۵ درصد به آب مقطر اضافه شد. برای پایدارسازی و جلوگیری از رسوب نانوذرات در آب و دستگاه آزمایش، از دستگاه امواج فراصوت (همزن آلتراسونیک) استفاده شد. دبی سیال از ۰/۲ تا $۰/۵ \text{ m}^3/\text{hr}$ توسط یک پمپ سانتریفیوژ افزایش می یابد تا باعث ایجاد رژیم جریان آرام شود، $(900 < \text{Renf} < 2000)$. این سیال توسط دو گرمکن ۶۰۰۰ وات گرم می شود تا دمای سیال ورودی به مبدل حرارتی را توسط کنترل کننده PID به مقادیر ۵۰، ۶۵ و ۸۰ درجه سانتی گراد که نزدیک به دمای عملیاتی در هنگام کارکرد رادیاتور اتومبیل است برساند. نتایج نشان می دهد که با افزایش سرعت هوا و نانوسیال، ضریب انتقال حرارت کلی افزایش پیدا می کند، اما با افزایش دمای نانوسیال ورودی، ضریب انتقال حرارت کلی کاهش پیدا می کند. ضمناً استفاده از نانوسیال با غلظت ۰/۶۵ درصد حجمی ضریب انتقال حرارت کلی را تا ۱۳ درصد و نرخ انتقال حرارت را تا ۱۱/۵ درصد نسبت به آب خالص افزایش می دهد.

کلمات کلیدی: نانوذرات Al_2O_3 ، ضریب کلی انتقال حرارت، مبدل حرارتی، جریان آرام

۱. مقدمه

بنا بر جدیدترین نظریات درباره شناخت ماده و خواص آن، انرژی حرارتی یا گرمای اجسام، ناشی از جنبش و حرکت ذرات جسم می باشد. این حرکت در مورد جامدات به صورت ارتعاش اتم ها یا مولکول های درون شبکه جسم می باشد. در مورد گازها حرکت ذرات گاز محتوای انرژی حرارتی یا انرژی داخلی آن را تعیین می کند. هرچه این حرکات سریع تر باشد جسم گرم تر بوده و به عبارت دیگر دمای آن بالاتر است. بر عکس هر چه جنبش ذرات جسم آهسته تر شود جسم به سردی می گراید. چنانچه قطعه فلزی را به آرامی گرم کنیم آنچه درون آن می گذرد این است که دامنه نوسان اتم های فلز در داخل شبکه آن بیشتر شده یعنی دمای آن بالا می رود. اتم ها در داخل شبکه ای منظم در فاصله معینی از یکدیگر و متناسب با دمای جسم با دامنه معینی در نوسان هستند. چنانچه به جسم آنقدر گرما بدهیم که ارتعاش اتم ها تا آن حد شدید شود که بتواند پیوندهای درون شبکه و میان اتم ها را بگسلند، اتم ها از درون شبکه آزاد شده و بر روی یکدیگر می لغزند این حالت، ذوب یا تغییر فاز از جامد به مایع می باشد. با افزایش بیشتر حرارت، حرکت و لغزش ذرات شدیدتر شده و دمای مایع بالا می رود. در صورتی که

دادن گرما به جسم ادامه یابد در دمای معینی پیوندهای میان ذرات فاز مایع نیز از هم گسسته شده و ذرات به کلی از هم جدا و رها می‌شوند. این حالت جوشش یا تبخیر و یا تغییر فاز از مایع به گاز می‌باشد. با گرمادهی بیشتر در فاز گازی حرکت انتقالی مولکول‌ها سریع تر می‌شود و متناسب با دما افزایش می‌یابد. بنابر اصل دوم ترمودینامیک چنانچه قسمتی از یک سیستم نسبت به قسمت های دیگر آن اختلاف دما داشته باشد، انرژی حرارتی از نقاط گرم به سمت نقاط سرد جریان می‌یابد. به کمک روابط ترمودینامیکی می‌توان وضعیت حالت تعادل، دمای تعادل و مقدار کل انرژی مبادله شده را به دست آورد. اما اگر پرسش هایی مانند شدت جریان حرارت، تغییر دمای نقاط برحسب زمان و یا زمان لازم برای رسیدن به حالت تعادل مورد نظر باشد ترمودینامیک پاسخگو نیست و وارد محدوده انتقال حرارت شده ایم. برای نمونه، اگر گلوله ای داغ را در ظرف آبی بیاندازیم، از روابط ترمودینامیکی می‌توان دمای گلوله و آب و مقدار گرمای مبادله شده را محاسبه کرد. اما انتقال حرارت می‌تواند پاسخگوی زمان لازم برای رسیدن به تعادل باشد و تغییرات دمای گلوله و آب را برحسب زمان محاسبه کند و شدت انتقال حرارت در هر لحظه را به دست آورد. انتقال حرارت ممکن است به سه روش هدایت^۱، جابجایی^۲ و تابش^۳ صورت پذیرد. در بیشتر موارد کاربردی، انتقال حرارت به صورت ترکیبی از دو یا هر سه روش می‌باشد.

پیشوند نانو به معنای یک میلیاردیوم 10^{-9} است. بنابراین، نانوفناوری در حوزه هایی کار می‌کند که در آن ها ابعاد در محدوده نانومتر است. نانوفناوری را به طور دقیق می‌توان به صورت زیر تعریف کرد: طراحی، شناسایی، تولید و کاربرد ساختارها، طرح ها و سامانه ها با استفاده از کنترل شکل و اندازه ذرات [۱]. یکی از زمینه های فعالیت این فناوری جدید تولید ذرات با ابعاد نانومتری (نانوذرات) است. بنابر بعضی تعاریف ابعاد نانوذره در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. نانوذرات انواع فلزی، اکسیدهای فلزی، عایق‌ها و نیمه هادی ها دارند. نانوذرات، ترکیبی نظیر ساختارهای هسته لایه را در بر می‌گیرند. باید خاطر نشان ساخت که نانولوله های کربنی را نیز می‌توان از اعضاء این خانواده به شمار آورد. نانوذرات دارای خواص منحصر به فردی هستند که آن ها را از مواد توده ای با ابعاد معمولی و بزرگ متمایز می‌سازد. این خواص منحصر به فرد موجب پیدایش پتانسیل های فراوانی برای کاربرد این مواد شده است. نانوسیال که از مخلوط کردن نانوذرات در یک سیال پایه حاصل می‌شود، از جمله کاربردهای مهم نانوذرات است.

در مطالعه ای که لیونگ و همکاران (۲۰۱۲) انجام دادند ضریب انتقال حرارت کلی نانوسیال مس در سیال پایه آب و اتیلن گلیکول در مبدل حرارتی پوسته و لوله تحت مقادیر مختلف دبی گاز دودکش و دبی نانوسیال به عنوان خنک کننده و غلظت‌های مختلف نانوسیال بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد در رژیم جریان آرام در دبی جرمی ثابت گاز دودکش $26/3 \text{ Kg/s}$ و سیال خنک کننده $111/6 \text{ Kg/s}$ در غلظت ۱ درصد حجمی نانوسیال مس در سیال پایه اتیلن گلیکول $9/5$ درصد افزایش در ضریب انتقال حرارت کلی نانوسیال نسبت به سیال پایه اتیلن گلیکول اتفاق افتاد. در سیال پایه آب و در غلظت ۲ درصد حجمی در دبی جرمی 12 Kg/s سیال خنک کننده $10/11$ درصد افزایش در ضریب انتقال حرارت کلی نانوسیال نسبت به سیال پایه آب اتفاق افتاد [۱].

مطالعه ای توسط فرج الهی و همکاران (۲۰۱۰) در یک مبدل پوسته لوله صورت گرفت. ضریب انتقال حرارت کلی نانوسیال TiO_2 و Al_2O_3 در غلظت های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که در تمام غلظت ها ضریب انتقال حرارت کلی نانوسیال نسبت به آب افزایش نشان داد ولی در یک غلظت بهینه این افزایش بیشترین مقدار بود. برای نانوسیال آب/ Al_2O_3 در غلظت $0/5$ درصد حجمی در عدد Pe 50000 ضریب انتقال حرارت کلی نسبت به آب ۲۰ درصد افزایش نشان داد و برای نانوسیال آب/ TiO_2 در غلظت $0/3$ درصد حجمی و در عدد Pe 44000 بیشترین مقدار افزایش ضریب بیشترین مقدار افزایش ضریب انتقال حرارت کلی نسبت به آب ۲۴ درصد مشاهده شد [۲].

در پژوهشی که توسط پیغمبر زاده و همکاران (۲۰۱۱) انجام گرفت عملکرد حرارتی رادیاتور خودرو با بکار بردن نانوسیال اکسید آلومینیم - آب بعنوان سیال خنک کننده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن ها نشان داد که افزایش در نرخ جریان

¹-Conduction

²-Convectiom

³-Radiation

سیال باعث افزایش انتقال حرارت می شود و همچنین استفاده از انتقال حرارت می شود و همچنین استفاده از نانوسیال با غلظت کم می تواند بارده را تا ۴۵٪ افزایش دهد [۳].

واج ها و همکاران (۲۰۱۰) ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال اکسید آلومینیم- آب و اکسید مس- آب را مورد مطالعه قرار داده، نتایج به شرح زیر به دست آمده است: تحقیق مورد نظر در جریان آرام صورت گرفت و برای نانوسیال اکسید آلومینیم- آب با افزایش رینولدز و غلظت نانوذره برای ضریب انتقال حرارت و عدد ناسلت نیز افزایش مشاهده شد که هرچه رینولدز بالا می رود این شیب کمتر می شود. مکانیزم عملکرد نانوسیال اکسید مس- آب مشابه آلومنیوم- آب می باشد و افزایش رینولدز و افزایش غلظت نانوذره به نفع انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت می باشد. با مقایسه بین نانوسیال اکسید آلومینیم- آب و اکسید مس- آب مشخص شد اکسید مس- آب اثر بیشتری در افزایش انتقال حرارت نانوسیال نسبت به سیال پایه می گذارد [۴].

در یک مطالعه ای که لیونگ و همکاران، (۲۰۱۰) در رایاتور اتومبیل با نانوذره مس در سیال پایه اتیلن گلیکول انجام دادند را نشان می دهد، با افزایش رینولدز سمت هوا و غلظت نانوذره ضریب انتقال حرارت کلی نانوسیال افزایش می یابد و در $Re = 6000$ و غلظت ۲ درصد حجمی نانوسیال ۱۸ درصد افزایش در ضریب انتقال حرارت کلی نانوسیال نسبت به سیال پایه اتفاق افتاد [۵].

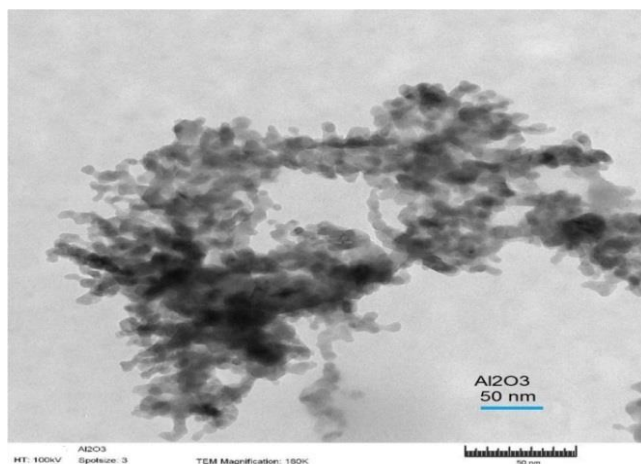
۲. روش تحقیق

- نانوذرات

در این پژوهش از نانوذرات اکسید آلومینیم (Al_2O_3) در آب مقطر به عنوان سیال پایه استفاده شده است. نانوذره اکسید آلومینیم با اندازه ۲۰ نانومتر مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات اصلی نانوذره اکسید آلومینیم و عکس TEM از این نانوذره که در آزمایش ها استفاده شد در جدول (۱) و شکل (۲) آمده است.

جدول (۱): مشخصات نانوذره اکسید آلومینیم (خریداری شده از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان).

نانو اکسید آلومینیم (Al_2O_3)	
اندازه متوسط (nm)	۲۰
خلوص	+۹۹ درصد
چگالی (Kg/m^3)	۳۸۹۰
گرمای ویژه ($J/Kg.K$)	۸۸۰
سطح ویژه (m^2/g)	۱۳۸
مورفولوژی	کروی
Ca (ppm)	۲۵
Fe (ppm)	۸۰
Cr (ppm)	۴
Na (ppm)	۷۰
Mn (ppm)	۳
Co (ppm)	۲



شکل (۱): عکس TEM نانوذره اکسید آلومینیم ۲۰ نانومتر.

- پایداری نانوسیال

با توجه به مطالعه های انجام شده درحوزه نانوسیال سه روش برای پایداری نانوذره در سیال پایه و جلوگیری از رسوب آن پیشنهاد شده است: (۱) استفاده از دستگاه امواج فراصوتی^۴ (۲) کنترل pH سیال (۳) استفاده از مواد فعال سطحی.

- دستگاه امواج فراصوتی

از دستگاه امواج فراصوتی مدل UP400S ساخت شرکت Hielscher آلمان برای پایداری کردن نانوسیال Al_2O_3 - آب، استفاده شد. و در آن با قرار دادن پرآب تیتانیومی دستگاه درون محلول به مدت ۳۰ دقیقه برای هر ۱۰۰ میلی لیتر استفاده شد. در شکل (۲) دستگاه التراسونیک مورد استفاده را مشاهده می کنید.



شکل (۲): نمایی از دستگاه امواج فراصوت مورد استفاده برای پایداری نانو سیال.

- دستگاه آزمایشگاهی

برای کالیبره کردن دستگاه آزمایش (شکل (۳) و (۴)) از آب استفاده شد تا خطای ضریب انتقال حرارت کلی بدست آمده را با مقدار تئوری آن که از محاسبات به دست می آید را مقایسه کرد. در ابتدا خطای بالایی نشان داد و این خطای به دست آمده به دلیل چند عامل می توانست باشد:

۱-Ultrasonic vibration

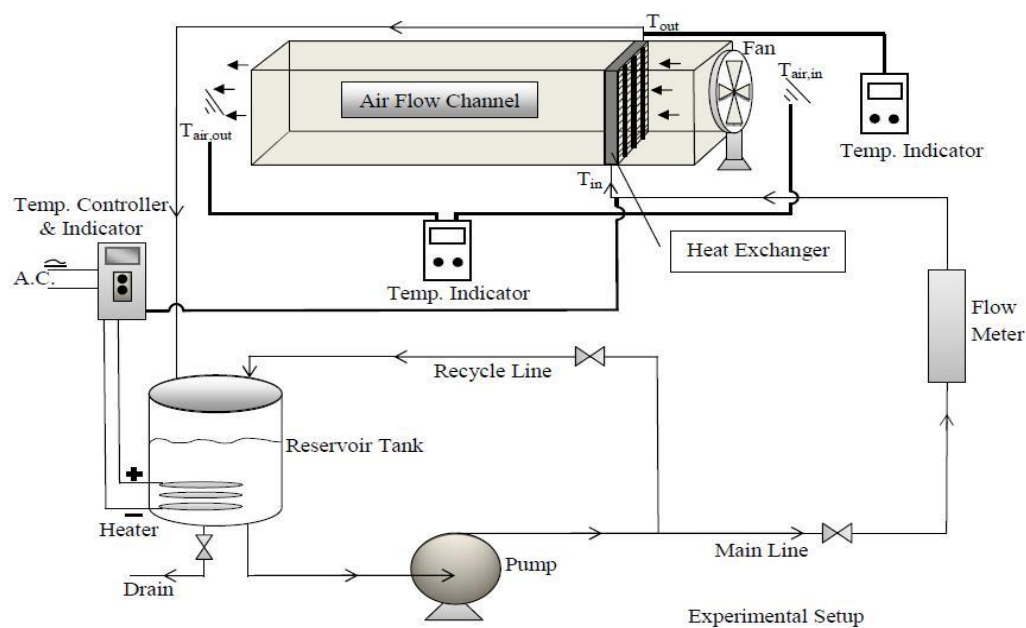
الف) یکی از این عوامل برقرار نبودن موازنه انرژی بین گرمای منتقل شده از آب گرم به سیال خنک کننده هوا بود که به چند عامل بستگی داشت: ۱) دمای هوای خروجی به دست آمده درست نبود چون دمای هوای خروجی از تونل در نقاط مختلف سطح مقطع دارای مقادیر مختلفی بود برای حل این مشکل دو راه بررسی شد راه اول این بود که سطح مقطع خروجی تونل کوچک شود تا جریان هوا مغشوش شده و دمای نقاط مختلف آن به هم نزدیک شوند (گرادیان دما کوچک شود) به همین منظور خروجی تونل به شکل یک مخروط با سطح مقطع مستطیل درست گردید که سطح مقطع خروجی در شرایط جدید برابر با ۱۵ درصد سطح مقطع رادیاتور بود اما مشکلی که در این حالت پدیدار گشت به وجود آمدن جریان برگشتی^۵ هوا به سمت رادیاتور بود که سبب به هم خوردن دمای سطح رادیاتور و همین طور پایین آمدن کارایی رادیاتور می شد به همین خاطر این کار با مقادیر مختلفی از سطح مقطع تکرار شد که در هر مرحله سطح مقطع خروجی کمی از حالت قبل بزرگتر می شد که در همه موارد این مشکل مشاهده شد بنابراین از به کار بردن این روش صرف نظر شد. راه دیگر این بود که چندین ترموکوپل در نقاط مختلف سطح مقطع قرار داده شود و میانگین آن ها را به عنوان دمای خروجی تونل انتخاب کرده که نهایتاً این روش برای انجام آزمایشها انتخاب شد. ۲) مقدار دبی اندازه گیری شده هوا درست نبود چون در ابتدا دبی هوای ورودی به رادیاتور در مکانی قبل از رادیاتور اندازه گیری می شد که این مقدار دبی به دست آمده صحیح نبود چون مقداری از حجم هوا در اثر برخورد با رادیاتور برگشت داده می شد و از بین پره های رادیاتور عبور نمی کرد. یکی از روشهایی که برای حل این مشکل وجود داشت این بود که دبی هوا بعد از رادیاتور اندازه گیری شود چون هوایی که از رادیاتور عبور می کند در انتقال حرارت نقش دارد، که این کار انجام شد و سبب بهتر شدن موازنه انرژی شد. ۳) برای جلوگیری از اتلاف حرارتی تمام لوله های به کار رفته در دستگاه و مخزن ذخیره نانوسیال با پشم شیشه عایق شدند.

ب) در ابتدا مخزن دارای یک گرمکن 2000W بود که این گرمکن با توجه به مقدار دبی سیال سرد برگشتی نمی توانست دمای ورودی به رادیاتور را به 80°C برساند بنابراین با به کار بردن گرمکن های مختلف با توجه به اندازه مخزن و مقدار انرژی مورد نیاز مشخص شد که از دو عدد گرمکن 6000W باید استفاده شود تا سیال به دمای مورد نظر برسد.

ج) برای جلوگیری از تبخیر مقدار سیال ذخیره شده در مخزن (۷ لیتر) در دمای بالا (80°C) یک درب بر روی مخزن تعبیه شد تا در موقع کار با نانوسیال مقدار غلظت نانوسیال در تمام مدت آزمایش تغییر نکند.

د) برای به دست آوردن ضریب کلی انتقال حرارت تجربی از معادله (۱۸) استفاده شد. مشاهده می شود که هر ۴ دمای ورودی و خروجی تاثیر مستقیمی روی مقدار ضریب انتقال حرارت کلی به دست آمده می گذارند، بنابراین دماهای ورودی به رادیاتور (آب و هوا) باید در دمای مورد نظر ثابت بوده و نوسان نداشته باشند. حتی نوسان $0/1^\circ\text{C}$ نیز روی مقدار ضریب انتقال حرارت کلی بدست آمده تاثیر می گذارد. در ابتدا مقدار نوسان دمای سیال ورودی به رادیاتور بین $4-5^\circ\text{C}$ بود. برای تنظیم کردن دمای ورودی به رادیاتور از یک Contactor (قطع و وصل کننده جریان برق گرمکن) استفاده شد که به یک نمایشگر و ترموکوپل متصل بود. در ابتدا چون از یک نمایشگری (کنترلر) استفاده شد که قابلیت تنظیم پارامترهای کنترلی (D و I, P) بر روی آن وجود نداشت به همین دلیل نوسان آن بالا بود. این نوسان به دلیل جریان های برگشتی سرد و گرم از رادیاتور به مخزن و نوسان مربوط به روشن و خاموش شدن متناوب گرمکن ها بود. برای حل این مشکل ترموکوپلی که در مخزن قرار داشت را در مکان های مختلف مخزن امتحان کرده اما نوسان دمای ورودی به رادیاتور همچنان وجود داشت همچنین از یک صفحه پلاستیکی سوراخ دار برای جداکردن جریان های برگشتی از خروجی، در مخزن استفاده شد که از این طریق مقدار دبی آب برگشتی به مخزن به صورت تدریجی وارد مخزن شود و نوسان کمتری روی دمای ورودی به رادیاتور بگذارد که این روش نیز تاثیر زیادی در ثابت نگه داشتن دما نداشت در نهایت از یک کنترل کننده PID استفاده شد که این کنترل کننده به صورت اتوماتیک مقدار نوسان دمای ورودی را محاسبه و به حداقل می رساند و دما را روی Set point مورد نظر ثابت نگه می داشت، محل ترموکوپل وصل شده به کنترل کننده PID را از مخزن به ورودی رادیاتور تغییر دادیم تا نوسان $4-5^\circ\text{C}$ به $0/1-0/2^\circ\text{C}$ تغییر کند.

⁵- Back flow



شکل (۳): تصویر شماتیک سامانه آزمایشگاهی.



شکل (۴): تصویر واقعی سامانه آزمایشگاهی.

۳-۷- روند انجام محاسبات

پس از حصول اطمینان از کالیبره کردن دما، ترموکوپل، دبی سنج و دستگاه آزمایشگاهی برای آب و نانوسیال اکسید آلومینیم- آب، محاسبات به صورت زیر انجام گرفت. برای انجام محاسبات و به دست آوردن ضریب انتقال حرارت کلی (U) به روش زیر اقداماتی صورت گرفته است.

$$Nu = 1.86 \left(\frac{Re \cdot Pr}{L_t / D_h} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14} \quad (1)$$

در رابطه (۱) طول لوله مبدل، μ_s ویسکوزیته سیال در دمای سطح لوله، D_h قطر هیدرولیک لوله رادیاتور، Re و Pr عدد رینولدز و پرانتل سیال است.

$$h_i = \frac{Nu \cdot K}{D_h} \quad (2)$$

$$Nu = 0.28(Re^{0.35} \times Pr^{0.36}) \quad (3)$$

با قرار دادن رابطه (۳) در رابطه (۲) ضریب انتقال حرارت سمت لوله به دست می آید. برای دیگر روابط نیز همین عمل انجام می شود.

$$Nu = 0.951(Re^{0.173} \times Pr^{1/3}) \quad (4)$$

مقدار Re و Pr جریان سیال درون لوله توسط روابط زیر تعیین می شود.

$$Re_{in} = \frac{\rho V D_h}{\mu} \quad (5)$$

در اینجا ρ و μ به ترتیب دانسیته و ویسکوزیته سیال، D_h و V به ترتیب قطر هیدرولیک لوله و سرعت سیال درون لوله های رادیاتور است که از روابط (۶) و (۷) به دست می آیند ضمناً تمامی خواص فیزیکی سیال در دمای توده سیال محاسبه می شوند.

$$D_h = \frac{4A_t}{P_t} \quad (6)$$

که A_t سطح مقطع لوله رادیاتور و P_t محیط خیس شده لوله است.

$$V = \frac{Q_l}{A_t} \quad (7)$$

$$Q_l = \frac{Q_T}{34} \quad (8)$$

که در رابطه (۸)، Q_T دبی حجمی سیال در تمام لوله ها و Q_l دبی حجمی سیال درون یک لوله رادیاتور است.

$$Pr = \frac{C_p \mu}{K} \quad (9)$$

که در رابطه (۹) C_p گرمای ویژه سیال و K رسانش حرارتی سیال است.

معادله (۱۰) برای پیش بینی ضریب انتقال حرارت بیرون لوله (سیال هوا) h_o ارائه شد. دلیل اینکه از این رابطه استفاده شده این است که این رابطه برای رادیاتوری پیشنهاد شده است که از لحاظ اندازه و شکل ظاهری بسیار شبیه به رادیاتور مورد استفاده در این پروژه است و همچنین برای بازه ای از عدد رینولدز سیال و هوا ارائه شده که آزمایش های مربوط به سیستم مورد مطالعه نیز در این بازه قرار می گیرد.

$$Nu_{air} = [10.145 \times \ln(Re_{air} - 46.081)] \times Pr_{air}^{0.33} \quad (10)$$

$$h_o = \frac{Nu_{air} \cdot K_{air}}{D_h} \quad (11)$$

$$Re_{air} = \frac{\rho_{air} \cdot V_a \cdot D_h}{\mu_{air}} \quad (12)$$

در رابطه (۱۲) از قطر هیدرولیک لوله برای محاسبه عدد رینولدز سمت سیال هوا استفاده شده است و همین طور V_a سرعت واقعی هوا در رادیاتور (در لابلای پره ها) است و از رابطه (۱۳) به دست می آید:

$$V_a = \frac{V_s}{\phi} \quad (۱۳)$$

در رابطه (۱۳) ϕ ضریب تخلخل و V_s سرعت ظاهری هوا است که در ادامه نحوی محاسبه آن‌ها توضیح داده خواهد شد. برای به دست آوردن ضریب تخلخل یک طرف رادیاتور (روی سطح پره ها) را با استفاده از چسب نواری کاملاً بسته و سپس از سمت دیگر در لابلای پره ها آب ریخته تا پر شود و از تقسیم حجم آب به حجم رادیاتور (طول \times عرض \times عمق رادیاتور) ضریب تخلخل به دست می آید.

$$\phi = \frac{V_L}{V_R} \quad (۱۴)$$

$$V_R = A_R \times H_R \quad (۱۵)$$

V_L حجم آب درون پره های رادیاتور و V_R حجم رادیاتور، A_R سطح مقطع رادیاتور و H_R ارتفاع یا عمق رادیاتور است.

$$V_s = \frac{Q_a}{60 \times A_C} \quad (۱۶)$$

در رابطه (۱۶)، V_s سرعت ظاهری است که از تقسیم دبی حجمی هوای عبوری از رادیاتور (Q_a) به سطح مقطع کانال (A_C) به دست می آید که این سطح مقطع برابر با سطح مقطع رادیاتور است.

روش دیگری برای محاسبه سرعت واقعی درون پره ها وجود دارد به این صورت که دبی حجمی هوا عبوری از رادیاتور را بر سطح مقطع مربوط به کل فضای خالی سمت پره ها (A_p) تقسیم می کنیم.

$$V_a = \frac{Q_a}{A_p} \quad (۱۷)$$

مقدار تجربی ضریب انتقال حرارت کلی سیال از روش اختلاف دمای متوسط لگاریتمی توسط رابطه (۱۸) به دست می آید (اینکروپرا، ۱۳۸۵):

$$U_{exp} = \frac{m^{\circ} \cdot C_p \cdot (T_{h_{in}} - T_{h_{out}})}{A_o \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}} \quad (۱۸)$$

در رابطه (۱۸)، m° دبی جرمی سیال، ΔT_{LMTD} اختلاف دمای متوسط لگاریتمی، A_o سطح انتقال حرارت کلی مبدل که به ترتیب توسط روابط (۱۹)، (۲۰) و (۲۱) به دست می آیند. $T_{h_{in}}$ ، $T_{h_{out}}$ دمای سیال ورودی به و خروجی از مبدل است. F ضریب تصحیح برای مبدل حرارتی جریان متقاطع می باشد.

$$m^{\circ} = \frac{\rho \times Q_T}{1000 \times 3600} \quad (۱۹)$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{Ln[(T_{hi} - T_{co}) / (T_{ho} - T_{ci})]} \quad (۲۰)$$

$$A_o = A_f + A_{t_{out}} \quad (۲۱)$$

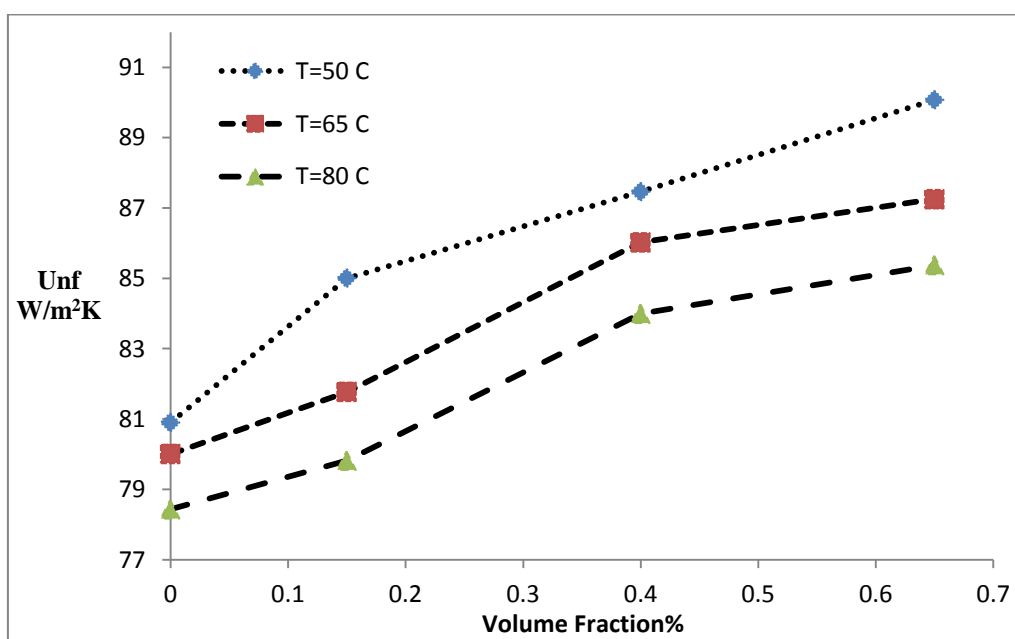
که در رابطه (۲۱) A_f مساحت سطح انتقال حرارت کل فین ها و A_{out} مساحت سطح خارجی تمام لوله‌های رادیاتور بدون سطح تماس با فین است.

مقدار تئوری ضریب انتقال حرارت کلی سیال توسط رابطه (۲۲) به دست می‌آید:

$$\frac{1}{U_{th}} = \frac{1}{\eta_o h_o} + \frac{1}{h_i (A_i/A_o)} \quad (22)$$

برای دقت و صحت نتایج داده‌های آزمایشگاهی، ابتدا نیاز به مقایسه نتایج با نتایج به دست آمده از معادله‌های تجربی بوده است. بر همین اساس ابتدا از سیال پایه خالص (آب مقطر) برای انجام آزمایش‌های اولیه استفاده شده است. روش محاسبه و روند آزمایش‌ها در فصل سوم به طور کامل توضیح داده شده است.

در این پژوهش از ۴ غلظت ۰، ۰/۱۵، ۰/۴ و ۰/۶۵ درصد حجمی (غلظت صفر برابر با آب مقطر است) استفاده شده است. تغییرات ضریب انتقال حرارت کلی نانوسیال اکسید آلومینیم-آب بر اثر تغییر غلظت از سیال پایه به نانوسیال اکسید آلومینیم در دماهای مختلف نانوسیال ورودی به مبدل حرارتی، در دبی هوای ثابت $1009 \text{ m}^3/\text{hr}$ و دبی $0.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ نانوسیال در شکل (۶) نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است ضریب U با افزایش غلظت زیاد می‌شود ولی این ضریب رابطه عکس با دما دارد و با افزایش دما این ضریب کاهش می‌یابد و بیشترین مقدار ضریب انتقال حرارت کلی در غلظت ۰/۶۵ درصد حجمی و در دمای ثابت 50°C است که برابر با $90.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ است. در حالی که در دمای 80°C مقدار این ضریب به $85.37 \text{ W/m}^2\text{K}$ می‌رسد و این نشان از کاهش ۵ درصدی ضریب انتقال حرارت با افزایش دما در یک غلظت ثابت ۰/۶۵ درصد حجمی است.



شکل (۵): تغییرات ضریب انتقال حرارت کلی نانوسیال بر اثر تغییر غلظت نانوسیال در دماهای مختلف، در دبی ثابت $1009 \text{ m}^3/\text{hr}$ و دبی $0.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ نانوسیال

به طور کلی افزایش ضریب انتقال حرارت به افزایش هدایت حرارتی سیال و کاهش ضخامت لایه مرزی حرارتی بستگی دارد. هدایت حرارتی نانوسیال با افزایش تراکم حجمی افزایش می‌یابد. کاهش ضخامت لایه مرزی گرمایی می‌تواند ناشی از تحرک ذرات نزدیک دیواره، پدیده مهاجرت ذرات به مرکز لوله و کاهش ویسکوزیته در ناحیه دیواره باشد.

۳. نتیجه‌گیری

- افزایش دمای نانوسیال ورودی به مبدل از ۵۰ به ۸۰°C باعث افزایش نرخ انتقال گرما می‌شود ولی تاثیر منفی روی ضریب انتقال حرارت کلی می‌گذارد و باعث کاهش ضریب انتقال حرارت کلی می‌شود که این به دلیل افزایش زیادتر اختلاف دمای متوسط لگاریتمی در برابر اختلاف دمای نانوسیال با افزایش دما است.

- افزایش غلظت نانوسیال از صفر تا ۰/۶۵ درصد حجمی منجر به افزایش ضریب انتقال حرارت کلی نانوسیال نسبت به سیال پایه آب مقطر شد. هنگام افزایش غلظت بالا بودن رینولدز سیال بی تاثیر نمی‌باشد به طوری که افزایش غلظت در رینولدزهای بالا اثر بیشتر و بهتری نسبت به شرایط مشابه در رینولدزهای کمتر می‌گذارد. بیشترین درصد افزایش ضریب انتقال حرارت کلی و نرخ انتقال حرارت نانوسیال نسبت به سیال پایه آب مقطر به ترتیب برابر با ۱۳ درصد و ۱۱/۵ درصد در غلظت ۰/۶۵ درصد حجمی مشخص شد.

مراجع

- [1] Leong, K.Y., Saidur, R., Mahlia, T.M.I., Yau, Y.H., 2012, Modeling of shell and tube heat recovery exchanger operated with nanofluid based coolants, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55, pp. 808–816.
- [2] Farajollahi, B., Etemad, S.Gh., Hojjat, M., 2010, Heat transfer of nanofluids in a shell and tube heat exchanger, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53, pp. 12–17.
- [3] Vajjha, R. S., Das, D. K., Namburu, P. K., 2010, Numerical study of fluid dynamic and heat transfer performance of Al₂O₃ and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 31 issue, pp. 613-621.
- [4] S.M. Peyghambarzadeh S.H. Hashemabadi. 2011, Improving the cooling performance of automobile radiator with Al₂O₃/water Nanofluid, *Applied Thermal Engineering* P 1833-1838.
- [5] Leong, K.Y., Saidur, R., Kazi, S.N., Mamun, A.H., 2010, Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator), *Applied Thermal Engineering* 30, pp. 2685-2692.

Experimental study Al_2O_3 nanoparticles and effect of temperature on the overall heat transfer coefficient (U) in a heat exchanger

Said Mobashare Zadh

Department of Mechanics Arsanjan Branch, Islamic Azad University Arsanjan-Iran
saeedm1520@gmail.com

Hamid Reza Qzavty

Abstract. The effect of Al_2O_3 nanoparticles and temperature on the overall heat transfer coefficient (U) in a heat exchanger in laminar flow regime was investigated experimentally. For the test, the vehicle cooling system was simulated. In this case, the cross-flow heat exchanger consists of 34 tube with elliptical cross-section (radiator car) Shd.nanvzrat use in volume fraction 0.15, 0.4 and 0.65 percent was added to distilled water. To stabilize and prevent the nanoparticles in water and sediment testing machine, ultrasound machine (ultrasonic mixer) was used. The fluid flow of $2.0 \text{ m}^3 / \text{hr}$ 0.5 by a centrifugal pump increases to cause the laminar flow regime, ($900 > \text{Renf} > 200$). The fluid is heated by two 6000 watt heated to the temperature of the inlet fluid to the heat exchanger by the controller PID values of 50, 65 and 80°C operating temperature close to his car's radiator during operation. Results showed that by increasing air velocity and nanofluid overall heat transfer coefficient increases, but with increasing temperature input nanofluid, overall heat transfer coefficient decreases. The use of nanofluids with a concentration of 65/0 volume percent to 13 percent overall heat transfer coefficient and the heat transfer rate up to 11.5% compared to pure water increases.

Keywords: Nanoparticles Al_2O_3 , the overall coefficient of heat transfer, heat exchanger, laminar flow