

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی

مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها

اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

مطالعه تجربی انتقال حرارت و ویژگی‌های افت فشار نانوسیال آب مقطر/نقره در یک سامانه بسته مبدل حرارتی

پوسته و لوله

محمد مهدی هیهات

استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس
 mmheyhat@modares.ac.ir

علیرضا یوسف‌نژاد

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد
 نجف‌آباد
 Alireza.ips@gmail.com

امیرهمايون مقدادی

استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد
 نجف‌آباد
 amir_meghdadi@pmc.iaun.ac.ir

چکیده

در این مقاله مطالعه‌ای تجربی روی انتقال حرارت جابجایی اجباری و ویژگی‌های افت فشار نانوسیال آب مقطر/نقره در سامانه بسته مبدل حرارتی پوسته و لوله که مشابه یکی از واحدهای نیروگاه اصفهان می‌باشد انجام شده است. در ابتدا سامانه‌ای مشابه سامانه خنک‌کن بسته یکی از واحدهای نیروگاه اصفهان طراحی و ساخته شد، ابتدا نانوسیال آب مقطر/نقره به قطر ذرات 20 nm و در کسرهای حجمی 0.1% ، 0.25% ، 0.5% ، 0.75% و 1% تهیه شد و سپس خواص ترموفیزیکی آن اندازه‌گیری شد. سپس کاربرد نانوسیال بعنوان سیال خنک‌کننده در چرخه بسته مبدل حرارتی پوسته و لوله تحت عدد رینولدز 1500 تا 4500 مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا، روابط انتقال حرارت میان محلول گرم و نانوسیال به عنوان سیال خنک‌کننده بررسی شده است. در ادامه در دبی‌های مختلف نانوسیال در کسرهای حجمی ذکر شده و دماهای مشخص متفاوت سیال گرم، ضریب انتقال حرارت، ضریب کلی انتقال حرارت افت فشار محاسبه شده است. نتایج بدست آمده بیانگر این بود. با حضور نانوسیال شاهد افزایش 16% ضریب انتقال حرارت نسبت به سیال پایه خالص بودیم. افت فشار اندازه‌گیری شده در زمان استفاده از نانوسیال بیانگر آن است که استفاده از نانوسیال اندکی افت فشار اضافی به سامانه تحمیل می‌کند اما با توجه به نوع کاربری آن قابل صرفه نظر است.

کلمات کلیدی: مبدل حرارتی پوسته و لوله، نانوسیال، نانوذره نقره، سامانه بسته، ضریب انتقال حرارت

فهرست علائم

فشار ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-2}$)	P
عدد ناسلت	Nu
عدد رینولدز	Re
سرعت (ms^{-1})	u_i
دما ($^{\circ}\text{C}$)	T

علائم یونانی

چگالی (kgm^{-3})	ρ
لزجت دینامیکی ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$)	μ
نسبت حجمی ذرات	ϕ_p

۱- مقدمه

مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله تقریباً بیشترین کاربرد را در صنایع مختلف از جمله نیروگاه اصفهان دارند. یکی از کاربردهای این نوع مبدل، کولرهای چرخه بسته^۱ می‌باشد. این سامانه به منظور انتقال حرارت بین دو مایع استفاده می‌شود. سیال‌هایی مانند آب، اتیلن گلیکول، روغن موتور و غیره، نقشی حیاتی در فرآیند انتقال حرارت در صنعت ایفا می‌کنند اما این سیال‌ها بطور کلی دارای ویژگی‌های انتقال حرارت ضعیفی در مقایسه با بیشتر جامدات هستند و همین امر سبب ایجاد مشکلات فراوانی در طراحی مبدل‌های حرارتی و فشرده ساختن آنها شده است. پیشرفت‌های اخیر در معلق ساختن ذرات فوق‌العاده ریز جامد در سیالات، به عنوان راهکاری جدید در عملیات انتقال حرارت مطرح شده است. انواع مختلفی از ذرات جامد شامل ذرات فلزی و اکسید فلزها وجود دارد که برای تشکیل سوسپانسیون به سیال افزوده می‌شود تا عملکرد حرارتی آن‌ها بهبود پیدا کند. نقره خالص دارای هدایت الکتریکی و گرمایی بالایی بوده و همچنین قادر به از بین بردن انواع میکرو ارگانیسم‌های بیماری‌زا می‌باشد. از جمله دلایل عمده استفاده از نانوذرات نقره را می‌توان، غیر سمی بودن، شیمیایی نبودن محلول آن در آب، سازگاری با محیط زیست، مقاوم در برابر حرارت، آب دوست بودن، تأثیر بسیار بالا و سریع حتی در غلظت‌های کم، فاقد حساسیت برای بدن نام برد.

سامانه خنک‌کن چرخه بسته سامانه‌ای است که آب مقطر در آن در یک مسیر بسته در گردش می‌باشد و به علت عدم مجاورت با هوا تبخیر در آن صورت نمی‌گیرد؛ بنابراین در ترکیب آن تغییر چندانی به وجود نمی‌آید. سامانه چرخه بسته، مشابه هر شبکه آبی احتیاج به بهسازی شیمیایی دارد ولی چون هدر رفتن آن کم است هزینه بهسازی در شرایط خوب، زیاد نمی‌باشد. برای اینکه سامانه به خوبی کار کند، آب اولیه و آب جبرانی می‌بایست از کیفیت خوبی برخوردار باشند. مصرف و کاربرد سامانه خنک‌کننده چرخه بسته از این لحاظ است که اشکالات ناشی از رسوب در مبدل‌های حرارتی حساس را از بین ببرند. هرچند احتمال رسوب و خوردگی کم است، در بازه زمانی مشخص آب آزمایش شده و مقدار مواد محلول در آن مشخص گردد. چون غالباً در مسیر عبور سیال، آلیاژها و فلزات مختلف وجود دارد، لذا احتمال خوردگی گالوانیکی نیز وجود دارد.

فرج الهی و همکاران [۱] خواص انتقال حرارتی نانو سیالات آب/اکسید آلومینیوم و آب/اکسید تیتانیوم تحت شرایط جریان آشفته در یک مبدل حرارتی پوسته و لوله با کسر حجمی به ترتیب در محدوده ۰/۳-۰/۲ و ۰/۱۵-۰/۷۵٪ اندازه‌گیری نمودند. نتایج، نشان می‌دهد افزایش نانوذرات به سیال پایه عملکرد انتقال حرارت را بهبود می‌بخشد و نتایج برای ضرایب انتقال حرارت بزرگ‌تر در یک عدد پکلت ثابت محسوس‌تر است؛ همچنین برای نانوسیال آب/اکسید آلومینیوم در شرایط ثابت برای کسر حجمی ۰/۳٪ و ۰/۷۵٪ افزایش به ترتیب ۲۱٪ و ۲۳٪ را نشان می‌دهد. واج‌ها و همکاران [۲]، ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال آب/اکسید آلومینیوم و آب/اکسید مس را در مبدل حرارتی جریان متقاطع با لوله پره‌دار در جریان آرام مورد مطالعه قرار دادند، نتایج نشان می‌دهد که در هر دو نانوسیال افزایش رینولدز و غلظت نانوذره موجب افزایش ضریب انتقال حرارت و عدد ناسلت می‌شود. با مقایسه نانوسیال‌های استفاده شده مشخص شد، آب/اکسید مس اثر بیشتری در افزایش انتقال حرارت نانوسیال نسبت به سیال پایه می‌گذارد. نوید بزرگان و همکاران [۳] کاربرد نانوسیال اتیلن گلیکول/اکسید آلومینیوم به عنوان سیال خنک‌کننده در یک مبدل حرارتی دو لوله‌ای تحت جریان آرام مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها با افزودن سه نمونه متفاوت نانو اکسیدهای آلومینیومی AR، AK و AF که از لحاظ خواص سطح، شکل و اندازه با هم تفاوت دارند به سیال پایه اتیلن گلیکول در غلظت‌های حجمی تا ۷٪ بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد، بعلاوه اینکه سطح اکسید آلومینیوم AR آب‌دوست و AK آب‌گریز است، افزایش انتقال حرارت در نانوسیال AK در مقایسه با AR بیشتر بوده است. بعلاوه اینکه شکل نانوذرات اکسید آلومینیوم AF میله‌ای است و افزایش سطح انتقال حرارت در مقایسه با ذرات کروی، بیشتر است بنابراین بیشترین افزایش انتقال حرارت در نانوسیالات AF مشاهده شد. سیفی [۴] در مبدل حرارتی پره‌دار، ضریب انتقال نانوسیال آب/اکسید آلومینیوم را در غلظت‌های متفاوت محاسبه نمود و در کسر حجمی ۱٪ نانوسیال افزایش ۴۵٪ در ضریب انتقال حرارت نسبت به سیال پایه را گزارش نمود. لیون و همکاران [۵] کاربرد نانوسیال مس با سیال پایه اتیلن گلیکول را در یک

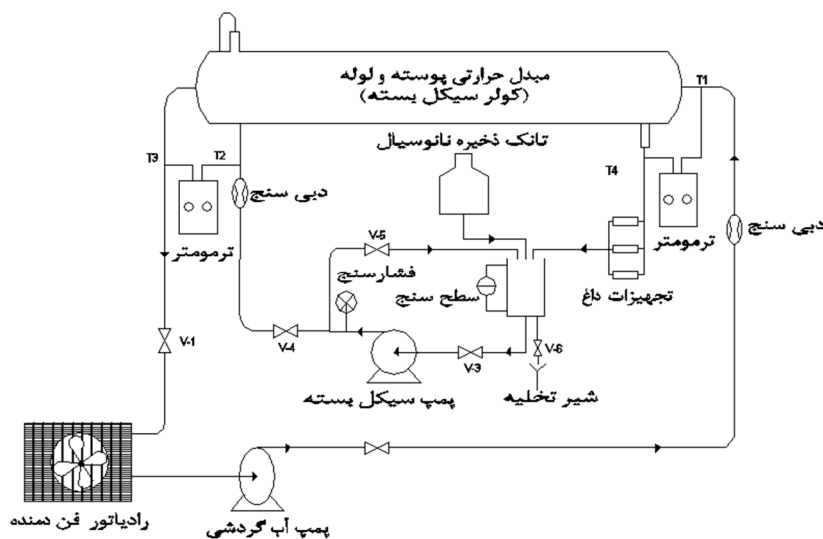
1. Closed Cycle Cooler

سامانه خنک کننده اتومبیل مورد مطالعه قرار دادند؛ نتایج نشان داد که ضریب انتقال حرارت کلی و نرخ انتقال حرارت در سامانه خنک کننده موتور با استفاده از نانوسیال در مقایسه با اتیلن گلیکول خالص افزایش می‌یابد. با اضافه شدن ۲٪ ذرات مس در یک سیال پایه در عدد رینولدز ۶۰۰۰ و ۵۰۰۰ حدود ۳/۸٪ افزایش انتقال حرارت می‌توان به دست آورد. پیغمبرزاده و همکاران [۶] به طور تجربی انتقال حرارت جابجایی اجباری نانوسیال آب/اکسید آلومینیوم در محدوده ۰/۰۱ تا ۰/۱ درصد حجمی در رادیاتور خودرو تحت جریان آشفته تحلیل کردند. نتایج نشان داد که افزایش نرخ گردش سیال می‌تواند عملکرد انتقال حرارت را بهبود بخشد در حالی که دمای ورودی سیال به رادیاتور اثر ناچیزی دارد. در همین حال، استفاده از نانوسیال با غلظت کم می‌تواند راندمان انتقال حرارت را تا ۴۵٪ در مقایسه با آب خالص بالا ببرد. گادسون و همکاران [۷] در یک مطالعه تجربی به بررسی انتقال حرارت نانوسیال آب/نقره در یک مبدل حرارتی پوسته و لوله پرداخته‌اند. بررسی آنها تاثیر قوی هدایت حرارتی در فرآیند انتقال حرارت را نشان می‌دهد. درصد افزایش ضریب انتقال حرارت در کسرهای حجمی ۰/۰۱، ۰/۰۳ و ۰/۰۴ به ترتیب ۹/۲٪، ۱۰/۸۷٪ و ۱۲/۴٪ است. نتایج نشان داد افزایش کسر حجمی ذرات نقره موجب افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی و کارایی نانوسیال نقره/آب می‌شود. بطور کلی اهداف ذیل در این مطالعه تأمین می‌گردد:

- ۱- تعیین ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت نانو سیال آب/مقطر/نقره و مقایسه آن با نتایج حاصل از آب مقطر
- ۲- مشخص نمودن تغییرات افت فشار با استفاده از نانوسیال آب مقطر/نقره و مقایسه آن با نتایج حاصل از آب مقطر

۲- روش انجام آزمایش

یک سامانه آزمایشگاهی برای مطالعه فرآیند انتقال حرارت جابجایی نانوسیالات در مبدل حرارتی پوسته و لوله طراحی و ساخته شد، سامانه چرخه بسته آزمایشگاهی که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. سامانه چرخه بسته آزمایشگاهی

این سامانه بطور کلی شامل دو حلقه جریان می‌باشد. مبدل حرارتی از جنس مس بوده و تجهیزات دیگری همچون مخزن گرمایش ۲۵ لیتری، هیتر برقی، رادیاتور، مخزن ۲۰ لیتری جمع‌آوری نانوسیال، لوله کنار گذر^۱، ۴ عدد ترمومتر از نوع (آرتی دی^۲)، دو جریان سنسور^۳، ۴ عدد فشارسنسور، فن دمنده، کنترلر دما و دو عدد پمپ گریز از مرکز از جنس استیل که جهت تأمین دبی لازم بکار می‌روند، در این سامانه بکار گرفته شده است.

1 By Pass
 2 R.T.D
 3 Flowmeter

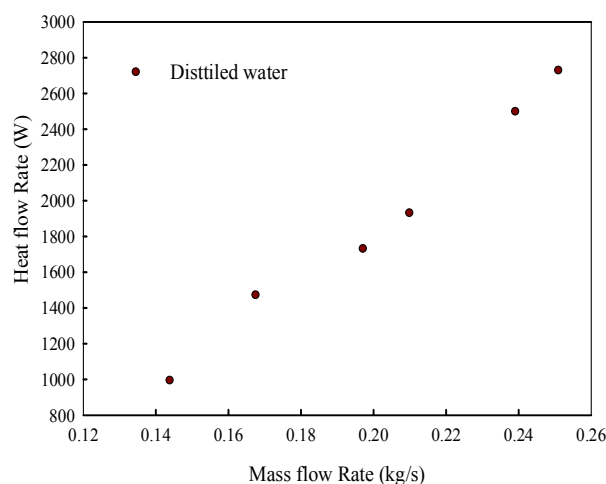
قسمت اصلی آزمایش شامل مبدل پوسته و لوله است که بر روی شاسی نصب شده است. مبدل حرارتی دارای دو گذر لوله و یک گذر پوسته می‌باشد، نانوسیال از درون ۲۸ عدد لوله با قطر خارجی ۶/۲۵ میلی‌متر و طول مؤثر ۳۵۴ میلی‌متر عبور می‌کند. آب گرم نیز از درون پوسته با قطر داخلی ۷۸ میلی‌متر جریان دارد. گام لوله ۸ میلی‌متر بوده و از بافل‌های ۲۵٪ با فاصله ۴۳/۷۵ میلی‌متر از هم استفاده شده است. مبدل حرارتی و لوله‌کشی به منظور جلوگیری از تبادل گرما با محیط عایق گرمایی شده‌اند. دبی جریان با استفاده از دو شیر، یکی در حلقه اصلی جریان و دیگری در خط کنارگذر، کنترل می‌گردد. دبی‌سنج‌های آب و نانوسیال با استفاده از روش وزن کردن آب و نانوسیال جمع‌آوری شده در دوره زمانی معین کالیبره شده‌اند. ۴ عدد ترمومتر که در ورودی و خروجی مبدل حرارتی نصب شده است. بوسیله ترموکوپل مرجع نوع PT100 کالیبره شده‌اند. خطای اندازه‌گیری دمای سیال که با استفاده از ترمومترهای نوع آر تی دی انجام شده است ± 0.1 °C می‌باشد. فشارسنج‌ها در آزمایشگاه کالیبراسیون با دستگاه مرجع کالیبره شده‌اند.

نانوسیال آب‌مقطر/نقره از داخل لوله‌ها و سیال گرم از داخل پوسته مبدل عبور می‌کند. داخل منبع گرم یک عدد گرمکن ۱ کیلو وات نصب شده است که از طریق یک کنترلر، دمای ورودی به پوسته مبدل را ثابت نگه می‌دارد. پس از پایدار شدن شرایط، از وضعیت دما، فشار، دبی دیتابرداری انجام شد، هر آزمایش با شرایط ویژه‌اش جهت کاهش خطا چند مرتبه تکرار شد. آزمایش در دماهای مختلف ثابت در ورودی سمت پوسته مبدل و دبی‌های مختلف نانوسیال با کسرهای حجمی مختلف صورت گرفت. در این مطالعه نانوسیال آب‌مقطر/نقره با کسرهای حجمی ۰/۰۱٪، ۰/۰۲۵٪، ۰/۰۵٪، ۰/۰۷۵٪ و ۰/۱٪ ذرات نقره به منظور بررسی میزان انتقال حرارت، در ناحیه توسعه یافته و آرام در یک مبدل حرارتی پوسته و لوله انجام شده است.

جدول ۱. خواص فیزیکی نانوذرات نقره

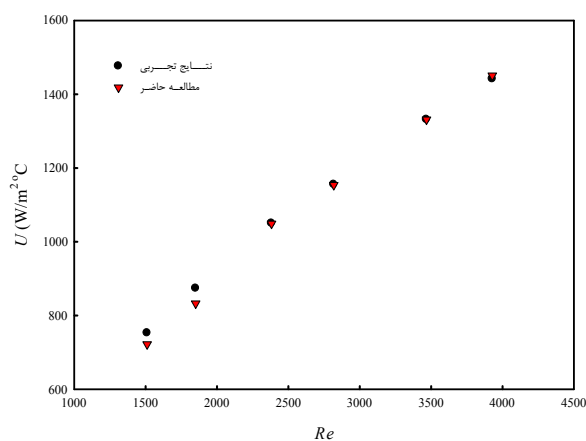
نانوذره	قطر میانگین	چگالی	هدایت حرارتی	گرمای ویژه
	nm	kg/m ³	W/mK	kJ/kgK
نقره	۲۰	۱۰۴۹۰	۴۲۹	۲۳۲

آزمایش اولیه ابتدا با سیال پایه، آب‌مقطر، انجام شد، تا مبنای آزمایش و محاسبه، با نانوسیال آب‌مقطر/نقره قرار گیرد. سپس آزمایش‌ها با نانوسیال آب‌مقطر/نقره در کسرهای حجمی متفاوت در همان دبی‌ها و دماهای استفاده شده برای آب‌مقطر تکرار شد. وقتی دما برای حدود ۲۰ دقیقه مقدار ثابتی را نشان داد و پایداری نسبی در سامانه حاصل شد داده‌برداری انجام می‌شود. در شکل ۲ نرخ انتقال حرارت آب‌مقطر/آب‌مقطر نشان داده شده است.



شکل ۲. نرخ انتقال حرارت آب مقطر/آب مقطر

در شکل ۳ ضریب کلی انتقال حرارت اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش بینی شده با آب مقطر مطابقت خوبی را نشان می‌دهد.



شکل ۳. مقایسه ضریب کلی انتقال حرارت بین نتایج تجربی و مطالعه حاضر

۳- روش تحلیل نتایج تجربی

گرمای مبادله شده بین نانوسیال داخل لوله و سیال سمت پوسته از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{nf} = \dot{m}_{nf} C_{p,nf} (T_{out} - T_{in})_{nf} \quad (1)$$

که در آن T_{out} دمای بالک نانوسیال خروجی، T_{in} دمای بالک نانوسیال ورودی، $C_{p,nf}$ گرمای مخصوص نانوسیال و \dot{m}_{nf} دبی جرمی می‌باشد.

خواص ترموفیزیکی مورد استفاده برای نانوسیال شامل دانسیته، ویسکوزیته، گرمای مخصوص و ضریب هدایت حرارتی از روابط زیر با توجه به خواص آب و ذرات نانو در دمای متوسط بالک تعیین می‌شوند [۸]:

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi_p) \rho_f + \varphi_p \rho_p \quad (2)$$

که φ_p نسبت حجمی ذرات نانو، ρ_p دانسیته ذرات نانو و ρ_f دانسیته ذرات آب می‌باشد [۹].

$$\mu_{nf} = (1 + 2.5\varphi_p) \mu_f \quad (3)$$

در این رابطه μ_f دانسیته آب بوده و رابطه بالا در غلظت کمتر از ۱٪ حجمی برای ذرات کروی قابل استفاده است [۱۰].

$$C_{p,nf} = \frac{(1-\varphi_p)(\rho C_p)_f + \varphi_p(\rho C_p)_p}{\rho_{nf}} \quad (۴)$$

در رابطه بالا $C_{p,p}$ گرمای مخصوص نانوذرات و $C_{p,f}$ گرمای مخصوص آب است؛ و همچنین برای ضریب هدایت حرارتی نانوسیال نیز داریم [۱۱]:

$$k_{nf} = k_f \frac{k_p + 2k_f - 2\varphi_p(k_f - k_p)}{k_p + 2k_f + \varphi_p(k_f - k_p)} \quad (۵)$$

در رابطه بالا k_f ضریب هدایت حرارتی آب و k_p ضریب هدایت حرارتی نانوذرات می‌باشد.

در طی این آزمایش با اندازه‌گیری دمای ورود و خروج نانوسیال، آب‌مقطر، دبی جرمی سیال عبوری و محاسبات خواص رئولوژیکی و فیزیکی نانوسیال، می‌توان گرمای مبادله شده را برای نانوسیال در غلظت‌های مختلف و دبی‌های متفاوت تعیین نمود. محاسبه ضریب انتقال حرارت در داخل لوله در حالت پیوسته و یکنواخت معمولاً با رابطه زیر بیان می‌شود [۱۲]:

$$\frac{h_i d_i}{k_f} = j_h Re Pr^{0.33} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (۶)$$

در این رابطه j_h فاکتور انتقال حرارت است. این فاکتور چیزی شبیه به ضریب اصطکاک است که در روابط تعیین افت فشار از آن استفاده می‌شود. فاکتور انتقال حرارت بصورت زیر تعریف می‌شود [۱۲]:

$$j_h = St Pr^{0.67} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-0.14} \quad (۷)$$

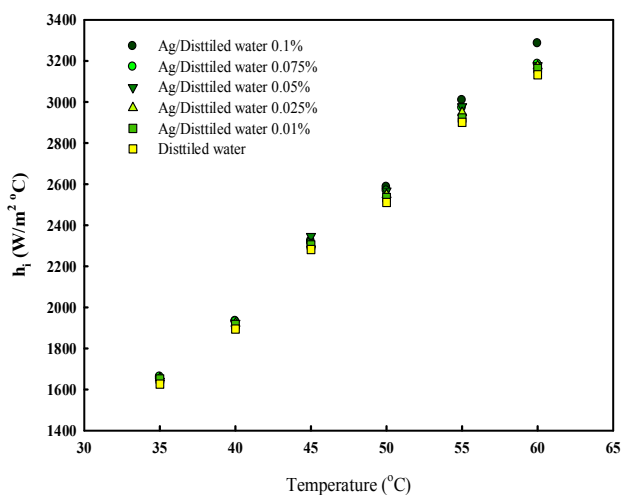
$$St = \frac{Nu}{Re Pr} = \frac{h_i}{\rho u_i C_p} \quad (۸)$$

ضریب کلی انتقال حرارت، U_i ، بصورت زیر بدست می‌آید.

$$Q = U_i A_i \Delta T_{lm} \quad (۹)$$

که در این رابطه ΔT_{lm} اختلاف دمای میانگین لگاریتمی است.

انتقال حرارت بین نانوسیال آب‌مقطر/نقره و آب‌مقطر با کسر حجمی ۰/۰۱، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ ذرات در دبی‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. با افزایش دما نرخ انتقال حرارت افزایش می‌یابد همچنین در محدوده دبی‌های مورد آزمایش با افزایش دبی نیز نرخ انتقال حرارت افزایش پیدا نمود. با افزایش کسر حجمی نانوذرات نقره شاهد افزایش میزان انتقال حرارت هستیم.

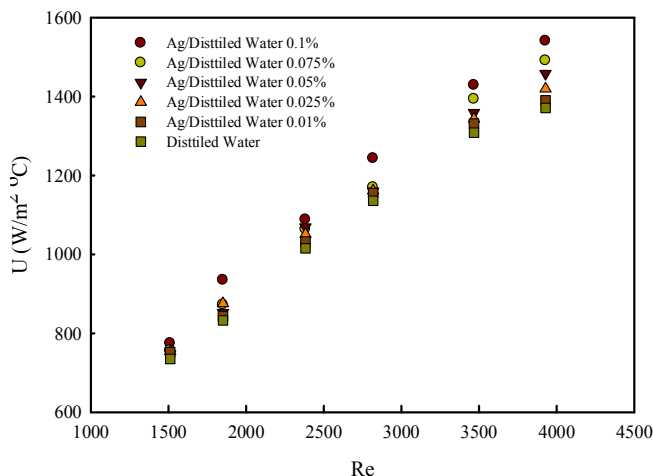


شکل ۴. ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال آب‌مقطر/نقره در کسرهای حجمی

۰/۰۱، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ نسبت به دما در رینولدز ثابت

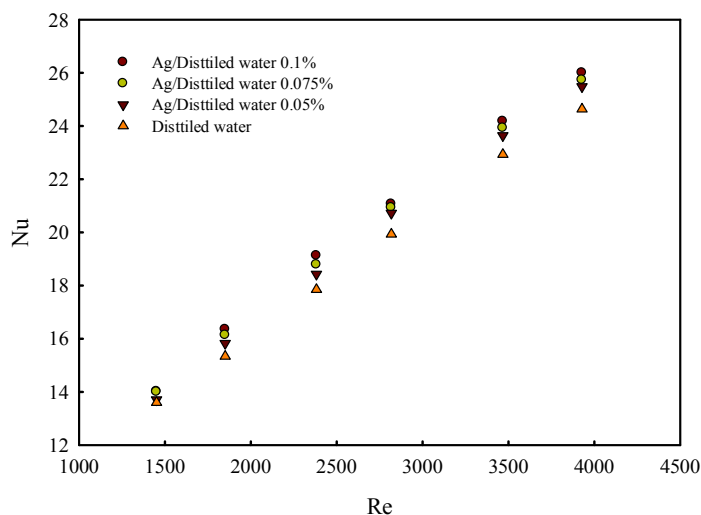
ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیال آب‌مقطر/نقره نسبت به عدد رینولدز برای کسرهای مختلف حجمی ذرات در شکل ۵ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود ضریب کلی انتقال حرارت در عدد رینولدز ثابت با افزایش کسر ذرات نسبت به سیال پایه افزایش می‌یابد حداکثر افزایش در ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیال آب‌مقطر/نقره در کسر حجمی ۰/۱

اتفاق می‌افتد. در این حالت با افزایش عدد رینولدز تا مقدار ۳۹۰۰، میزان بهبود ضریب کلی انتقال حرارت حدود ۱۲/۵٪ خواهد بود. در همین مقدار عدد رینولدز، افزایش ضریب کلی انتقال حرارت در کسرهای حجمی ۰/۰۷۵٪، ۰/۰۵٪، ۰/۰۲۵٪، ۰/۰۱٪ به ترتیب برابر ۸/۸٪، ۶/۴٪، ۳/۵٪ و ۱/۴٪ می‌باشد.



شکل ۵. ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیال آب مقطر/نقره نسبت به عدد رینولدز برای کسرهای حجمی گوناگون ذرات

تغییرات عدد ناسلت نسبت به عدد رینولدز در دماهای مختلف و با کسرهای حجمی ۰/۰۱٪، ۰/۰۷۵٪ و ۰/۰۵٪ در شکل ۶ آمده است همانطور که از نتایج آزمایش برآورد می‌شود بطور کلی نرخ تبادل حرارتی نانوسیال در تمام کسرهای حجمی نسبت به سیال پایه بیشتر شده است و مقدار انرژی جذب شده توسط نانوسیال نسبت به آب مقطر بیشتر است هر چند که در دبی‌های بالاتر از دبی‌های استفاده شده در این تحقیق ممکن است مقدار تبادل حرارتی در آب خالص و نانوسیال تفاوت چندانی با هم نداشته باشند.

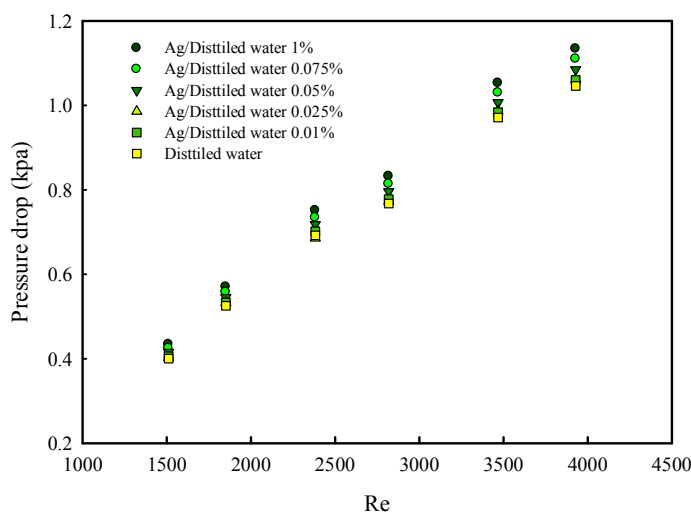


شکل ۶. مقایسه تغییرات عدد ناسلت نسبت به عدد رینولدز در دماهای مختلف سیال پایه و نانوسیال با کسرهای حجمی ۰/۰۱٪، ۰/۰۷۵٪ و ۰/۰۵٪

۴- ارزیابی استفاده از نانوسیالات

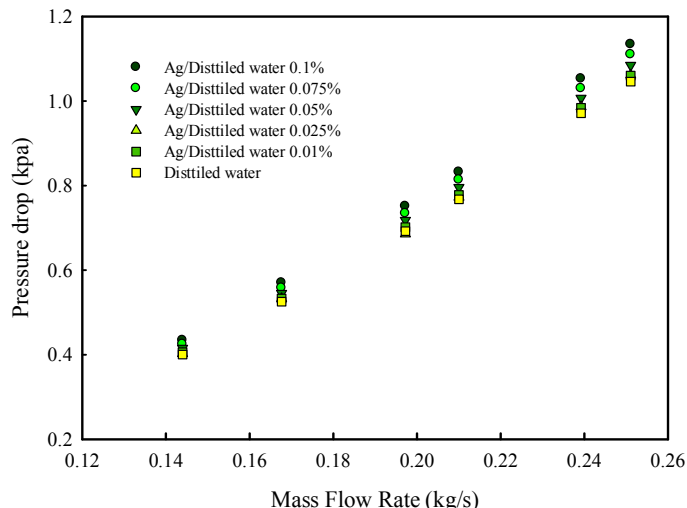
برای تجهیزاتی مانند آنچه در این تحقیق مد نظر بوده است مانند خنک کننده تجهیزات داغی مثل یاتاقانهای پمپ‌ها، فن‌های دمنده، ژنراتور و ... گرمای حاصل از قبل مشخص است اما در یک زمان یکسان، حجم مایع سرد کننده و توان پمپاژ لازم نقش تعیین کننده خواهد داشت. در این تحقیق هنگامی که نانوسیال جایگزین آب شد، هدف ثابت نگه داشتن عدد رینولدز نبود، اما جهت کنترل کردن و یکسان سازی گرمای حاصل ناچار شدیم که از سیال کمتر با توان پمپاژ کمتر و یا یکسان استفاده نماییم. برای یک مبدل حرارتی، استفاده از نانوسیال موجب انتقال حرارت بالاتر می‌شود. این در حالی است که اگر از آب مقطر استفاده شود این مقدار کمتر است. افزون بر این برای گرمای حاصله یکسان، دبی حجمی لازم نانوسیال جهت غلبه بر بار حرارتی ویژه تقریباً سه برابر کمتر از مقدار متناظر برای آب می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رفت برای دبی‌های حجمی یکسان افت فشار اندازه‌گیری شده نانوسیال نسبت به آب اندکی بیشتر است. اما هنگامی که عملکرد دو مایع سرد را بر حسب گرمای حاصله یکسان مقایسه می‌کنیم افت فشار نانوسیال بخاطر دبی پایین‌تر آن کمتر است.

در شکل ۷ افت فشار را بصورت تابعی از عدد رینولدز تحت شرایط متفاوت آزمایشگاهی نشان می‌دهد این شکلها نشان دهنده آن است که در شرایط یکسان افت فشار در نانوسیال بسیار به مقادیر افت فشار سیال پایه نزدیک بوده و با افزایش دمای نانوسیال و افزایش دمای آب داغ کاهش می‌یابد. افزایش دمای نانوسیال و آب داغ موجب کاهش گرانیوی شده که این خود منتهی به کاهش افت فشار خواهد شد.



شکل ۷ مقایسه بین افت فشار آب و نانوسیال آب مقطر/ نقره با کسرهای حجمی
 ۰/۱، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۰۷۵، ۰/۱ و ۰/۰۱

همانگونه که در شکل ۸ مشخص است با افزایش دبی نانوسیال آب مقطر/نقره افت فشار نیز افزایش پیدا کرده است همچنین با افزایش کسر حجمی نانوذرات افت فشار بیشتر شده است. به فرض در کسر حجمی ۰/۱ و دبی ۰/۲۵ kg/s حدود ۱۴٪ نسبت به آب مقطر افت فشار نشان می‌دهد.

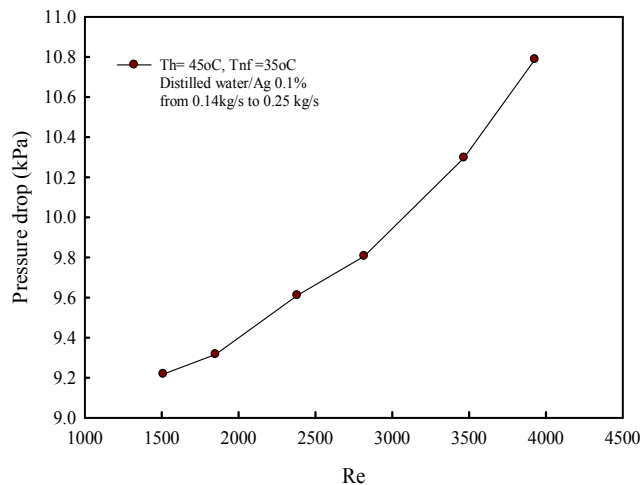


شکل ۸. مقایسه بین افت فشار آب مقطر و نانوسیال نقره با کسرهای حجمی ۰/۱٪،

۰/۲۵٪، ۰/۱۵٪، ۰/۰۷۵٪ و ۰/۱٪ در دماها و دبی‌های گوناگون

در حالت کلی و برای تمامی موارد مطالعه شده درمی‌یابیم که دبی لازم نانوسیال حدود ۴ برابر نسبت به آب کمتر است. متعاقب آن نه تنها نانوسیال می‌تواند با دبی بسیار پایین‌تر از آب همان مقدار انرژی را انتقال دهد بلکه توان پمپاژ کمتری نیز لازم دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در دبی‌های جرمی پایین‌تر، با دمای آب ورودی بالاتر و تراکم ذره بالاتر، نرخ ضریب کلی انتقال حرارت بالاتری را شاهد خواهیم بود. تحت شرایط بهینه، در دمای آب ورودی 45°C ضریب کلی انتقال حرارت ۳/۶٪ نسبت به دمای آب 35°C بهبود نشان می‌دهد. اما در دبی‌های جرمی بالاتر، دمای آب ورودی کمتر نرخ ضریب کلی انتقال حرارت بهتری را نتیجه می‌دهد.

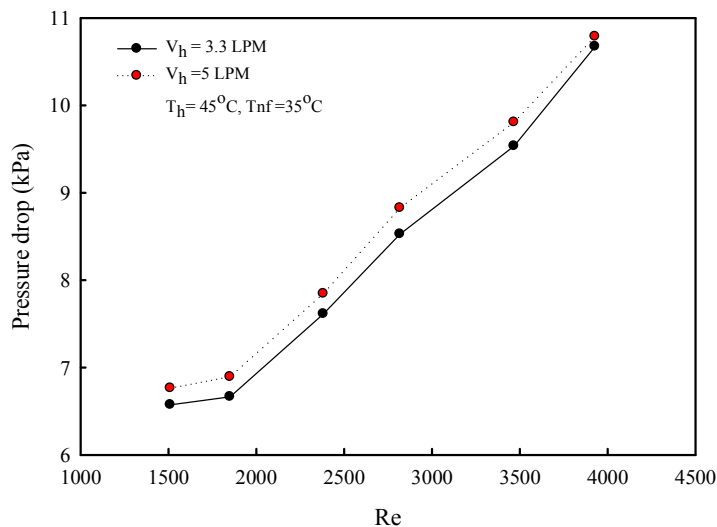
در شکل ۹ افت فشار را بصورت تابعی از عدد Re تحت شرایط متفاوت آزمایشگاهی نشان می‌دهد. این شکل نشان دهنده آن است که در شرایط یکسان، افت فشار در نانوسیال بسیار به مقادیر افت فشار سیال پایه نزدیک بوده و با افزایش دمای نانوسیال و افزایش دمای آب داغ کاهش می‌یابد. افزایش دمای نانوسیال و آب موجب کاهش گرانیوی شده که این خود منتهی به کاهش افت فشار خواهد شد.



شکل ۹. افت فشار را بصورت تابعی از عدد Re نانوسیال آب مقطر/نقره در

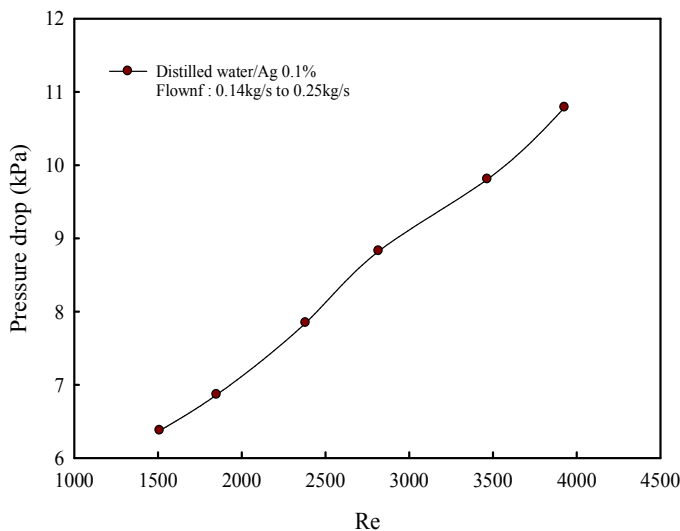
دبی‌های مختلف

در شکل ۱۰ افت فشار را بعنوان تابعی از عدد Re در دمای آب داغ 45°C و دمای نانوسیال 35°C در دبی‌های مختلف آب داغ نشان می‌دهد. واضح است که دبی آب داغ تأثیر چندانی روی افت فشار نانوسیال ندارد. این امر بخاطر این است که تأثیر افزایش دبی آب داغ روی گرانی نانوسیال بسیار کم است. در نتیجه تغییرات افت فشار اندازه‌گیری شده نانوسیال بسیار کم بوده است.



شکل ۱۰. مقایسه افت فشار نانوسیال (۱٪ حجمی) در دبی‌های مختلف آب داغ

در شکل ۱۱ تغییرات افت فشار نانوسیال آب مقطر/نقره با کسر حجمی ۱٪ با افزایش دبی نانوسیال را نشان می‌دهد هرچه دبی نانوسیال در این آزمایش افزایش پیدا کرد افت فشار نیز افزایش پیدا کرده است.



شکل ۱۱ مقایسه تغییرات افت فشار نانوسیال آب مقطر/نقره با کسر حجمی ۱٪ با افزایش دبی نانوسیال

۵- نتیجه‌گیری

- در شرایط یکسان برای ایجاد دمای خنک‌کن حدود 35°C حجم نانوسیال مورد استفاده تقریباً ۴ برابر کمتر از آب مقطر می‌باشد که از این طریق می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی نمود، همچنین می‌توان ابعاد مبدل حرارتی را نیز تقلیل داد.

- در دماهای بالاتر از 60°C بعلت اینکه مقداری از آب تبخیر می‌شود غلظت نانوسیال افزایش پیدا می‌کند که می‌بایست در بازه‌های زمانی مشخص مقداری نانوسیال با غلظت پایین‌تر به سیال در گردش تزریق شود.
- جهت جلوگیری از رسوب احتمالی نانوسیال داخل مبدل حرارتی بهتر است رژیم جریان توسعه یافته یا مغشوش باشد.
- در دمای ثابت آب داغ با افزایش دبی نانوسیال آب مقطر/نقره افت فشار زیاد می‌شود.
- با افزایش دبی و همچنین دمای نانوسیال در کسرهای حجمی بالا افت فشار افزایش بیشتری پیدا می‌کند.
- با افزایش دما و دبی بطور همزمان در کسرهای حجمی پایین تقریباً افت فشار تغییر چندانی ندارد.
- در شرایط یکسان، افت فشار و ضریب اصطکاک نانوسیال تقریباً با آب مقطر خالص برابر است. که دلالت بر آن دارد که برای استفاده از نانوسیال نیاز به تقویت پمپ نمی‌باشد.
- نتایج این آزمایش در سامانه خنک‌کن بسته پیش‌گرم کن هوای ورودی به بویلر نیروگاه برق اصفهان بصورت عملی تست شد. و قرار است در آینده در سامانه خنک‌کن بسته تجهیزات که شامل کولرهای ژنراتور، یاتاقان‌های پمپ‌های آب تغذیه بویلر، یاتاقان‌های فن‌های دمنده هوا و ... می‌شود مورد استفاده قرار گیرد.

۶- مراجع

- [1] B. Farajollahi, S.Gh. Etemad, M. Hojjat, 2010, "Heat transfer of nanofluids in a shell and tube heat exchanger", International Journal of Heat and Mass Transfer, 53, 12-17 (In Persian)
 - [2] R.S. Vajjha, D.K. Das, P.K. Namburu, 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
 - [3] N. Bozorgan, F. Panahizadeh, N. Bozorgan, "Investigating the using of Al₂O₃/EG nanofluids as coolants in a double-tube heat exchanger", mechanics.journals.modares.ac.ir, 11, 75-84, (2011). (In Persian)
 - [4] M. Seifi Jamnani, S.M. Hoseini, S.H. Hashemabadi, S.M. Peyghambarzad, 2010, "Experimental Study of Al₂O₃/Water nano-Fluid Flow Heat Transfer Through the Elliptical Tubes", ICHEC13, Kermanshah- Iran (In Persian)
 - [5] KY. Leong, R. Saidur, SN. Kazi, AH. Mamun, "Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator)", Applied Thermal Engineering 2010;30:2685-92.
 - [6] SM. Peyghambarzadeh, SH. Hashemabadi, M. Seifi Jamnani, SM. Hoseini "Improving the cooling performance of automobile radiator with Al₂O₃/ water nanofluid", Applied Thermal Engineering 2011;31:1833-8. (In Persian)
 - [7] L. Godson, K. Deepak, C. Enoch, "Heat transfer characteristics of silver/water nano fluids in a shell and tube heat exchanger", archives of civil and mechanical engineering, vol. 14, (2014)489-496.
 - [8] B.C. Pak, I.Y. Cho, "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with sub-micron metallic oxide particles", Experimental Heat Transfer 11 (1998) 151-170.
 - [9] D.A. Drew, S.A. Passman, "Theory of multicomponent fluids", Springer Berlin, 1999.
 - [10] Y. Xuan, W. Roetzel, "Conceptions for heat transfer correlation of nano fluids", International Journal of Heat and Mass Transfer 2000;43:3701-7.
 - [11] W. Yu, SUS. Choi, "The role of interfacial in the enhanced thermal conductivity of nanofluid: a renovated Maxwell model", Journal of Nanoparticles Researches 2003;5:167.
- [۱۲] غلامرضا باغمیشه، معصومه مراد زاده، رضا درستی، سید مهدی هدایت زاده، "طراحی مبدل‌های صنعتی با ASPEN B-JAC"

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی

مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها

اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله