



مطالعه تجربی انتقال حرارت جابجایی اجباری نانوسیال مس - آب در یک لوله مارپیچ

میلادصادق نژاد کلشتری - دانشجوی کارشناسی ارشد تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

محمدلایقی - استادیار گروه مهندسی صنایع چوب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

کمال عباسپورثانی - استادیار گروه تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

E-mail: miladoman@yahoo.com

چکیده: در این پژوهش، انتقال حرارت جابجایی اجباری نانوسیال مس بر مبنای آب در جریان مغشوش داخل لوله مارپیچ، بصورت تجربی در یک تونل باد بررسی شده است. تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی و نرخ گرمای انتقال یافته برای دبی ثابت نانوسیال مس، در غلظت‌های مختلف و در سرعت‌های متفاوت مطالعه فرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت نانوذرات به آب افزایش قابل توجهی در ضریب انتقال حرارت جابجایی و همچنین نرخ انتقال حرارت رخ می‌دهد. بررسی بیشتر نتایج نشان می‌دهد که این میزان افزایش تا یک حدی از غلظت نانوذرات ادامه دارد که در واقع غلظت بهینه است و بعد از این مقدار بهینه، ضریب انتقال حرارت کاهش می‌یابد و سیر نزولی پیدا خواهد کرد. نتایج آزمایش‌ها در سرعت‌های مختلف نشان می‌دهد که این رفتار نانوذرات و همچنین غلظت بهینه برای تمام سرعت‌ها یکسان بوده ولی میزان افزایش انتقال حرارت برای سرعت‌های بالاتر بیشتر است.

واژه های کلیدی: نانوسیال مس، انتقال حرارت جابجایی اجباری، لوله مارپیچ.

Experimental Study of the Forced Convection Heat Transfer of Cu-H₂O Nano-Fluid through a Helical Tube

M. Sadeghnezd, M.Sc. Student, The Faculty of Mech. Eng., IAU, Branch of Takestan

M. Layeghi, Ass. Prof., Dept. of Wood Eng., The Faculty of Agri., Tehran University.

K. Abbaspoursani, Ass. Prof., The Faculty of Mech. Eng., IAU, Branch of Takestan.

Abstract: In this paper, the forced convection heat transfer of Cu nano-fluid with base fluid of water through a helical tube has been studied. The variation of the heat transfer coefficient and the rate of heat transfer for a constant of mass flow rate for various fraction and velocity have been determined. A careful examination of the obtained results it reveals that by increasing the particle concentration, a considerable increasing in the heat transfer coefficient and the rate of heat transfer occurs. The further survey shows that this increasing for a limit of concentration obtained that is the optimum concentration. After this optimum value of concentration, the heat transfer coefficient is reducing tubular heat exchangers are the most important devices and more than any other heat exchangers are used in the industry. For concentric annuli, the "annular diameter ratio" parameter has an important role in the study of heat transfer in this kind of heat exchangers. In this article, numerical results of Nusselt number in annuli with a wide range of annular diameter ratios were compared with previous experiments.

Keywords: Cu Nano-fluid, Forced convective heat transfer and Helical tube.

۱- مقدمه

امروزه فرآیند خنک‌کاری یکی از چالش‌های مهم در اغلب فناوری‌های پیشرفته از قبیل میکروالکترونیک، حمل و نقل، ساخت و صنایع فضائی و دفاعی به‌شمار می‌آید. برای مثال در صنایع الکترونیک و ابر رایانه‌ها، قابلیت‌های بیشتر در کوچکتر نمودن اندازه‌های ابزار موردنیاز بوجود آمده‌است که منجر به تولید شارهای حرارتی بالا در ابعاد کوچک شده است. گرچه خنک‌کاری با هوا رایج‌ترین روش خنک‌کاری تاکنون در بدنه اغلب تجهیزات حرارتی شناخته شده‌است، اما در برخی نیاز به سیال‌های خنک‌کننده‌ای با قابلیت‌های حرارتی بالاتر می‌باشد. سیال‌های مرسوم برای انتقال حرارت نظیر آب، اتیلن گلیکول و روغن دارای خواص حرارتی ضعیفی در مقایسه با فلزات و حتی اکسیدهای فلزی هستند. برای مثال ضریب هدایت حرارتی نانولوله‌های کربنی در دمای معمولی بیش از ۴۹۰۰ برابر آب و بیش از ۲۰۰۰۰ برابر روغن می‌باشد. بدلیل پائین‌بودن ضریب انتقال حرارت این نوع سیال‌ها احتیاج به روشی برای افزایش آن می‌باشد. سوسپانسیون نانوذرات فلزی یا اکسید فلزی در این سیال‌های رایج به علت افزایش قابل توجه خواص حرارتی، توجه بسیاری از دانشمندان را در دهه‌های اخیر به خود جلب کرده است، به عنوان مثال مقدار کمی (حدود یک درصد حجمی) از نانوذرات مس یا نانولوله‌های کربنی در اتیلن گلیکول یا روغن به ترتیب افزایش ۴۰ و ۱۵۰ درصدی در هدایت حرارتی این سیالات ایجاد می‌کند [۱]. نتایج مطالعات تجربی انجام شده در سراسر جهان نشان می‌دهد که نانوسیال‌ها از قبیل نانوسیال‌های مس و نانولوله‌های کربنی دارای هدایت حرارتی بالاتری نسبت به سیال پایه هستند. در دهه گذشته تحقیقات بسیاری در مورد انتقال حرارت چندین نانوسیال به صورت تجربی صورت گرفته است.

نتایج مطالعه تجربی Eastman و همکاران در سال ۲۰۰۲ [۲] نشان می‌دهد که برای نانوسیال اکسید مس در آب با غلظت کمتر از ۱٪ ضریب انتقال حرارت جابجایی بیش از ۱۵٪ افزایش می‌یابد. در سال ۲۰۰۳ Xuan و Li [۳] در نتایج تجربی خود برای نانو سیال مس در آب در یک لوله با قطر ۱۰ میلی‌متر و طول ۸۰۰ میلی‌متر نشان دادند که ضریب انتقال حرارت جابجایی با تغییر سرعت جریان و کسر حجمی نانو ذرات تغییر می‌کند. Ding و Wen [۴] در سال ۲۰۰۴ مشخصات انتقال حرارت اجباری نانوسیال اکسید آلومینیوم در آب را (با اندازه ذرات در حد ۵۶-۲۷ نانومتر) برای منطقه ورودی یک لوله (با قطر ۴/۵ و طول ۹۷۰ میلی‌متر) در شرایط جریان آرام اندازه گیری کردند. این آزمایش برای محدوده عدد رینولدز ۲۲۰۰-۶۰۰ انجام گرفت. نتایج آنان نشان داد که ضرایب محلی انتقال حرارت اجباری با کسر حجمی و عدد رینولدز تغییر می‌کند. در سال ۲۰۰۶ Heris و همکاران [۵] انتقال حرارت جابجایی نانو سیال‌های آب/ (20nm) و آب/Cuo (50-60nm) را در شرایط جریان آرام درون یک لوله مسی ($L=1m, d=1, D=32$) محاسبه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی برای نانو سیال آب/ Al_2O_3 از Cuo/ آب بیشتر است. در سال ۲۰۱۰ Kyu Hyung Do و Seok Pil Jang [5] تأثیر نانو سیال Al_2O_3 (اکسید آلومینیوم) با سیال پایه آب را در لوله‌های میکروهِیت با سطح مقطع مستطیلی مورد بررسی قرار دادند از مقایسه عملکرد حرارتی با استفاده از DI آب و نانو سیال این نتیجه بدست آمد که لایه ی نازک متخلخل ایجاد شده ناشی از معلق شدن ذرات ریز در نانوسیال بوده است. همچنین در سال ۲۰۱۱ J.C.Kurnia و همکاران [6] انتقال حرارت آب/ Al_2O_3 و آب/Cuo را برای لوله‌های مربع ماریچی ساده، مخروطی، مسطح و حلزونی را بررسی کردند و مشخص شد که افزودن یک درصد غلظت حجمی نانو ذره عملکرد انتقال گرما را توسعه می‌دهد که البته مقادیر بالاتر از یک درصد را توصیه نکردند و همچنین مشخص کردند که لوله‌های ماریچی مسطح عملکرد بهتری دارند بعلاوه عملکرد نانو سیال اکسید آلومینیوم بهتر از اکسید مس است و باز در سال ۲۰۱۱ Yanuar و همکاران [7] انتقال حرارت جابجایی اکسید آلومینیوم را در لوله ماریچی به دور هم اندازه گیری کردند که افزایش بیش از ۲۸٪ در غلظت حجمی ۳٪ در مقایسه با آب بدست آمد.

۲- اهمیت نانو تکنولوژی

مفهوم جدید نام تکنولوژی آنقدر گسترده و ناشناخته است که ممکن است روی علم و تکنولوژی در مسیرهای غیر قابل پیش بینی تأثیر بگذارد. محصولات موجود نانو تکنولوژی عبارتند از: لاستیکهای مقاوم در برابر سایش که از ترکیب ذرات خاک رس با پلیمرها به دست آمده اند، مواد دارویی که در مقیاس نانو ذرات درست شده اند، همه دیسکهای لیزری و مغناطیسی که با کنترل دقیق ضخامت لایه ها از کیفیت بالاتری برخوردارند، چاپگرهای عالی با استفاده از نانو ذرات با بهترین خواص جوهر و رنگ دانه. بسیاری دیگر از ساختارها نیز هم اکنون در مرحله تحقیق و یا توسعه هستند که لیست برخی از آنها زیر آمده است:

۱- صنایع اتومبیل سازی و هوانوردی

۲- الکترونیک و ارتباطات

۳- مواد و شیمی

۴- داروسازی، بهداشت و علوم زندگی

۵- تولید تکنولوژیهای انرژی

۶- اکتشافات فضایی

۷- محیط زیست

۸- امنیت ملی

۳- روش های تهیه نانوسیالات

الف) روش تهیه تک مرحله ای

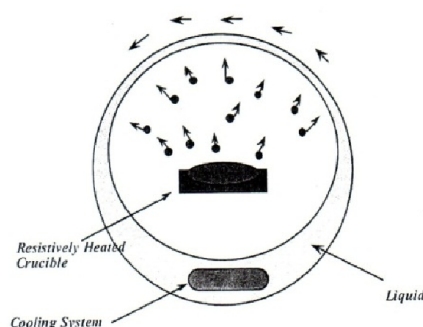
ب) روش تهیه دو مرحله ای

در روش تک مرحله ای، ذرات مورد نظر به طور مستقیم در درون سیال تهیه و پراکنده می شوند. به عنوان مثال برای تهیه نانوذرات فلزی درون یک سیال، بخار فلز مستقیماً به درون سیال پایه هدایت می شود تا به شکل نانوذرات کندانس گردد. این روش تهیه نانوسیال به روش پایین به بالا نیز معروف است. این روش که در شکل (۱) فرآیند آن نشان داده شده است، روش مناسبی برای تولید نانوسیالات فلزی می باشد.

در این روش تهیه نانوسیال، سطح نانوذرات در معرض شرایط نامطلوب قرار نگرفته و پوشش های ناخواسته روی آنها تشکیل نمی گردد. به همین دلیل نانوذرات تهیه شده از این طریق بسیار تمیز می باشد. و این مسئله مزیت روش تک مرحله ای نانوسیال با این روش اغلب همراه با مقدار متراکم شدن و تجمع ذرات در درون سیال می باشد روش یک مرحله ای تهیه نانوسیال به دلایل فنی اغلب کمتر مورد استفاده محققین قرار گرفته است. در عوض در اغلب کارهای تحقیقاتی محققین در گزارش های خود به استفاده از روش دو مرحله ای جهت تهیه نانوسیال اشاره کرده اند. علت این مسئله نیز آسان تر بودن فرمولاسیون نانوسیال با نانوپودرهای آماده و خریداری شده است.

در روش دو مرحله ای برای تهیه نانوسیال، می توان از انواع پودرها با اندازه های مختلف به راحتی استفاده کرد ، مسئله ای که در روش تک مرحله ای با مشکلات بیشتری همراه است. در روش دو مرحله ای ، ابتدا نانوذره مورد نظر یا نانولوله مورد نظر تهیه گردیده و سپس به سیال پایه افزوده می گردد. به نظر می رسد که این روش با توجه به این که می توان نانوذرات و نانولوله ها را بیشتر و اغلب آسان تر از روش تک مرحله ای تهیه کرد، اقتصادی بوده و برای کاربردهای صنعتی بهتر باشد.

در روش دو مرحله ای نیز باید مسئله کلوخه و توده ای شدن نیز چسبندگی نانوذرات را در نظر گرفت. شکستن وضعیت توده ای ذرات و برگرداندن آنها و وضعیت اولیه از اقدامات اساسی است که در تهیه نانوسیال باید صورت بگیرد.



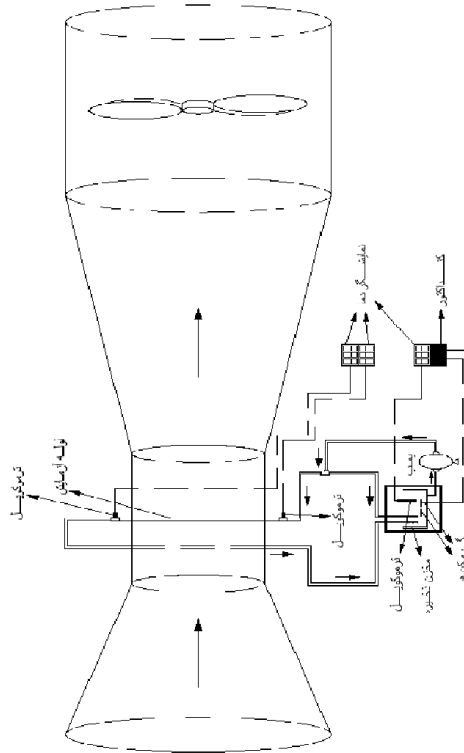
شکل (۱): روش تک مرحله ای تهیه نانوسیال

۴- شرح مسأله

برای انجام این پژوهش، متغیر هایی در داخل و خارج لوله در نظر گرفته شده بودند که با تغییر هر کدام از آنها، نرخ انتقال حرارت نیز تغییر میکرد. این متغیرها عبارت بودند از نانوسیال مس که برای آن آزمایش هاد چهار غلظت ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ ppm صورت می گرفت. دبی جریان عبوری از لوله مارپیچ داخل تونل باد نیز ثابت بوده و مقدار آن 19.5 ml/s بوده. همچنین سرعت باد روی لوله برای تمام غلظت ها در پنج سرعت $1, 3, 5, 9$ و 13 m/s می باشد به منظور تعیین ضریب انتقال حرارت جابجایی در جریان آرام یک نانو سیال، آزمایش ها در داخل یک تونل باد مادون صوت انجام گرفته است. این تونل باد دارای مقطع دایروی بوده و از سه بخش همگرا، محفظه آزمون و قسمت واگرا تشکیل شده است. محفظه آزمون ، دارای مقطعی دایروی به قطر 0.05 m و طول 0.06 m می باشد. شکل (۲). برای برقراری جریان هوا در تونل از یک جت فن جریان محوری سه فاز با قدرت 11 kw استفاده شده است. حداکثر سرعت جریان باد در تونل به حدود $37/5 \text{ m/s}$ می رسد. میزان یکنواختی جریان هوا در بخش محفظه آزمون این تونل به دلیل مقطع دایروی آن و کیفیت ساخت آن بسیار بالا بوده و بر اساس اظهار نظر کارشناسان هوا-فضا از دانشگاه صنعتی شریف خطای آن در حدود ۳٪ می باشد.

ابتدا لوله مارپیچ مسی را با مشخصات $L=500 \text{ cm}, D=15 \text{ cm}, d=6 \text{ mm}$ به صورت قائم در محفظه آزمون قرار داده شد. شکل (۳). و بعد سه راهی هایی به دو طرف آن وصل شدند تا سنسورهای اندازه گیری دمای ورود و خروج سیال داخل، درون آن جا سازی شود. بعد از اطمینان خاطر از عایق بودن تمامی اتصالات بیرونی با پشم شیشه برای به حداقل رسیدن تلفات انتقال حرارت سیال مورد آزمایش که در ابتدا آب بود را داخل مخزن ذخیره سیال ریخته شد و گرمکن های مخزن روشن گردیدند تا دمای سیال داخل آن به 70 برسد در ابتدای این کار نیز سرعت هوای تونل باد بر روی 1 m/s تنظیم شد. بعد از آنکه سیال در لوله به مدت 15 تا 20 دقیقه در شرایط ثابت

باقی ماند و اختلاف دمای سیال ورودی و خروجی نیز به مقدار ثابتی رسید، اقدام به ثبت داده ها کردیم و بعد همین مراحل برای سرعت های باد 3 m/s و 5 m/s و 7 m/s و 9 m/s تکرار شدند تا در آنها نیز داده برداری صورت بگیرد. بعداً همین مراحل برای غلظت های 250 ppm ، 500 ppm ، 750 ppm و 1000 ppm هم انجام شد تا داده های آنها هم استخراج شود.



شکل (۲): نمایی کلی از تونل باد

همچنین دبی سیال داخل لوله آزمایش نیز در ابتدای کار، در یک مقدار مشخص تنظیم شد و در تمام مراحل بالا که شامل تغییر نوع غلظت نانو سیال و سرعت باد بود در مقدار 19.55 ml/s ثابت نگه داشته شد و داده ها ثبت شدند. در تمامی مراحل فوق، پس از اتمام هر آزمایش، تونل باد، مدار و نمایشگرها خاموش می شدند تا مقداری خنک شوند. در طول هر آزمایش نیز دمای سطح خارجی لوله آزمایش چندین بار با استفاده از دماسنج لیزری، اندازه گیری می شد تا دمای سطح بدست آید و چون در طی هر آزمایش دمای سطح اندازه گیری شده تقریباً در مقدار مشخصی، ثابت باقی می ماند، محاسبات نیز با فرض دمای ثابت دیواره انجام شد.



شکل (۳): نمایی از لوله ماریچ در تونل باد

۵ تعیین نرخ انتقال حرارت

با استفاده از داده های آزمایش، نرخ انتقال حرارت از فرمول های زیر محاسبه شده است.

$$\dot{q}_f = \dot{m}_f C_{p,f} (T_{in} - T_{out}) = h A_i (T_b - T_w) \quad (1)$$

$$\dot{q}_{nf} = \dot{m}_{nf} C_{p,nf} (T_{in} - T_{out}) = h A_i (T_b - T_w) \quad (2)$$

که در آن \dot{q} نرخ انتقال حرارت، \dot{m} نرخ جرمی جریان عبوری، C_p گرمای ویژه سیال، T_{in} و T_{out} به ترتیب دماهای ورودی و خروجی سیال از مقطع آزمایش، h ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال A_i سطح مقطع داخلی لوله آزمایش و T_b و T_w نیز به ترتیب متوسط دمای بالک ورود و خروج سیال از لوله و دمای دیواره می باشند. اندیس های f و nf نیز به ترتیب بیانگر سیال پایه (آب) و نانو سیال نقره می باشند.

۶- مشخصه های ترموفیزیکی نانو سیال

برای مشخصات آب از جداول خصوصیات آب استفاده شده است. حال آنکه برای محاسبه خواص نانوسیالات، فرمول های زیر بکار گرفته شده اند.

الف) چگالی

$$\rho_{nf} = \varphi \rho_p + (1 + \varphi) \rho_f \quad (3)$$

که در آن ρ نشان دهنده چگالی، φ نشان دهنده درصد حجمی نانو ذرات نقره و اندیس های f ، nf و p به ترتیب نشان دهنده آب، نانو سیال و نانوذره می باشند.

ب) ضریب لزجت

با توجه به آنکه غلظت نانو ذرات پایین است (کمتر از ۲٪ حجمی)، برای محاسبه ویسکوزیته از فرمول انیشتین استفاده شده است.

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5\varphi) \quad (4)$$

ج) گرمای ویژه

فرمول زیر برای محاسبه گرمای ویژه نانو سیالات بکار گرفته شد.

(۵)

$$CP_{nf} = \frac{\varphi(\rho_p C_{p_p}) + (1 - \varphi)(\rho_f C_{p_f})}{\rho_{nf}}$$

د) ضریب هدایت حرارتی

برای محاسبه هدایت حرارتی نانو سیالات نیز از فرمول وسپ استفاده گردیده است که به قرار زیر می باشد.

$$k_{nf} = \frac{k_p + 2k_f - 2\phi(k_f - k_p)}{\frac{k_p}{k_f} + 2 + \phi\left(\frac{k_f - k_p}{k_f}\right)} \quad (6)$$

۶- پارامترهای بی بعد

اعداد بی بعد رینولدز، نوسلت، پراتل و پکلت نیز به قرار زیر استفاده شدند.

$$Re_{nf} = \frac{\rho_{nf} \cdot U \cdot D}{\mu_{nf}} \quad (7)$$

$$Nu_{nf} = \frac{h \cdot D}{k_{nf}} \quad (8)$$

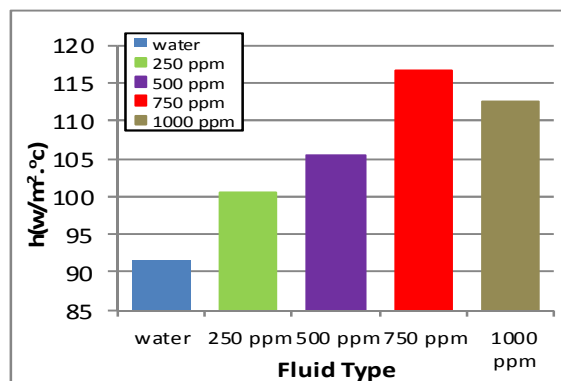
$$Pr_{nf} = \frac{CP_{nf} \cdot \mu_{nf}}{k_{nf}} \quad (9)$$

$$Pe = Re \cdot Pr \quad (10)$$

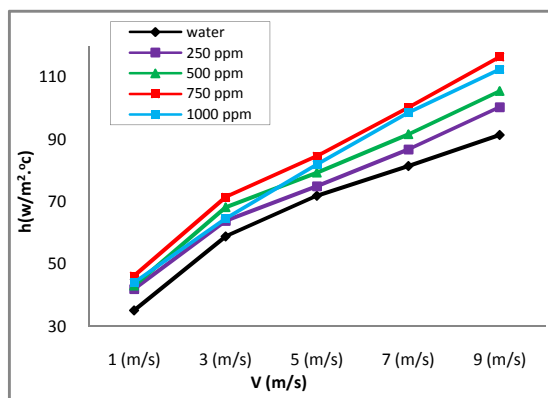
که U نشان دهنده سرعت متوسط سیال در مقطع لوله آزمایش و D قطر داخلی لوله آزمایش می باشد.

۷- بررسی میزان تاثیر نانوذرات مس در انتقال حرارت آب

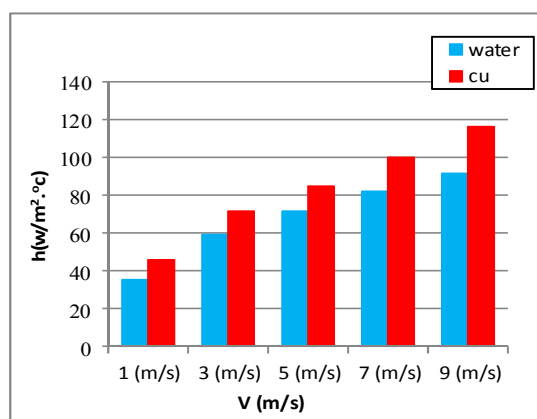
در شکل های (4) تا (8) تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی و نرخ انتقال حرارت نانوسیال مس بر حسب نوع نانوسیال و سرعت های متفاوت در لوله ماریچ نشان داده شده است. با بررسی این نمودارها کاملاً مشخص است که با اضافه کردن نانوذرات فلزی به سیال پایه آب، ضریب انتقال حرارت جابجایی افزایش می یابد که این مقدار با افزایش غلظت نانوسیال، بیشتر می شود و در غلظت ۷۵۰ ppm به حداکثر مقدار خود می رسد ولی با افزایش غلظت از این مقدار به بعد از میزان انتقال حرارت کاسته می شود و خواهیم فهمید که این مقدار غلظت نقطه بهینه در غلظت های موجود است. از این موضوع چنین استنباط می شود که با افزایش غلظت نانوذرات در سیال پایه میزان انتقال حرارت سیر صعودی داشته ولی این موضوع همیشگی نبوده و بعد از یک مقدار مشخص، انتقال حرارت سیر نزولی داشته و کم می شود. که آن به عوامل مختلفی از جمله سایز ذرات، نوع و اندازه ذرات، شکل ذرات، سیال پایه، نرخ و رژیم جریان عبوری و هندسه مساله وابسته است.



شکل (۴): نمودار ستونی h بر حسب نوع سیال استفاده شده در لوله ماریچ برای نانوسیال cu در سرعت ۹ m/s

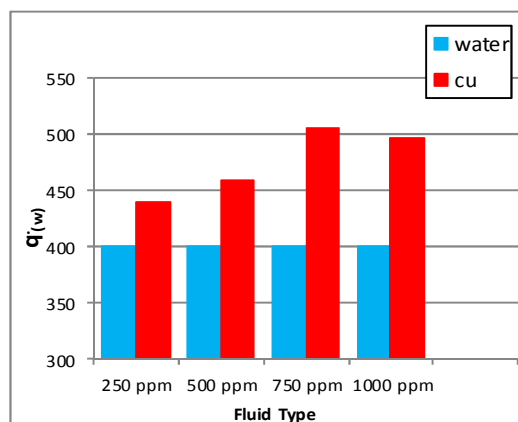


شکل (۵): نمودار h برحسب نوع سیال استفاده شده در سرعت های مختلف برای نانوسیال Cu

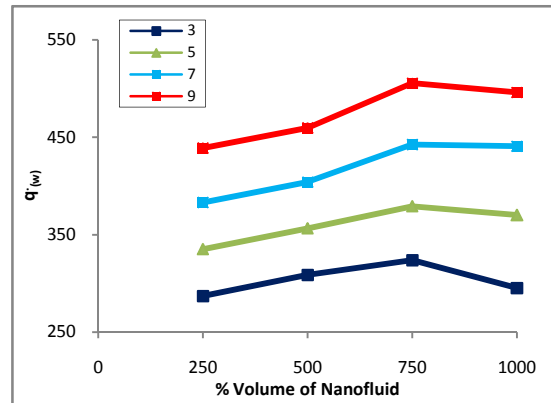


شکل (۶): ضریب انتقال حرارت جابجایی در سرعت های مختلف آب و نانوسیال مس در ۷۵۰ ppm

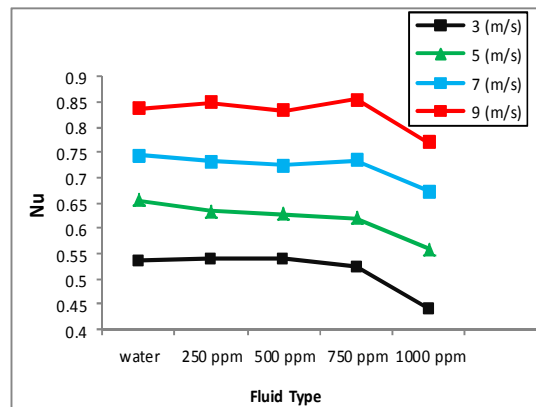
در شکل (۹) نیز تغییرات عددنوسلت در سرعت های مختلف برای آب و غلظت های مختلف از نانوسیال مس نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیداست هرچه سرعت هوا بیشتر باشد مانند ضریب انتقال حرارت، عددنوسلت هم بیشتر است.



شکل (۷): میزان افزایش نرخ انتقال حرارت آب در مقایسه با نانوسیال مس در غلظت های مختلف



شکل (۸): تغییرات نرخ انتقال حرارت نسبت به افزایش غلظت نانوسیال مس و افزایش سرعت هوا



شکل (۹): تغییرات عدد نوسلت با سرعت جریان هوا

۸- نتیجه گیری

در این تحقیق اثر افزودن نانوذره مس به سیال پایه آب، بر روی رفتار حرارتی آن در یک لوله مارپیچ در یک جریان اجباری داخل تونل بادمورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج می توان ملاحظه کرد که افزودن نانوذره به سیال پایه باعث افزایش قابل ملاحظه ضریب انتقال حرارت آن می گردد.

این افزایش انتقال حرارت در تمام غلظت ها محسوس است اما بیشترین مقدار انتقال حرارت در غلظت ۷۵۰ ppm می باشد. یعنی تا این غلظت مقدار انتقال حرارت افزایش می یابد و بعد از این غلظت میزان انتقال حرارت سیر نزولی داشته و نقطه بهینه انتقال حرارت ۷۵۰ ppm است. همچنین هر چه سرعت ورینولدز جریان هوای اجباری در بر خورده لوله مارپیچ بیشتر باشد میزان انتقال حرارت، همچنین عدد نوسلت نیز بیشتر می شود.

۹- مراجع

- [1] J.A. Eastman, S.R. Phillpot, S.U.S. Choi, P. Keblinski, Thermal transport in nanofluids, *Annu, Rev, Mater Res*, 34 (2004) 219–246.

- [2] Y.Xuan,Q.Li, Investigation on convective heat transfer and flow features of nanofluids, *Journal of Heat Transfer* ,125(2003) 151-155.
- [3] D.Wen, Y. Ding, Convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow condition, *International Journal of Heat and Mass Transfer* ,47 (2004) 5181-5188.
- [4] S.Z. Heris, S.G. Etemad, M.S. Esfahany‘ Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 33(2006) 4277-4284.
- [5] Hyung Do, Kyu and Pil jang, Seok,Effect of nanofluids on the thermal performance of a flat micro heat pipe with a rectangular grooved wick,*International Journal of Heat and Mass Transfer* ,53 (2010) 2183– 92
- [6] A.P.Sasmito,J.candrakurnia and sadasniv ,numerical evaluation of laminar heat transfer enhancement in nano fluid flow in coiled squire tubs,*spring eropen journal*,2011, 236-248.
- [7] Yanuar,N.Putra, Gunawan and M.Baqi, flow and convective heat transfer charactenstics of spiral pipe for nanofluids, *Ijrras*, 2011‘236-248