

ISME2014-1621

بررسی تجربی جریان نانوسیال در لوله افقی با کارگذاری نوار پیچه

امیر هوشمند^۱، احمد صداقت^۲، محمدرضا سلیم پور^۳، عیسی محسنی^۴، عابدین زرگوشی^۵

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، A.Houshmand@me.iut.ac.ir

^۲ آستاد یار هوافضا دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، Sedaghat@cc.iut.ac.ir

^۳ دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، Salimpour@cc.iut.ac.ir

^۴ کارشناس ارشد شیمی، شرکت پالایش گاز ایلام، Mohseni961@yahoo.com

^۵ کارشناس ارشد هوافضا، شرکت پالایش گاز ایلام، Abedin_Zargoushi@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش به بررسی انتقال حرارت و افت فشار جریان نانوسیال آب/TiO₂ با کارگذاری نوار پیچه پرداخته شده است. محدوده عدد رینولدز آزمایش‌ها بین ۳۰۰۰ تا ۲۲۰۰۰ بوده و غلظت حجمی نانوسیال مورد استفاده در محدوده صفر تا ۰/۵ درصد قرار دارد. نوار پیچه با سه گام بدون بعد مختلف ۵، ۱۰ و ۱۵ بکار رفته و با جریان در لوله صاف بدون نوار پیچه مقایسه شد. نتایج حاکی از افزایش همزمان انتقال حرارت و افت فشار بوده و در اغلب نقاط آزمایش در محدوده‌های مزبور حاکی از چربش انتقال حرارت به افت فشار می‌باشد.

واژه های کلیدی

نانوسیال - انتقال حرارت - افت فشار - نوار پیچه

مقدمه

افزایش انتقال حرارت و نیز سیالات انتقال‌دهنده حرارت موضوع بسیاری از تحقیقات در دهه‌های اخیر بوده است. سیالات انتقال حرارت شرایط را برای تبادل انرژی در یک سیستم مهیا می‌کنند و اثرات آنها بستگی به ویژگی‌های فیزیکی از قبیل هدایت، لزجت، چگالی و ظرفیت گرمایی دارد. نانوسیال عبارتی است که توسط چوی [۱] به نوع جدیدی از سیال انتقال حرارت که شامل مقدار کمی از نانوذرات فلزی یا غیرفلزی بود، اتلاق شد. اما در خصوص بررسی انتقال حرارت و ضریب اصطکاک با استفاده از نوار پیچه وانگ و ساندن [۲] نشان دادند که ضریب انتقال حرارت در یک لوله افقی با کارگذاری نوار پیچه برای رژیم

جریان آرام و مغشوش به ترتیب ۳۰ و ۳/۵ برابر جریان در لوله صاف است. در ادامه آنها به مقایسه مستقیم سیم پیچ و نوار پیچه پرداختند. یافته آنها حاکی از این است که نوار پیچه در تمام جریان اغتشاش ایجاد می‌کند، در حالی که سیم پیچ تنها در نزدیکی دیواره موجب ایجاد اغتشاش می‌شود. در کاری از شارما و همکاران [۳] به صورت تجربی ضرایب انتقال حرارت و اصطکاک در رژیم گذار برای غلظت حجمی اندک نانوسیال آب - اکسید آلومینیوم در لوله با نوار پیچه، تخمین زده و رابطه‌ای رگرسیونی برای آن ارائه کردند. در همین راستا و در کار تجربی دیگر شارما و ساندار [۴] ضرایب انتقال حرارت و اصطکاک برای جریان مغشوش نانوسیال آب - اکسید آلومینیوم در یک لوله دایروی با قرار دادن نوار پیچه در آن بررسی کردند. آنها دریافتند که ضریب انتقال حرارت و افت فشار نانوسیال مزبور برای گام پیچش ۵ و غلظت حجمی نانوذرات ۰/۵٪ به ترتیب ۳۳/۵۱٪ و ۱/۰۹۶ بار نسبت به آب خالص بزرگتر است.

در نهایت در تحقیقی از سارما و همکاران [۵] اثرات نوار پیچه بر انتقال حرارت و ضریب اصطکاک نانوسیال آب - اکسید آهن مغناطیسی در یک لوله افقی به صورت تجربی مطالعه و بررسی شد. در هر عدد رینولدز خاص و برای کسر حجمی ۰/۶٪ نانوذرات، مقدار ضریب اصطکاک و انتقال حرارت نانوسیال به ترتیب ۱/۲۳۱ و ۵۳/۸٪ برای نسبت پیچش ۵، در مقایسه با آب افزایش می‌یابد.

در کار پیش روی قصد داریم نانوسیالی را مورد استفاده قرار دهیم که از پایداری بالایی برخوردار بوده و تاکنون در این زمینه بررسی نشده است. همچنین شرط مرزی مسئله در این کار دمای ثابت است که در مبدل‌های حرارتی صنایع

D (mm)	۷	۷	۷
H/D (mm)	۱۵	۱۰	۵

از پنج ترموکوپل نوع K با دقت ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در فواصل یکسان برای اندازه‌گیری دمای سطح خارجی لوله و نیز اطمینان از شرایط دمای ثابت دیواره و از دو ترموکوپل برای دماهای حجمی سیال ورودی و خروجی استفاده می‌شود. برای بررسی میزان افت فشار از مانومتر U- استفاده می‌کنیم. برای خنک‌کاری سیال مدار آزمایش از یک مبدل حرارتی جریان متقاطع استفاده شد. برای انجام آزمایش‌ها لازم است ابتدا از صحت عملکرد مدار اطمینان حاصل کرده و پس از آن به بررسی جریان آب در لوله صاف پردازیم. نتایج حاصل برای انتقال حرارت و افت فشار بایستی با نتایج تجربی کارهای دیگر انطباق داشته و در صورت احراز این شرط به بررسی جریان نانوسیال با غلظت‌های مختلف در لوله با کارگذاری نوارهای پیچه مختلف می‌پردازیم.

برای دستیابی به هدف پژوهش لازم است صحت دستگاه ارزیابی شده و جریان آب را در دستگاه بررسی نماییم. خواص ترموفیزیکی لازم در انجام محاسبات را بایستی به یکی از روش‌های تجربی یا تئوری (روابط تجربی در دسترس) بدست آوریم.

در این پژوهش از مدل ماکسول [۶] برای محاسبه هدایت حرارتی سیال (اعم از آب و نانوسیال) استفاده شده و برای محاسبه چگالی و گرمای ویژه نانوسیالات مختلف از روابط ابداعی پاک و جو [۷] بهره گرفته‌ایم. به منظور محاسبه لزجت نانوسیال نیز از رابطه اینشتاین [۸] استفاده شده است. در گام بعدی نیازمند بررسی صحت دستگاه هستیم. برای محاسبه ضریب اصطکاک رابطه زیر را به کار می‌بریم:

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D}\right) \rho \frac{v'}{r}} = \frac{\pi^r \rho \cdot \Delta P \cdot D^5}{\lambda \dot{m}' \cdot L} \quad (1)$$

به منظور بررسی میزان اعتبار نتایج تجربی از رابطه بلازیوس را استفاده می‌کنیم. همچنین با برآورد ضریب انتقال حرارت متوسط به کمک محاسبه اختلاف دمای متوسط لگاریتمی و خواص سیال، عدد ناسلت را بدست می‌آوریم. برای جریان آب در لوله صاف روابط نایر و اسلیچر [۹] و سایدر و تیت [۱۰] را کار برده‌ایم که به ترتیب عبارتند از:

$$Nu = 5 + 0.015 Re^{0.85} Pr^{0.4} \quad (2)$$

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0.14} \quad (3)$$

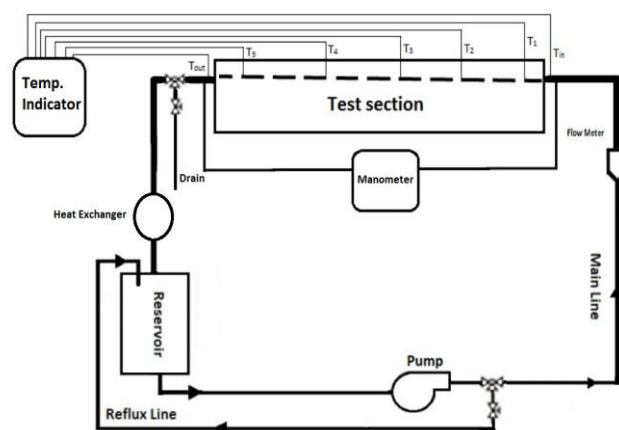
غذایی (برای مثال پاستوریزه سازی شیر) و صنایع نفت، گاز و پتروشیمی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دستگاه آزمایش و نحوه انجام محاسبات

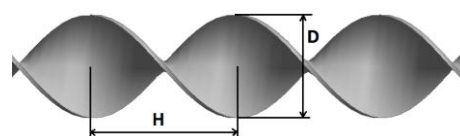
برای بررسی رفتار جریان نانوسیال در لوله با کارگذاری نوار پیچه دستگاهی مطابق شکل ۱ ساخته شد. بخش آزمایش به طول ۰/۹۳۵ متر، لوله مسی با قطر داخلی ۸ میلی‌متر و قطر خارجی ۱۰ میلی‌متر است.

در این لوله، نوارهای پیچه با هندسه‌های متفاوت کارگذاری شد. طرحواره این نوارها را در شکل ۲ مشاهده می‌کنید. همچنین ابعاد هندسی این نوارها در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به طرحواره نسبت گام پیچش به صورت H/D تعریف می‌شود.

نانوپودر با قطر متوسط ذرات ۱۵ nm، رنگ سفید و شکل کروی از شرکت اسپانیایی تکنان^۱ خریداری و استفاده شد. برای پایداری نانوسیال از یک دستگاه همزن فراصوت مدل UP200S ساخت شرکت آلمانی هیلشر^۲ استفاده شد.



شکل ۱: طرحواره دستگاه آزمایش



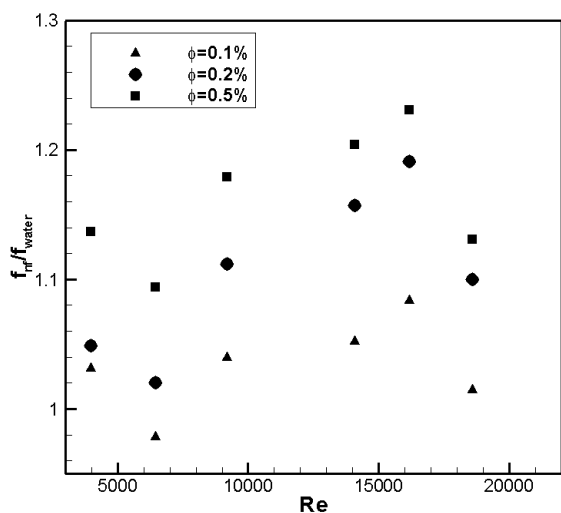
شکل ۲: طرحواره نوار پیچه

جدول ۱: ابعاد هندسی نوارهای پیچه کارگذاری شده طی آزمایش‌ها

H (mm)	۱۰۵	۷۰	۳۵
--------	-----	----	----

نتایج

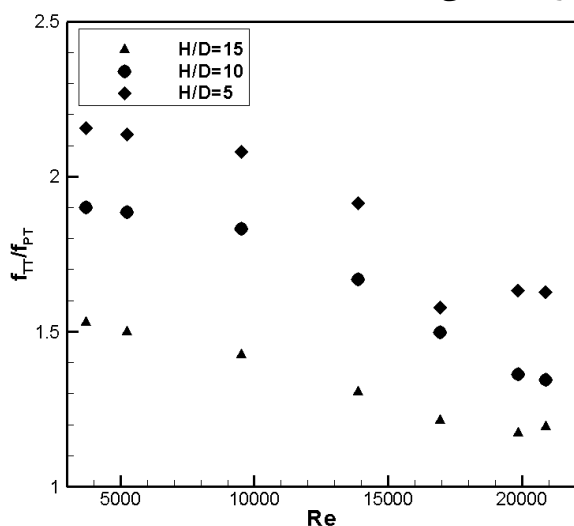
در شکل ۳ اعتبارسنجی نتایج افت فشار جریان آب در لوله صاف را مشاهده می‌کنیم، تطابق بسیار خوبی با رابطه بلازیوس مشاهده می‌گردد.



شکل ۵: نسبت ضریب اصطکاک جریان نانوسیال به آب برای گام پیش ۱۰

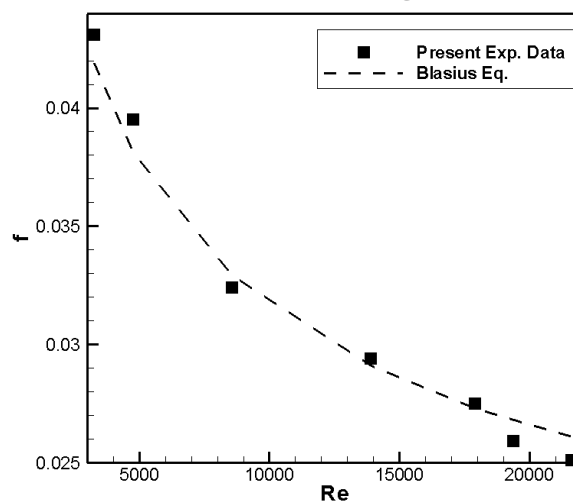
از آنجا که میزان افت فشار جریان در رابطه مستقیم با لزجت سیال می‌باشد، افزودن نانوذرات به سیال پایه منجر به افزایش میزان افت فشار جریان می‌گردد.

در شکل ۶ نسبت ضریب اصطکاک جریان با کارگذاری نوار پیچه به لوله صاف، برای جریان نانوسیال ۰/۲ درصد حجمی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌کنیم این نسبت در تمامی گستره اعداد رینولدز بالاتر از یک بوده و در کمترین عدد رینولدز آزمایش، بیشترین مقدار را به خود می‌گیرد. در عدد رینولدز ۳۶۹۴/۵ بیشترین مقدار این نسبت برابر ۲/۱۵۶ می‌باشد.



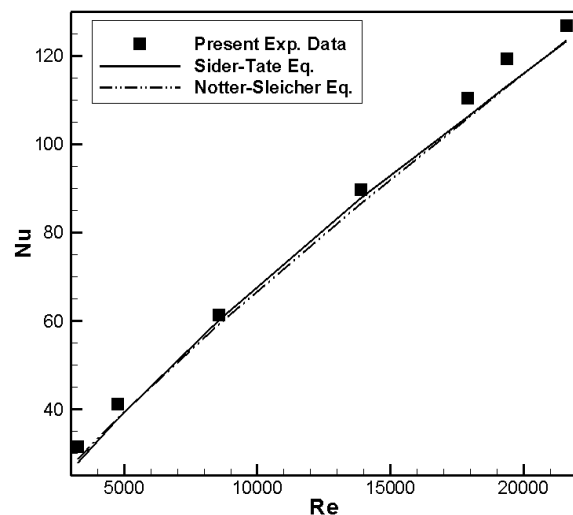
شکل ۶: نسبت ضریب اصطکاک نوار پیچه به لوله صاف برای جریان نانوسیال ۰/۲٪ حجمی

اضافه کردن نانوذرات به سیال پایه موجب تغییر ساختار جریان تک‌فازی به دو‌فازی شده و از طرفی هدایت حرارتی سیال را افزایش می‌دهد. وجود نانوذرات در نزدیکی دیواره لوله تاثیر بیشتری بر نرخ مبادله انرژی داشته و انتقال حرارت



شکل ۳: ضریب اصطکاک آب در لوله صاف

در شکل ۴ نتایج انتقال حرارت جریان آب در لوله صاف را می‌بینیم. علی‌الرغم انفصال بازه انجام آزمایش‌ها با دو رابطه پیش‌گفته (روابط ۲ و ۳) برای محدوده عدد رینولدز، همچنان اعتبار نتایج آزمایشگاهی حتی در خارج محدوده اعتبار این روابط مشاهده می‌شود.



شکل ۴: عدد ناسلت جریان آب در لوله صاف

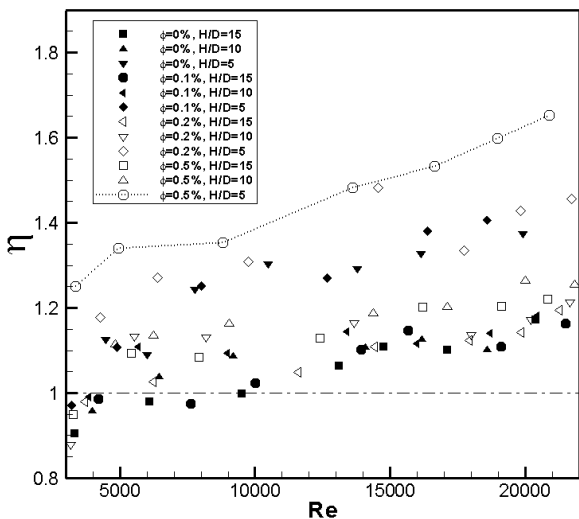
در شکل ۵ به ارائه نسبت ضریب اصطکاک نانوسیال با غلظت‌های مختلف به جریان آب در لوله با گام نوار ۱۰ پرداخته‌ایم. همانطور که مشاهده می‌کنیم، با افزایش غلظت حجمی نانوذرات در نانوسیال این نسبت به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. به طوری که برای نانوسیال ۰/۵ درصد حجمی این نسبت بیشترین مقدار را می‌گیرد و در عدد رینولدز ۱۶۱۸۷ برابر ۱/۲۳۱ می‌باشد.

این نسبت‌ها بزرگتر از یک می‌باشد که این امر نشان می‌دهد که وجود نانوذرات در داخل سیال پایه منجر به افزایش ضریب انتقال حرارت شده است. به عنوان مثال در این نمودار بیشترین نسبت افزایش برای نانوسیال ۰/۵ درصد حجمی نسبت به سیال پایه بوده که برابر ۱/۲۰۷ می‌باشد و در عدد رینولدز ۳۹۶۷/۴ صورت گرفته است.

در پایان و به منظور تعیین بازدهی استفاده همزمان نانوسیال و نوار پیچه در اعداد رینولدز مختلف به بیان ضریب عملکرد به صورت زیر می‌پردازیم:

$$\eta = (Nu_{TT} / Nu_{PT}) / (f_{TT} / f_{PT})^{1/4} \quad (4)$$

این رابطه برای جریان مغشوش ارائه شده است. برای حالت‌های مختلف در محدوده آزمایش‌های انجام شده، ضریب عملکرد بر حسب عدد رینولدز در نمودار شکل ۸ به نمایش درآمده است.

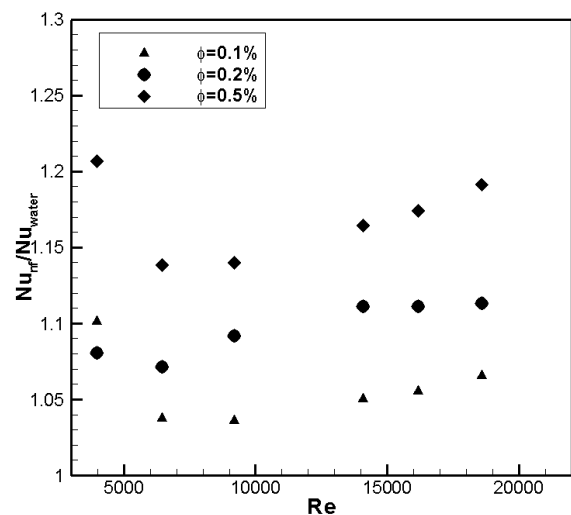


شکل ۸: ارزیابی عملکرد نوار پیچه و نانوسیال

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در بیشترین عدد رینولدز و در کم‌ترین گام پیچش نوار (یعنی گام بدون بعد ۵)، شاهد بیشترین انتقال حرارت برای نانوسیال ۰/۵ درصد حجمی هستیم. مقادیر عدد رینولدز و درصد افزایش انتقال حرارت مزبور نسبت به جریان آب در لوله صاف به ترتیب برابر ۲۰۸۹۳ و ۱۰۰٪ بودند. روند افزایشی که در افزایش عدد ناسلت نانوسیال به سیال پایه درون لوله صاف با افزایش رینولدز مشاهده شده بود، در لوله با نوار پیچه مشاهده نشد. در لوله با نوار شاهد افزایش بیشتری در این پارامتر انتقال حرارتی هستیم. می‌توان این روند را به اختلاط همزمان جریان با نوار پیچه و همچنین حرکت تصادفی نانوذرات توجیه کرد. همچنین افت فشار نیز

بین سیال و دیواره لوله را به شدت افزایش می‌دهد. علاوه بر این، در جریان با دبی‌های بالا، اثرات پراکندگی و حرکات نامنظم و توزیع نانوذرات در سیال تشدید شده، باعث می‌شود شاهد انتقال حرارت بیشتر ذرات و در نتیجه عملکرد بهتر میکروجابجایی در انتقال گرما باشیم. در نتیجه روند مشروح، نیم‌رخ دما تخت‌تر شده و لذا شاهد جریان مغشوش-تر از جریان آب هستیم که انتقال حرارت رابه خوبی بهبود می‌دهد. با عنایت به اینکه در دبی‌های پایین امکان وجود جریان با تجمع نانوذرات وجود دارد، بدیهی است که در اعداد رینولدز پایین افزایش انتقال حرارت کمتری مشاهده می‌شود. در شکل ۷ به بررسی نسبت عدد ناسلت نانوسیال با غلظت‌های گوناگون به مقدار این پارامتر برای آب پرداخته-ایم. این نسبت برای نوار کارگذاری شده با گام بدون بعد ۱۰ بررسی شده است و شکل کلی و کیفی مشابهی با دیگر گام-های نوار پیچه دارد. لازم است که این نسبت برای نانوسیال و آب در اعداد رینولدز واحدی حاصل شود، لذا همانند شکل-نانوسیال‌ها با غلظت‌های حجمی متفاوت و به دست آوردن مقدار عدد ناسلت در اعداد رینولدز مربوط به جریان آب، نسبت مزبور به طور صحیحی و برای عدد رینولدز واحدی به دست می‌آید.



شکل ۷: نسبت عدد ناسلت جریان نانوسیال به آب برای گام پیچش بدون بعد ۱۰

مشاهده می‌کنیم که برای هر نسبت پیچش نوار، نانوسیال پنجم درصد حجمی بیشترین ضریب انتقال حرارت را دارا می‌باشد. همچنین از نتایج کلی آزمایش‌ها این نتیجه حاصل می‌شود که در کم‌ترین گام پیچش بدون بعد، میزان افزایش ضریب انتقال حرارت نانوسیال نسبت به سیال پایه بیشتر است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود،

با انتقال حرارت افزایش می‌یابد، اما میزان افزایش بگونه‌ای است که مناسب بودن کاربری همزمان نوار پیچه و نانوسیال مزبور را به دلیل چربش انتقال حرارت به آن، نوید می‌دهد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از حمایت شرکت پالایش گاز ایلام از پایان‌نامه این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

فهرست علائم

D	قطر لوله، mm
f	ضریب اصطکاک
H	گام پیچش، mm
H/D	گام بدون بعد
L	طول لوله آزمایش، m
\dot{m}	دبی جرمی، kg/s
Nu	عدد ناسلت جریان
Pr	عدد پرناتل
Re	عدد رینولدز
v	سرعت متوسط جریان

علائم یونانی

ρ	چگالی، kg/m^3
ΔP	افت فشار، Pa
μ	لزجت دینامیکی، $Pa.s$

زیرنویس

nf	نانوسیال
PT	لوله صاف بدون نوار پیچه
TT	نوار پیچه
$Water$	آب

مراجع

- [1] S. U. S. Choi, 1995. "Enhancing thermal conductivity of fluid with nanoparticles". *Developments and application of Non-Newtonian flows*, D.A. Siginer and H.P. Wang eds., FED, V. 231/MD, 66, pp. 99-105.
- [2] L. Wang, B. Sunden, 2002. "Performance comparison of some tube inserts", *International Journal of Communication Heat and Mass Transfer*, 29, pp. 45-56.
- [3] K.V. Sharma, L. SyamSundar, P.K. Sarma, 2009. "Estimation of heat transfer coefficient and friction factor in the transition flow with low volume concentration of Al_2O_3 nanofluid flowing in a circular tube and with twisted tape insert", *International Journal of Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, pp. 503-507.
- [4] L. SyamSundar, K.V. Sharma, 2010. "Turbulent heat transfer and friction factor of Al_2O_3 Nanofluid in circular tube with twisted tape inserts", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, pp. 1409-1416.
- [5] L. SyamSundar, N.T. Ravi Kumar, M.T. Naik, K.V. Sharma, 2012. "Effect of full length twisted tape inserts on heat transfer and friction factor enhancement with Fe_3O_4 magnetic nanofluid inside a plain tube: An experimental study", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, pp. 2761-2768.
- [6] Maxwell. J.C., 1881. "A treatise on electricity and magnetism", Clarendon press (Vol. 1).
- [7] Pak B.C., Cho Y.I., 1998. "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles". *International Journal of Experimental Heat Transfer*, 11(2), pp. 151-170.
- [8] Einstein A., 1911. "Berichtigung zu meiner Arbeit: Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen". *Annalen der Physik*, 339(3), pp. 591-592.
- [9] Notter R.H., Sleicher C.A., 1972. "A solution to the turbulent Graetz problem—III Fully developed and entry region heat transfer rates". *Chemical Engineering Science*, 27(11), pp. 2073-2093.
- [10] Sieder E.N., Tate G.E., 1936. "Heat transfer and pressure drop of liquids in tubes". *Industrial & Engineering Chemistry*, 28(12), pp. 1429-1435.