

بهبود انتقال حرارت در لوله مبدل حرارتی با به کارگیری نانوسیال هیبرید شده

نادر نبهانی^۱، فاطمه بهبهانی^{۲*}، سعید برفر^۳

^۱دانشگاه صنعت نفت آبادان

^۲دانشگاه آزاد اسلامی اهواز

^۳دانشگاه آزاد اسلامی اهواز

دریافت: پائیز ۹۸ پذیرش: زمستان ۹۸

چکیده

روش‌های مختلفی برای بهبود انتقال حرارت در لوله‌های مبدل حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از این روش‌ها استفاده از نانوسیال می‌باشد. در این مقاله انتقال حرارت و ضریب اصطکاک در لوله تخت مورد استفاده در مبدل حرارتی در درصد‌های حجمی مختلف برای نانو ذره $AlN - Al_2O_3$ با نرم‌افزار انسیس-فلوئنت شبیه‌سازی شده است. از مخلوط نانوپودر آلومینیوم نیتريد و آلومینیا به عنوان سیال هیبرید شده در آب در شبیه‌سازی استفاده شده است. درصد‌های حجمی مورد استفاده برای نانوسیال هیبرید شده ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد حجمی می‌باشند. سطح مقطع لوله بیضی است و لوله تخت در نظر گرفته شده است. شار حرارتی ثابت به میزان ۷۰۰۰ وات بر متر مربع به دیواره لوله وارد می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که میزان افزایش عدد ناسلت و بهبود انتقال حرارت در درصد حجمی ۳ درصد نانوسیال هیبرید شده بین ۲۲-۴۱ درصد بوده است و مقدار افزایش ضریب اصطکاک بین ۸-۱۴ درصد بوده است.

* عهده‌دار مکاتبات: dr.fatemeh.behbahani@gmail.com

کلمات کلیدی: بهبود انتقال حرارت، مبدل حرارتی، نانوسیال هیبرید شده، لوله بیضی، لوله تخت

^۱ عضو هیئت علمی دانشکده نفت آبادان

^۲ دانشجوی دکتری مکانیک تبدیل انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

^۳ دانشجوی دکتری مکانیک تبدیل انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

۱- مقدمه

سیالاتی مانند آب، روغن و یا اتیلن گلیکول سیالاتی قراردادی هستند که در تجهیزات مربوط به انتقال حرارت سیالات در کاربردهای مختلف صنعتی به کار برده می‌شوند. به منظور حذف تولید حرارت، بسیاری از طراحان و محققان مطالعه بر روی بهبود انتقال حرارت را در دهه‌های اخیر پیشنهاد داده‌اند. گروه جدیدی از سیالات به عنوان نانو سیالات هیبرید شده با رسانش و پایداری قابل توجه شناخته می‌شوند. بسیاری از مطالعات بهبود انتقال حرارت با به کارگیری نانو سیالات مختلف از قبیل Al_2O_3 ، Cu ، CNT ، Fe_2O_3 ، Ag ، CuO ، SiO_2 ، ZnO ، SiC و TiO_2 در داخل لوله استفاده شده‌اند. [1-3]

تاثیر مقطع عرضی لوله بر روی انتقال حرارت و ضریب اصطکاک توسط حسین^۴ و همکاران مطالعه شده است. [4] در این مطالعه مشخص شد که لوله‌های تخت با افزایش قابل توجه در انتقال حرارت و افت فشار نسبت به لوله‌هایی با مقطع دایره‌ای یا بیضی همراه می‌باشند. افزایش انتقال حرارت همرفت اجباری در سیستم سرمایش خودرو توسط حسین و همکاران بررسی شده است. [5] موضوعات جالب اخیر بر روی نانومواد هیبریدی برای یافتن نانوسیالات جدید به منظور دستیابی به بالاترین نرخ انتقال حرارت متمرکز شده‌اند. [6-10]

سورش^۵ و همکاران [11]، دو روش تکنیک مطابق با کاهش هیدروژن از طریق به کارگیری نانوسیالات هیبرید شده $\text{Cu-Al}_2\text{O}_3$ با آب را مورد مطالعه قرار دادند. درصد حجمی نانوسیالات هیبریدی ۰/۱٪ و ۲٪ بودند و با پخش شدن در آب دیونیزه آماده می‌شوند. نتایج نشان داد که ویسکوزیته و ضریب رسانش حرارتی نانوسیالات هیبریدی با افزایش کسر حجمی نانوذرات، افزایش می‌یابد. انتقال حرارت سیال با نانوذرات هیبریدی معلق شده در جریان آب درون مبدل حرارتی به صورت آزمایشگاهی توسط مدش^۶ و همکاران بررسی شد. [12] نانو ذرات تیتانیوم-مس پخش شده در آب با درصد حجمی ۱٪-۰/۱٪ آماده شدند. نتایج مشخص کردند که ضریب انتقال حرارت همرفتی در درصد حجمی ۰/۷٪ به بالا تا ۴۸/۴٪ افزایش می‌یابد.

انتقال حرارت همرفت در جریان آرام و توسعه یافته همراه با افت فشار در یک لوله مسطح حرارتی با به کارگیری نانوذرات هیبریدی مس و آلومینیا در آب توسط سورش مورد بررسی قرار داده شدند. [13] نتایج نشان داد که ضریب انتقال حرارت در عدد رینولدز ۱۷۳۰ در مقایسه با آب خالص به میزان ۱۳/۵۶٪ افزایش می‌یابد. معادلات رگرسیون بین پارامترهای ورودی و خروجی با نتایج آزمایشگاهی مطابقت داشتند. تاثیر روش به کارگیری نانوسیال هیبرید شده آلومینیا بر روی ضریب رسانش

حرارتی و پایداری لوله نانو کربنی توسط عباسی^۷ و همکاران مورد مطالعه قرار گرفت. [14] ضریب رسانش حرارتی نانوسیال هیبرید شده با استفاده از روش سیم گرم گذرای اصلاح شده اندازه گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد که گروهی از توابع بر روی افزایش ضریب رسانش نانوسیال هیبریدی تاثیر می‌گذارد. ضریب رسانش حرارتی با درصد حجمی ۰/۱٪ نانوسیال ۲۰/۶۸٪ بهبود می‌یابد. انتقال حرارت نانوسیال در حضور میدان مغناطیسی تحت شرایط جریان آشفته توسط موسای بیدرچه^۸ و همکاران توسعه داده شده است. [15]

نتایج نشان داد که انتقال حرارت با افزایش درصد حجمی نانوذرات و عدد رینولدز افزایش می‌یابد و به طور معکوس با پارامتر آشفتگی و عدد هارتمن متناسب است.

مدل مخلوط دوفازی انتقال حرارت همرفت نانوسیال هیبریدی توسط لبیب^۹ و همکاران انتخاب شده است. دو نوع مختلف سیال پایه به صورت جداگانه برای یافتن تاثیر سیال پایه بر روی انتقال حرارت سیال مخلوط شده با نانوذرات آلومینیا به کار گرفته شد. آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از EG به عنوان سیال پایه نتایج بهتری در بهبود انتقال حرارت نسبت به آب می‌دهد. مدل محاسباتی نانوسیال CNTs/آب برای اعتبارسنجی مقاله مورد نظر استفاده شد.

سوندر^{۱۰} و همکاران [17]، درباره انتقال حرارت نانوسیال هیبریدی در جریان آشفته درون لوله تخت تحقیق کردند. مواد نانوکامپوزیت $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{MWCNT}$ با سوسپانسیون در آب خالص و مخلوط فریک کلرید و فروس کلرید آمیخته شده‌اند. نتایج بدست آمده نشان داد که انتقال حرارت در شرایط درصد ذره ۰/۳٪ و عدد رینولدز ۲۰۰۰۰ در مقایسه با مایع خالص ۳۲٪ افزایش می‌یابد اما برای جبران افت فشار، توان پمپ می‌بایست ۱/۲ برابر شود. در این مقاله معادلات مرتبط با پارامترهای ورودی و خروجی و مطابق با مشاهدات تجربی پیشنهاد داده شد. بابی و رامارابو^{۱۱} نانوذرات $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{MWNTs}$ و $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{MWNTs}$ با روش کاهش شیمیایی ساده و مخلوط شدن به وسیله آلتراسونیک در سیال پایه را پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد که درصد حجمی ۰/۰۳٪ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{MWNTs}$ با سورفکتانت و $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{MWNTs}$ بدون سورفکتانت به ترتیب بالاترین ضریب رسانش به مقدار ۲۰٪ و ۲۴/۵٪ را دارند.

در این مقاله افت فشار و خصوصیات انتقال حرارت نانوسیال هیبریدی مخلوط شده در آب تحت شرایط جریان آشفته عبوری از یک لوله تخت باریک مطالعه شده است. افت فشار و افزایش انتقال حرارت نانو سیال هیبرید شده در سیال پایه آب با شبیه‌سازی CFD در نرم افزار انسیس

⁷ Abbasi⁸ Mosayebidroch⁹ Labib¹⁰ Sunder¹¹ Baby and Ramaprabhu⁴ Hussein⁵ Suresh⁶ Madhesh

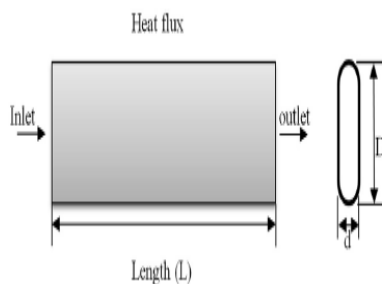
جدول ۲: خواص حرارتی نانوسیال و سیال پایه [۲۰]

درصد هاجمی	$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	$C_p \left(\frac{J}{kg.K} \right)$	$k \left(\frac{W}{m.K} \right)$	$\mu \left(\frac{kg}{m.s} \right)$
۰/۱	۱۱۰۰	۴۱۵۰	۰/۶۵۲	۰/۰۰۸۱
۰/۰۲	۱۱۲۵	۴۱۱۵	۰/۷۶۴	۰/۰۰۸۵
۰/۰۳	۱۱۴۴	۴۰۹۴	۰/۸۱۲	۰/۰۰۹۱
۰/۰۴	۱۱۵۶	۴۰۸۲	۰/۸۹۳	۰/۰۰۹۶

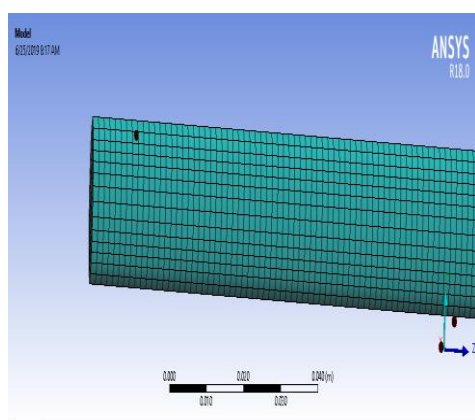
۲. آنالیز CFD

۳-۱: فرآیند شبیه سازی

انتقال حرارت همرفت با شرایط جریان آشفته نانوسیالات هیبریدی شامل نانوکامپوزیت های آلومینا نیتريد (AlN) و آلومینا اکسید (Al₂O₃) با اندازه قطر ۳۰ نانومتر و آب درون لوله ی تخت افقی مستقیم و شار حرارتی ۷۰۰۰ وات بر متر مربع بر روی دیواره لوله تخت بررسی می شود. شکل (a)، شماتیک مدل فیزیکی را نشان می دهد که نمایش دهنده جریان دو بعدی نانوسیال هیبریدی در لوله تخت افقی با طول ۲ متر می باشد.



شکل (a): شماتیک مدل فیزیکی



شکل (b): شبکه بندی مستطیلی در طول لوله مورد نظر

فلوئنت بررسی می شود. هر دو نانو سیال نیتريد آلومینا و اکسید آلومینا به کار برده شده در این پژوهش با درصد حجمی ۱٪-۴٪ مخلوط شده در سیال پایه آب به کار برده شدند.

۲- خصوصیات نانوسیال هیبریدی

هیبرید مخلوط نانوپودرهای نیتريد و اکسید آلومینیوم پخش شده در مایع به عنوان یک سیال تراکم ناپذیر، جریان یک فازی، سیال نیوتنی و ایزوتروپیک در نظر گرفته می شود. خصوصیات حرارتی معادل همانند چگالی، رسانش حرارتی، ظرفیت حرارتی مخصوص و ویسکوزیته نانوسیال هیبریدی با به کارگیری فرمول های [19] زیر بدست می آیند:

$$\rho_{eff} = \left(\frac{\varphi}{100} \right) \rho_p + \left(1 - \frac{\varphi}{100} \right) \rho_f \quad (1)$$

$$\frac{k_{eff}}{k_f} = 1/2035 \left[\left(0/001 + \frac{\varphi}{100} \right)^{0/0098} \left(0/01 + \frac{T_{nf}}{90} \right)^{0/1331} \left(0/001 + \frac{dp}{170} \right)^{-0/0001} \left(0/01 + \frac{\alpha_p}{\alpha_f} \right)^{0/0153} \right] \quad (2)$$

$$C_{eff} = \frac{\left(\frac{\varphi}{100} \right) (\rho C)_p + \left(1 - \frac{\varphi}{100} \right) (\rho C)_f}{\rho_{eff}} \quad (3)$$

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_f} = 0/3659 \times C1 \times \exp \left[\left(1 + \frac{\varphi}{100} \right)^{10/83} \left(\frac{T_{nf}}{90} \right)^{-0/0239} \left(1 + \frac{dp}{170} \right)^{-0/1659} \right] \quad (4)$$

φ در این رابطه درصد حجمی نانوذره، اندیس های eff.p.f به ترتیب نشان دهنده سیال، ذرات نانوکامپوزیت جامد و نانوسیال هیبرید شده هستند که مقادیر آنها در جدول ۱ [19] آمده است. خصوصیات آب و خصوصیات حرارتی نانوپودرهای AlN - Al₂O₃ در جدول ۲ [20] نشان داده شده اند.

جدول ۱: خواص حرارتی نانوسیال هیبریدی محاسبه شده با فرمول های ۱-۴ [۱۹]

خواص	آب	Al ₂ O ₃	AlN
چگالی (کیلوگرم بر متر مکعب)	۹۹۸	۳۸۸۰	۳۲۶۰
گرمای ویژه (ژول بر کیلوگرم درجه کلوین)	۴۱۸۰	۷۷۳	۷۳۵
رسانش حرارتی (وات بر متر درجه کلوین)	۰/۶۰۶۷	۴۰	۱۸۰
ویسکوزیته (کیلوگرم بر متر ثانیه)	۰/۰۰۱۴	-	-

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad (9)$$

$$\eta = \left(\frac{Nu_{nf}}{Nu_f} \right) / \left(\frac{f_{nf}}{f_f} \right)^{1/3} \quad (10)$$

$$E\% = \frac{Nu_{nf} - Nu_f}{Nu_{nf}} \quad (11)$$

۳-۲: شرایط مرزی

درصدهای حجمی آلومینیا اکسید و نیتريد در آب بين ۱-۴ درصد و دمای ورودی به لوله ۲۵ درجه سانتی-گراد در نظر گرفته شده است. برای بررسی نتایج CFD سیال عامل آب، در ورودی از شرط مرزی سرعت ورودی^{۱۴} و در خروجی از شرط مرزی فشار خروجی^{۱۵} استفاده شده است. اعداد رینولدز بين ۵۰۰۰ تا ۱۷۰۰۰ فرض می-شوند. با توجه به عدد رینولدز سرعت در ورودی بين ۰/۳۳ تا ۱/۲ متر بر ثانیه متغیر است. در خروجی از Pressure outlet استفاده شده است. دیواره لوله شارحرارتی ثابت است و مقدار شار حرارتی ۷۰۰۰ وات بر متر مربع در نظر گرفته شده است.

۳-۳: آنالیز CFD

شبیه-سازی توسط نرم-افزار انسیس انجام شده است. برای حل حجم کنترل در نظر گرفته شده از معادلات حاکم بر جریان یک فازی استفاده شده است. داده‌های CFD با روابط دیتوس-بولتر مقایسه شده است. شبیه-سازی برای هندسه مسئله که یک لوله تخت انجام و پس از آن در نرم افزار شبکه بندی شده است. پس از آن با وارد کردن شرایط مرزی با معیارهای مناسب به همگرایی رسیده است. افت فشار و انتقال حرارت درون لوله تخت در تمام دامنه حل محاسبه می-گردد.

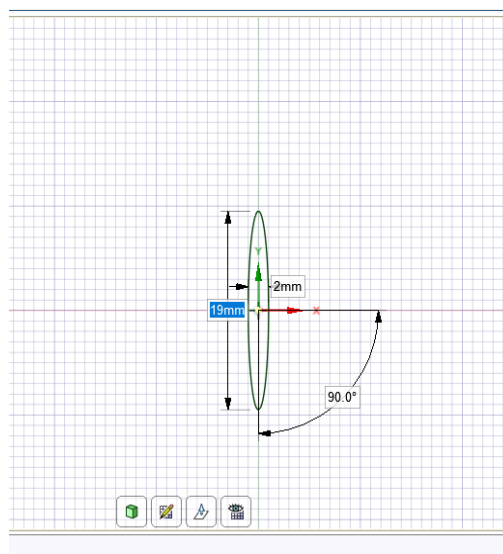
۳-۴: عدد ناسلت

نرخ جریان حرارت برای سیال گرم را با Q_h و برای سیال سرد را با Q_c نشان می-دهند. مقدار متوسط Q_h و Q_c برای تخمین ضرایب کلی انتقال حرارت U_i و U_o استفاده می-شود. برای بدست آوردن ضریب کلی انتقال حرارت از روابط زیر استفاده می-شود [۲۳]:

$$Q_h = \dot{m}_h c_{ph} (T_{h1} - T_{h2}) \quad (12)$$

$$Q_c = \dot{m}_c c_{pc} (T_{c2} - T_{c1}) \quad (13)$$

$$U_i = \frac{Q_{avg}}{A_i \left(\frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \right)} \quad (14)$$



شکل (c): مقطع عرضی هندسه مورد نظر

از سوی دیگر شکل (b) و (c)، به ترتیب سلول‌های مستطیلی شبکه‌بندی روی سطح جانبی لوله و مقطع عرضی لوله را نشان می-دهند. قطر هیدرولیکی لوله تخت ۱۹ میلی-متر و ضخامت آن ۲ میلی-متر است. در این مدل فرض می-شود که جریان پایدار و آشسته است. با در نظر گرفتن این فرضیات معادلات پیوستگی، مومنوم و انرژی [22] به صورت زیر می-باشند:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (6)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (7)$$

در این مقاله برای حل پارامترهای ورودی و رفتار فشار از روش SIMPLE و برای بررسی جریان آشسته از مدل K-epsilon استفاده شده است. همگرایی با دقت کمتر از 10^{-6} در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه-سازی با ناسلت‌ها و ضریب اصطکاک بدست آمده از روابط دیتوس-بولتر^{۱۲} و بلازیوس^{۱۳} مقایسه شده است. ناسلت، ضریب اصطکاک، درصد افزایش انتقال حرارت و راندمان نانوسیال به کار برده شده از طریق روابط [22] زیر بدست می-آیند:

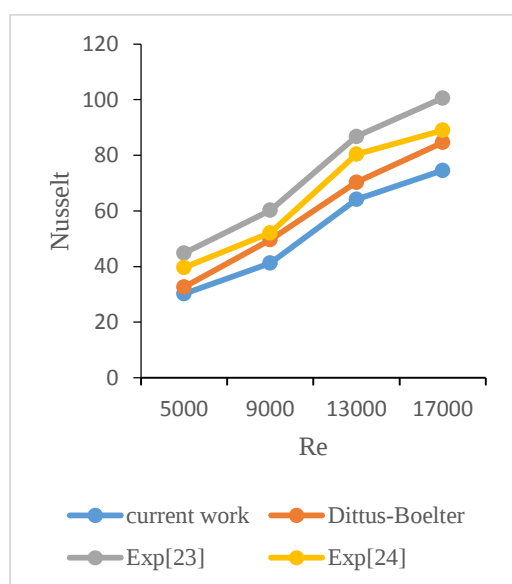
$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4} \quad (8)$$

¹⁴ Velocity inlet

¹⁵ Pressure Outlet

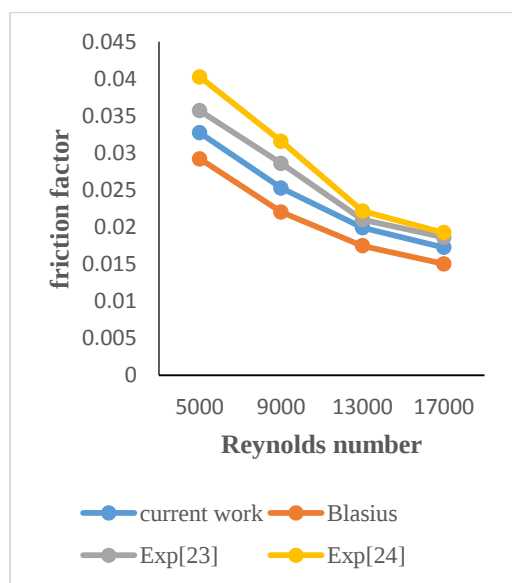
¹² Dittus-Boelter

¹³ Blasius



شکل ۲: مقایسه ناسلت حل نرم‌افزاری با رابطه دیتوس-بولتر و نتایج آزمایشگاهی

شکل ۲ اعتبارسنجی عدد ناسلت با رابطه‌ی دیتوس-بولتر و مراجع [23] و [24] می‌باشد. در رینولدز ۵۰۰۰ حل نرم‌افزاری به رابطه دیتوس بولتر بسیار نزدیک است. در رینولدز ۹۰۰۰ و ۱۷۰۰۰ اختلاف با داده‌های دیتوس-بولتر بیشتر می‌باشد و در رینولدز ۱۳۰۰۰ این اختلاف کاهش یافته است. داده‌های بدست آمده از حل عددی در مقاله کمتر از دیتوس-بولتر است اما در مراجع ذکر شده بیشتر می‌باشد. جریان در لوله بیضوی آشفته است و از روش K-epsilon برای حل استفاده شده است. شار حرارتی دیواره ثابت و به میزان ۷۰۰۰ وات بر متر مربع در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که نتایج حل عددی تقریباً ۹٪ با رابطه دیتوس-بولتر اختلاف دارد.



شکل ۳: مقایسه ضریب اصطکاک نرم‌افزاری با رابطه بلازیوس

$$Q_{avg} = \frac{Q_h + Q_c}{2} \quad (15)$$

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c2} \quad \Delta T_2 = T_{h2} - T_{c1} \quad (16)$$

در این روابط c_{ph} ظرفیت حرارتی سیال گرم، c_{pc} ظرفیت حرارتی سیال سرد بر واحد کیلوژول بر کیلوگرم درجه کلوین، U ضریب کلی انتقال حرارت، اندیس c مربوط به سیال سرد و اندیس h مربوط به سیال گرم می‌باشد. اندیس ۱ مربوط به ورودی و اندیس ۲ مربوط به خروجی است. ضریب کلی انتقال حرارت به فرم دیگری نیز بدست می‌آید [۲۳]:

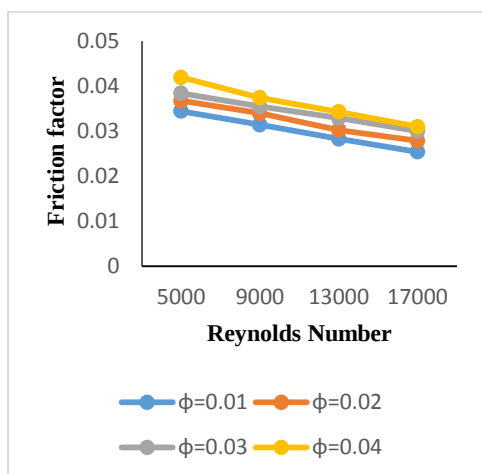
$$\frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{k L 2\pi} + \frac{1}{h_i A_i} \quad (17)$$

A مساحت به واحد متر مربع، D_o قطر خارجی و D_i قطر داخلی به واحد متر، h ضریب انتقال حرارت همرفتی به واحد وات بر متر مربع درجه کلوین، L طول مبدل می‌باشد. برای اعتبار سنجی مقادیر بدست آمده، نتایج شبیه‌سازی با نتایج روابط تجربی دیتوس-بولتر که در قسمت قبل توضیح داده شد، مقایسه می‌شود. برای بدست آوردن ضریب اصطکاک از رابطه زیر استفاده می‌شود [۲۳]:

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{L}{D} \times \frac{\rho V^2}{2}} \quad (18)$$

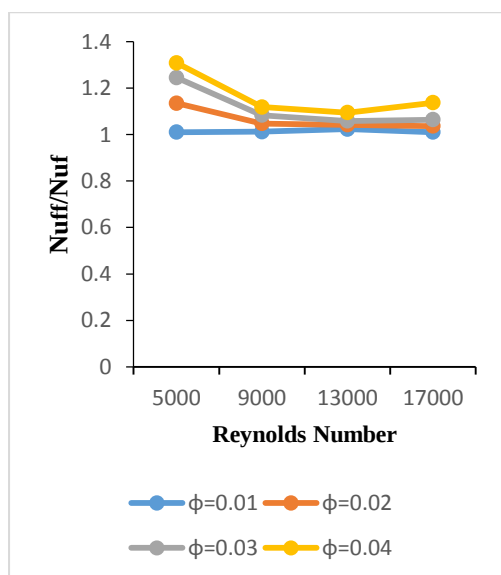
۴. نتایج و بحث‌ها

برای اعتبار سنجی شبیه‌سازی انجام شده، نتایج ناسلت و ضریب اصطکاک نرم‌افزاری با نتایج بدست آمده از رابطه دیتوس-بولتر و بلازیوس مقایسه شده است. همچنین نتایج آزمایشگاهی سوندر و شارما [۲۳] و حجازیان [۲۴] برای مقایسه با داده‌های نرم‌افزاری در این مقاله استفاده شده است. در شکل ۴ و ۵ نمودار عدد ناسلت و ضریب اصطکاک شبیه‌سازی و نتایج حاصل از رابطه دیتوس-بولتر و بلازیوس و نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که نتایج شبیه‌سازی به نتایج حاصل از رابطه نزدیک می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای آب خالص در اعداد رینولدز مختلف بدست آمده است. رنج رینولدز بررسی شده بین ۵۰۰۰-۱۷۰۰۰ می‌باشد. نتایج بدست آمده از نرم‌افزار انسیس-فلونت به صورت نمودار رسم شده است. از نمودارهای بدست آمده مشخص است که نتایج حاصل از حل نرم‌افزاری از دقت مناسبی برخوردار است و نتایج ناسلت با ۹٪ خطا و ضریب اصطکاک با ۱۱٪ خطا می‌باشند.



شکل ۵: ضریب اصطکاک در درصدهای مختلف نانوذره

در شکل ۵ ضریب اصطکاک برای درصدهای مختلف نانوذرات بدست آمده است. با افزایش درصد نانوذره ضریب اصطکاک افزایش یافته است. ضریب اصطکاک در ۱ درصد کمتر از درصد حجمی ۴ درصد است. مقدار ضریب اصطکاک در رینولدز ۵۰۰۰ برای درصد حجمی ۴ درصد به میزان ۲۱٪ افزایش یافته است. مقدار ضریب اصطکاک برای ۴ درصد حجمی نانوذره در رینولدز ۱۷۰۰۰ به میزان ۶۶٪ افزایش داشته است. افزایش ضریب اصطکاک باعث افت فشار در لوله می‌شود.

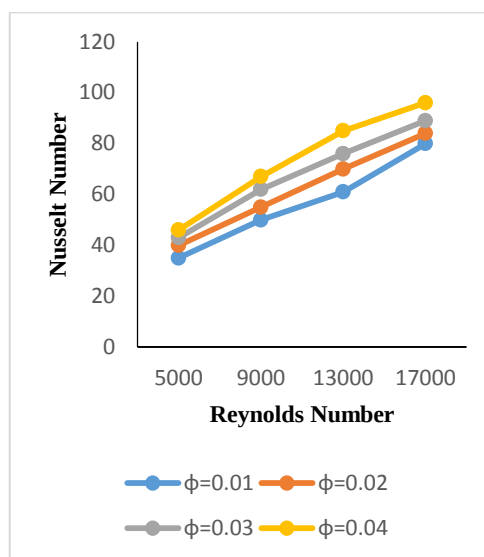


شکل ۶: مقایسه ناسلت نانوذره و آب خالص

شکل ۶ مقایسه بهبود انتقال حرارت در لوله با وارد کردن نانوسیال را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با وارد کردن نانوسیال در جریان درون لوله مقدار انتقال حرارت بهبود یافته است. در درصد حجمی ۴ درصد میزان انتقال حرارت نسبت به دیگر درصدهای حجمی افزایش بیشتری داشته است.

۵. بحث‌ها

شکل ۳ اعتبارسنجی ضریب اصطکاک با رابطه‌ی بلازیوس و مراجع [23] و [24] می‌باشد. در رینولدز ۱۷۰۰۰ حل نرم‌افزاری به رابطه بلازیوس بسیار نزدیک است. در رینولدز ۹۰۰۰ و ۱۳۰۰۰ اختلاف با داده‌های بلازیوس بیشتر می‌باشد و در رینولدز ۵۰۰۰ این اختلاف بیشتر شده است. داده‌های بدست آمده از حل عددی در مقاله بیشتر از بلازیوس است اما در مراجع ذکر شده این مقدار بیشتر می‌باشد. جریان در لوله بیضوی آشفته است و از روش K-epsilon برای حل استفاده شده است. شار حرارتی دیواره ثابت و به میزان ۷۰۰۰ وات بر متر مربع در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که نتایج حل عددی تقریباً ۱۱٪ با رابطه بلازیوس اختلاف دارد.



شکل ۴: عدد ناسلت در درصدهای حجمی مختلف نانوذره

شکل ۴، مقدار عدد ناسلت را در رینولدزهای مختلف برای درصدهای حجمی مختلف نانوذره نشان می‌دهد. رنج درصدهای حجمی ۱-۴ درصد می‌باشد. رنج عدد رینولدز ۵۰۰۰-۱۷۰۰۰ می‌باشد. همان‌طور که در شکل مشخص است کمترین عدد ناسلت در درصد حجمی ۱ درصد و بیشترین عدد ناسلت در درصد حجمی ۴ درصد بدست آمده است. با وارد کردن نانوذره عدد ناسلت و انتقال حرارت بهبود یافته است. مقدار انتقال حرارت در رینولدز ۱۷۰۰۰ برای درصد حجمی ۴ درصد به میزان ۳۹٪ و برای رینولدز ۵۰۰۰ به میزان ۵۲٪ بهبود یافته است.

flowing in a circular tube and with twisted tape insert, Int. Commun. Heat Mass Tran. 36 (2009) 503–507.

[9] A.M. Hussein, K.V. Sharma, R.A. Bakar, K. Kadrigama, Heat transfer augmentation of a car radiator using nanofluids, Heat Mass Tran. (2014),

[10] D. Kim, Y. Kwon, Y. Cho, C. Li, S. Cheong, Y. Hwang, J. Lee, D. Hong, S. Moon, Convective heat transfer characteristics of nanofluids under laminar and turbulent flow conditions, Curr. Appl. Phys. 9 (2009) 119–123.

[11] S. Suresh, K.P. Venkataraj, P. Selvakumar, M. Chandrasekar, Synthesis of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cu/water}$ hybrid nanofluids using two step method and its thermo physical properties, Colloid. Surface. Physicochem. Eng. Aspect. 388 (2011) 41–48.

[12] D. Madhesh, S. Kalaiselvam, Experimental Analysis of Hybrid Nanofluid as a Coolant Procedia Engineering vol. 97, (2014), pp. 1667–1675.

[13] S. Suresh, K.P. Venkataraj, P. Selvakumar, M. Chandrasekar, Effect of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cu/water}$ hybrid nanofluid in heat transfer, Exp. Therm. Fluid Sci. 38 (2012) 54–60.

[14] S.M. Abbasi, A. Rashidi, A. Nemat, K. Arzani, The effect of functionalization method on the stability and the thermal conductivity of nanofluid hybrids of carbon S.A. Kaska et al. Case Studies in Thermal Engineering 13 (2019) 100398 nanotubes/gamma alumina, Ceram. Int. 39 (2013) 3885–3891.

[15] M. Sheikholeslami Mosayebidorcheh, M. Hatami, D.D. Ganji, Analysis of turbulent MHD Couette nanofluid flow and heat transfer using hybrid DTM-FDMS, Particuology 26 (2014) 95–101.

[16] M. Nuim Labib, Md J. Nine, Handry Afrianto, Hanshik Chung, Hyomin Jeong, Numerical investigation on effect of base fluids and hybrid nanofluid in forced convective heat transfer, Int. J. Therm. Sci. 71 (2013) 163–171.

[17] L.S. Sundar, M.K. Singh, A. Sousa, Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT- $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{/water}$ hybrid nanofluids, Int. Commun. Heat Mass Tran. 52 (2014) 73–83.

[18] T.T. Baby, S. Ramaprabhu, Surfactant free magnetic nanofluids based on core-shell type nanoparticle decorated multiwalled carbon nanotubes, J. Appl. Phys. 110 (2011) 064325–064331.

[19] K.V. Sharma, P.K. Sarma, W.H. Azmi, R. Mamat, K. Kadrigama, Correlations to predict friction and forced convection heat transfer coefficients of water based nanofluids for turbulent flow in a tube, IJMNFTFP 3 (2012) 1–25.

[20] ASHRAE, ASHRAE Handbook: Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, 2005.

[21] A.M. Hussein, R.A. Bakar, K. Kadrigama, K.V. Sharma, Simulation study of turbulent convective heat transfer enhancement in heated tube flow using $\text{TiO}_2\text{-water}$ nanofluid, IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 50 (2013) 012035.

[22] R.L. Webb, N.H. Kim, Principles of Enhanced Heat Transfer, second ed., Taylor & Francis Group, New York, NY, 2006.

[23] L.S. Sundar, K.V. Sharma, Turbulent heat transfer and friction factor of Al_2O_3 nanofluid in circular tube with twisted tape inserts, Int. J. Heat Mass Tran. 53 (7e8) (2010) 1409–1416.

[24] M. Hejazian, M.K. Moraveji, A. Beheshti, Comparative study of Euler and mixture models for turbulent flow of Al_2O_3 nanofluid inside a horizontal tube, Int. Commun. Heat Mass Tran. 52 (2014) 152–158.

در این مطالعه، آنالیز CFD برای بررسی تاثیر نانوپودر $\text{AlN - Al}_2\text{O}_3$

بر روی انتقال حرارت و ضریب اصطکاک لوله تخت مورد استفاده قرار گرفته است. برای حل از نرم افزار انسیس فلونت استفاده شده است.

آنالیز CFD با حل تجربی دیتوس- بولتر و بلازیوس اعتبار سنجی شده است. عدد ناسلت، ضریب اصطکاک و در نتیجه افت فشار با افزایش رینولدز و درصد حجمی نانوسیال افزایش می یابد. همان طور که در نتایج مشخص شد ماکزیمم ناسلت در درصد حجمی ۴ درصد نانوسیال بدست آمده است. عدد ناسلت بدست آمده ۵۰ درصد نسبت به ناسلت بدست آمده از آب خالص افزایش یافته است. کمترین مقدار ناسلت در مقدار ۱

درصد محاسبه شده است. مقدار عدد ناسلت و در نتیجه بهبود انتقال حرارت در درصدهای حجمی نانوذرات بین ۳۷–۵۱ درصد افزایش یافته است. ضریب اصطکاک و افت فشار در درصد حجمی ۴ درصد بین ۲۱–۶۶

درصد افزایش داشته است. این افت فشار بسیار بالا می باشد. با توجه به نمودارهای بدست آمده میزان افزایش عدد ناسلت و بهبود انتقال حرارت در درصد حجمی ۳ درصد بین ۲۲–۴۱ درصد افزایش یافته است و مقدار افزایش ضریب اصطکاک بین ۸–۱۴ درصد بوده است. با توجه به نمودارهای بدست آمده درصد حجمی ۳ درصد مناسب ترین حالت شبیه سازی انجام شده می باشد.

مراجع

[1] A.M. Hussein, K.V. Sharma, R.A. Bakar, K. Kadrigama, A review of forced convection heat transfer enhancement and hydrodynamic characteristics of a nanofluid, Renew. Sustain. Energy Rev. 29 (2014) 734–743.

[2] A.M. Hussein, R.A. Bakar, K. Kadrigama, K.V. Sharma, The effect of nanofluid volume concentration on heat transfer and friction factor inside a horizontal tube, J. Nanomater. 1–12 (2013) (article ID 859563, <https://doi.org/10.1155/2013/859563>).

[3] J. Wang, J. Zhu, X. Zhang, Y. Chen, Heat transfer and pressure drop of nanofluids containing carbon nanotubes in laminar flows, Exp. Therm. Fluid Sci. 44 (2013) 716–721.

[4] A.M. Hussein, R.A. Bakar, K. Kadrigama, K.V. Sharma, The effect of cross sectional area of tube on friction factor and heat transfer nanofluid turbulent flow, Int. Commun. Heat Mass Tran. 47 (2013) 49–55.

[5] A.M. Hussein, K.V. Sharma, R.A. Bakar, K. Kadrigama, Study of forced convection nanofluid heat transfer in the automotive cooling system, Case Stud. Therm. Eng. 2 (2014) 50–61.

[6] B.C. Pak, Y.I. Cho, Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, Exp. Heat Transf. 11 (1998) 151–170.

[7] A.M. Hussein, K.V. Sharma, R.A. Bakar, K. Kadrigama, Heat transfer enhancement by using nanofluids in an automotive cooling system, Int. Commun. Heat Mass Tran. 53 (2014) 195–202.

[8] K.V. Sharma, L.S. Sundar, P.K. Sarma, Estimation of heat transfer coefficient and friction factor in the transition flow with low volume concentration of Al_2O_3 nanofluid