بهبود انتقال حرارت در لوله مبدل حرارتی با به‌کارگیری نانوسیال هیبرید شده

نادر نبهانی [۱]، فاطمه بهبهانی [۲*]، سعید برفر [۳]

[۱] دانشگاه صنعت نفت آبادان
[۲] دانشگاه آزاد اسلامی اهواز
[۳] دانشگاه 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 نیترید 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 بین۲۲-۴۱ 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

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.5.1]

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، CNT، Cu، Fe2O3، Ag، CuO، SiO2، ZnO، SiC، TiO2 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 هیبریدشده $Cu\text{-}Al_2O_3$ 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 مدهش[۶] و همکاران بررسی شد. [12] نانو ذرات تیتانیوم-مس پخش شده در آب با درصد حجمی ٪۰/۱-٪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 هیبریدشده 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 درصدحجمی 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 Fe_3O_4/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 Fe_3O_4-SiO_2/MWNTs و Fe_3O_4 /MWNTs با روش کاهش شیمیایی ساده و مخلوط شدن به وسیله‌ی آلتراسونیک در سیال پایه را پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد که درصد حجمی ٪۰/۰۳ Fe_3O_4 /MWNTs با سورفکتانت و Fe_3O_4-SiO_2/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

[4] Hussein
[5] Suresh
[6] Madhesh
[7] Abbasi
[8] Mosayebidrocheh
[9] Labib
[10] Sunder
[11] Baby and Ramaprabhu

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.5.1]

فلوئنت بررسی می‌شود. هر دو نانو سیال نیترید آلومینیا و اکسید آلومینیا 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 نیترید و اکسید آلومینیوم پخش شده در مایع به عنوان یک سیال تراکم‌ناپذیر، جریان یک فازی، سیال نیوتنی و ایزوتروپیک در نظر گرفته می‌شود. خصوصیات حرارتی معادل همانند چگالی، رسانش حرارتی، ظرفیت حرارتی مخصوص و ویسکوزیته نانوسیال هیبریدی با به کارگیری فرمول‌های [19]زیر بدست می‌آیند:

$$\rho_{eff} = \left(\frac{\varphi}{100}\right)\rho_p + \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right)\rho_f \qquad (۱)$$

$$\frac{k_{eff}}{k_f} = 1/2035\left[\left(0/001 + \frac{\varphi}{100}\right)^{0/0098}\left(0/01 + \frac{T_{nf}}{90}\right)^{0/1331}\left(0/001 + \frac{dp}{170}\right)^{-0/0001}\left(0/01 + \frac{\alpha_p}{\alpha_f}\right)^{0/0153}\right] \qquad (۲)$$

$$C_{eff} = \frac{\left(\frac{\varphi}{100}\right)(\rho C)_p + \left(1-\frac{\varphi}{100}\right)(\rho C)_f}{\rho_{eff}} \qquad (۳)$$

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_f} = 0/3659 \times C1 \times exp\left[\left(1 + \frac{\varphi}{100}\right)^{10/83}\left(\frac{T_{nf}}{90}\right)^{-0/0239}\left(1 + \frac{dp}{170}\right)^{-0/1659}\right] \qquad (۴)$$

φ در این رابطه درصد حجمی نانوذره، اندیس‌های 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 - Al_2O_3 در جدول ۲ [20]نشان داده شده‌اند.

جدول۱: خواص حرارتی نانوسیال هیبریدی محاسبه شده با فرمول‌های ۱-۴[۱۹]

خواص	آب	Al_2O_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**	-	-

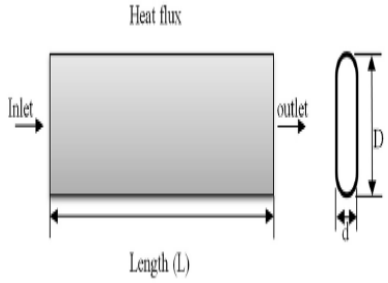
جدول۲: خواص حرارتی نانوسیال و سیال پایه[۲۰]

درصدهاحجمی	$\rho(\frac{kg}{m^3})$	$C_p(\frac{J}{kg.K})$	$k(\frac{W}{m.K})$	$\mu(\frac{kg}{m.s})$
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

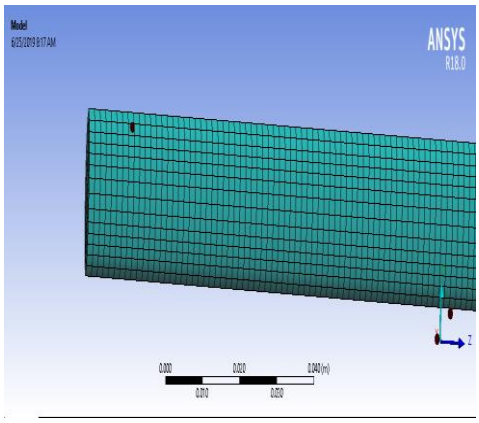
۳.آنالیز CFD

۳-۱: فرآیند شبیه‌سازی

انتقال حرارت همرفت با شرایط جریان آشفته نانوسیالات هیبریدی شامل نانوکامپوزیت‌های آلومینیا نیترید (AlN) و آلومینیا اکسید(Al_2O_3) با اندازه قطر ۳۰ نانومتر و آب درون لوله‌ی تخت افقی مستقیم و شار حرارتی ۷۰۰۰ وات بر متر مربع بر روی دیواره لوله تخت بررسی می‌شود. شکل۱(a)، شماتیک مدل فیزیکی را نشان می‌دهد که نمایش دهنده جریان دو بعدی نانوسیال هیبریدی در لوله تخت افقی با طول ۲ متر می-باشد.



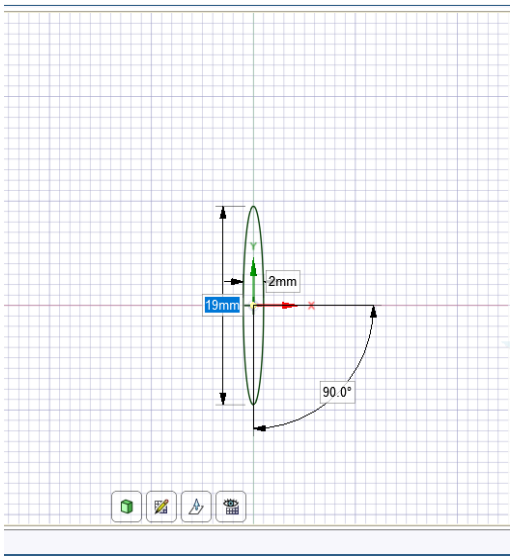
شکل۱(a): شماتیک مدل فیزیکی



شکل۱(b): شبکه‌بندی مستطیلی در طول لوله مورد نظر

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.5.1]



شکل۱(c): مقطع عرضی هندسه مورد نظر

از سوی دیگر شکل۱(b) و ۱(c)، به ترتیب سلول‌های مستطیلی شبکه‌بندی روی سطح جانبی لوله و مقطع عرضی لوله را نشان می‌دهند. قطر هیدرولیکی لوله تخت ۱۹ میلی‌متر و ضخامت آن ۲ میلی‌متر است. در این مدل فرض می‌شود که جریان پایدار و آشفته است. با در نظر گرفتن این فرضیات معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی [22] به صورت زیر می‌باشند:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \qquad (۵)$$

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+\vartheta\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \qquad (۶)$$

$$u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}=\alpha\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \qquad (۷)$$

در این مقاله برای حل پارامترهای ورودی و رفتار فشار از روش SIMPLE و برای بررسی جریان آشفته از مدل K-epsilon استفاده شده است. همگرایی با دقت کمتر از 10^{-6} در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی با ناسلت‌ها و ضریب اصطکاک بدست آمده از روابط دیتوس-بولتر[12] و بلازیوس[13] مقایسه شده است. ناسلت، ضریب اصطکاک، درصد افزایش انتقال حرارت و راندمان نانوسیال به کار برده شده از طریق روابط [22] زیر بدست می‌آیند:

$$Nu=0/023\times Re^{0/8}\times Pr^{0/4} \qquad (۸)$$

$$f=\frac{0/316}{Re^{0/25}} \qquad (۹)$$

$$\eta=\left(\frac{Nu_{nf}}{Nu_f}\right)/\left(\frac{f_{nf}}{f_f}\right)^{1/3} \qquad (۱۰)$$

$$E\%=\frac{Nu_{nf}-Nu_f}{Nu_{nf}} \qquad (۱۱)$$

۲-۳: شرایط مرزی

درصدهای حجمی آلومینیا اکسید و نیترید در آب بین ۱-۴ درصد و دمای ورودی به لوله ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. برای بررسی نتایج CFD سیال عامل آب، در ورودی از شرط مرزی سرعت ورودی[14] و در خروجی از شرط مرزی فشار خروجی[15] استفاده شده است. اعداد رینولدز بین ۵۰۰۰ تا ۱۷۰۰۰ فرض می‌شوند. با توجه به عدد رینولدز سرعت در ورودی بین 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

شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار 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. شبیه‌سازی 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 می‌گردد.

۴-۳: عدد ناسلت

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

$$Q_h=\dot{m}_h c_{ph}(T_{h1}-T_{h2}) \qquad (۱۲)$$

$$Q_C=\dot{m}_C c_{pc}(T_{c2}-T_{c1}) \qquad (۱۳)$$

$$U_i=\frac{Q_{avg}}{A_i\left(\frac{\Delta T_1-\Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}\right)} \qquad (۱۴)$$

[12] Dittus-Boelter
[13] Blasius

[14] Velocity inlet
[15] Pressure Outlet

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.5.1]

$$Q_{avg} = \frac{Q_h + Q_c}{2} \qquad (۱۵)$$

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c2} \qquad \Delta T_2 = T_{h2} - T_{c1} \qquad (۱۶)$$

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]:

$$\frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{h_0 A_0} + \frac{ln(\frac{D_0}{D_i})}{kL2\pi} + \frac{1}{h_i A_i} \qquad (۱۷)$$

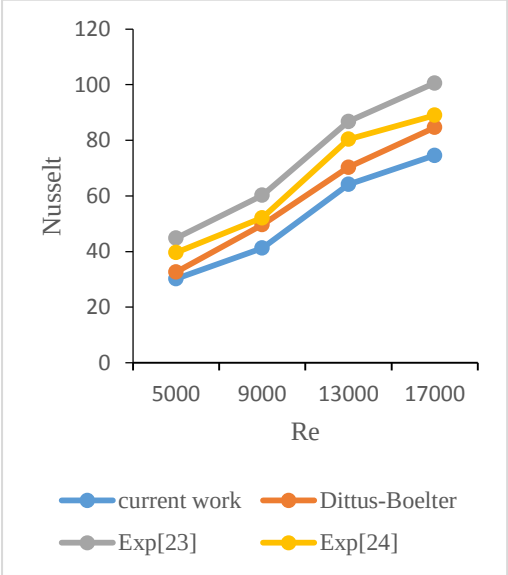
A مساحت به واحد متر مربع، D_0 قطر خارجی و D_i قطر داخلی به واحد متر، h ضریب انتقال حرارت همرفتی به واحد وات بر متر مربع درجه کلوین، L طول مبدل می‌باشد. برای اعتبار سنجی مقادیر بدست آمده، نتایج شبیه‌سازی با نتایج روابط تجربی دیتوس-بولتر که در قسمت قبل توضیح داده شد، مقایسه می‌شود.

برای بدست آوردن ضریب اصطکاک از رابطه زیر استفاده می‌شود [۲۳]:

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{L}{D} \times \frac{\rho V^2}{2}} \qquad (۱۸)$$

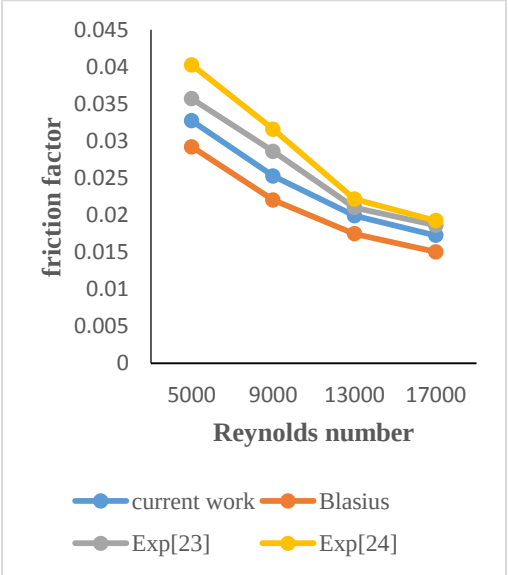
۴.نتایج و بحث‌ها

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 شکل4 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 شبیه-سازی 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_فلوئنت 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.



شکل۲: 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 تقریبا ٪۹ با رابطه دیتوس-بولتر اختلاف دارد.

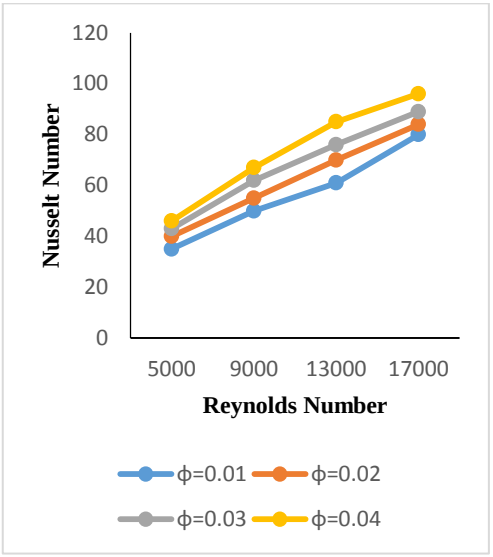


شکل۳: مقایسه ضریب اصطکاک نرم‌افزاری با رابطه بلازیوس

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]

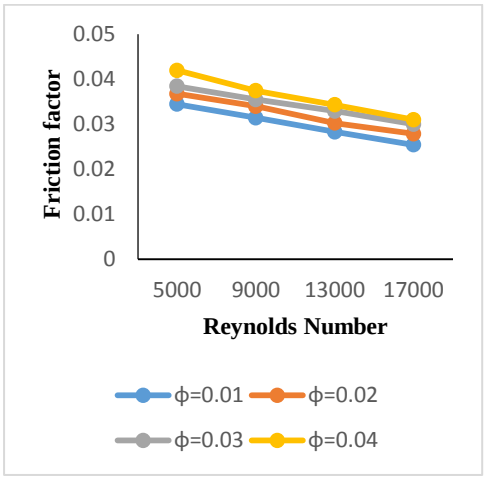
[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.5.1]

شکل۳ 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 تقریبا ٪۱۱ با رابطه بلازیوس اختلاف دارد.



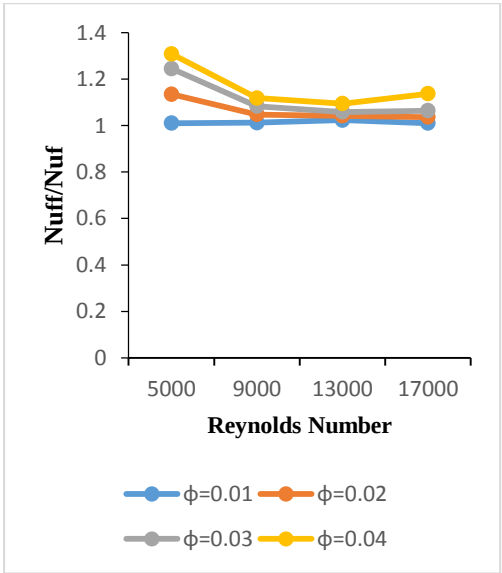
شکل۴: عدد ناسلت در درصدهای حجمی مختلف نانوذره

شکل۴، 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 نانو ذره عدد ناسلت و انتقال حرارت بهبود یافته است. مقدار انتقال حرارت در رینولدز ۱۷۰۰۰ برای در صد حجمی ۴ درصد به میزان ٪۳۹ و برای رینولدز ۵۰۰۰ به میزان ٪۵۲ بهبود یافته است.



شکل۵: 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 ۱درصد 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.



شکل۶: 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 ۴درصد میزان انتقال حرارت نسبت به دیگر درصدهای حجمی افزایش بیشتری داشته است.

۵. بحث‌ها

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.5.1]

در این مطالعه، آنالیز CFD برای بررسی تاثیر نانوپودر $AlN - Al_2O_3$ بر روی انتقال حرارت و ضریب اصطکاک لوله تخت مورد استفاده قرار گرفته است. برای حل از نرم افزار انسیس فلوئنت 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 می‌یابد. 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 می‌باشد. با توجه به نمودارهای بدست آمده میزان افزایش عدد ناسلت و بهبود انتقال حرارت در درصد حجمی ۳ درصد بین۲۲-۴۱ درصد افزایش یافته است و مقدار افزایش ضریب اصطکاک بین ۸-۱۴ درصد بوده است. با توجه به نمودارهای بدست آمده درصدحجمی ۳ درصد مناسب‌ترین حالت شبیه-سازی انجام شده می‌باشد.

مراجع

[1] A.M. Hussein, K.V. Sharma, R.A. Bakar, K. Kadirgama, Areview 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. Kadirgama, 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. Kadirgama, 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. Kadirgama, 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. Kadirgama, 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 Al2O3 nanofluid 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. Kadirgama, 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. Venkitaraj, P. Selvakumar, M. Chandrasekar, Synthesis of Al2O3–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. Venkitaraj, P. Selvakumar, M. Chandrasekar, Effect of Al2O3–Cu/water hybrid nanofluid in heat transfer, Exp. Therm. Fluid Sci. 38 (2012) 54–60.

[14] S.M. Abbasi, A. Rashidi, A. Nemati, 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 transferusing 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–Fe3O4/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. Kadirgama, Correlations to predict friction and forced convection heat transfer coefficients of water based nanofluids for turbulent flow in a tube, IJMNTFTP 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. Kadirgama, K.V. Sharma, Simulation study of turbulent convective heat transfer enhancement in heated tube flow using TiO2-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 Al2O3 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 Al2O3 nanofluid inside a horizontal tube, Int. Commun. Heat Mass Tran. 52 (2014) 152–158.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.4.5.1]