

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛
شبکه های توجه گرافی
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی

مطالعه عددی جریان و انتقال حرارت نانوسیال در فضای بین کانال مربعی و لوله توپر واقع در مرکز آن

محمد کلته^۱، سعید مهرزاد^۲

^۱ گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

^۲ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی شهر مجلسی

mkalteh@guilan.ac.ir

چکیده

۳/۵ cm

در مقاله حاضر، شبیه سازی عددی جریان و انتقال حرارت آرام نانوسیال در فضای بین کانال مربعی و لوله توپر واقع در مرکز آن انجام شده است. جهت انجام شبیه سازی عددی از نرم افزار فلونت و برای مدلسازی خواص ترموفیزیکی نانوسیال از کد کامپیوتری توسعه داده شده توسط کاربر (UDF) استفاده گردیده است. نتایج شبیه سازی عددی مطابقت خوبی را با نتایج عددی موجود برای آب خالص نشان می دهند. همچنین نتایج نشان می دهند که با افزایش غلظت حجمی نانوذرات و نیز با کاهش قطر نانوذرات، انتقال حرارت جابجایی بهبود می یابد. از طرف دیگر، کسر حجمی و قطر نانوذرات بزرگتر به افزایش ضریب اصطکاک می انجامند.

واژه‌های کلیدی: نانوسیال، انتقال حرارت، کانال غیر دایروی، افت فشار

۱- استادیار

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد

۱- مقدمه

جریان و انتقال حرارت سیال در کانالهای غیر دایروی کاربرد فراوانی در صنایع مبدلهای حرارتی فشرده دارد. از این رو مطالعات فراوانی در خصوص انتقال حرارت سیال در کانالهای غیر دایروی وجود دارد که گردآوری بسیار خوب آن را می توان در شاه و لاندن^۱ [۱] یافت. اخیرا نیز وانگ^۲ [۲] با استفاده از حل تقریبی، مساله انتقال حرارت در کانالهای چندوجهی با لوله توپر واقع در مرکز آن را بررسی کرده است. از طرف دیگر، در دو دهه گذشته استفاده از نانوسیالات به عنوان سیال مناسب جهت افزایش انتقال حرارت مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. در نانوسیالات از تعلیق ذرات نانومتری در سیالات پایه مانند آب و اتیلن گلیکول جهت افزایش ضریب هدایت حرارتی و در نتیجه بهبود میزان انتقال حرارت استفاده می گردد. بر این اساس، برخی مطالعات به بررسی اثر استفاده از نانوسیالات در میزان انتقال حرارت در کانالهای مختلف پرداخته اند. حیدری و کرمانی [۳] انتقال حرارت جابجایی اجباری را در یک کانال مستطیلی با دیواره های سینوسی شکل مورد بررسی قرار دادند و مشاهده نمودند که ضریب انتقال حرارت به اندازه ۵۰٪ افزایش می یابد. کومار^۳ [۴] مطالعه ای عددی بر روی انتقال حرارت در جریان نانوسیال آب - اکسید آلومینیوم عبوری از داخل یک لوله انجام داد و نتیجه گیری نمود که با افزودن ذرات نانو به سیال پایه ضریب انتقال حرارت افزایش می یابد. مانکا^۴ و همکاران [۵] انتقال حرارت ترکیبی در جریان آرام نانوسیال آب - آلومینا در کانال مثلثی را به صورت عددی مطالعه کردند. بررسی آنها بین اعداد رینولدز ۳۵۰-۹۰۰ و کسر حجمی ذرات ۰ تا ۴ درصد انجام شد. نتایج آنها نشان داد که با بالا رفتن عدد ریچاردسون و تجمع ذرات، میانگین ضریب انتقال حرارت و عدد ناسلت افزایش می یابد و وجود نانوذرات باعث افزایش ۲۰ درصدی انتقال حرارت می گردد. در یک مطالعه دیگر، مانکا و همکاران [۶] به بررسی عددی انتقال حرارت اجباری نانوسیال در یک کانال مستطیلی پرداخته اند. در این بررسی، کانال مورد نظر دوبعدی و دما ثابت فرض شده و اندازه نانوذرات برابر ۳۸ نانومتر و غلظت بین ۰ تا ۴ درصد و رژیم جریان آشفتگی می باشد. نتایج حاصله نشان می دهد که ضریب انتقال حرارت نسبت به سیال پایه افزایش یافته است. صفری پور و همکاران [۷] انتقال حرارت اجباری جریان آرام نانوسیال را در حالت دوبعدی مورد بررسی عددی قرار دادند. آنها سیال پایه را آب در نظر گرفتند و عدد ناسلت و اصطکاک دیواره ها را بدست آوردند. آنها در مقایسه نتایج عددی و تجربی مطابقت خوبی را به دست آوردند و مشخص گردید که عدد ناسلت افزایش می یابد. زینالی هریس و همکاران [۸] انتقال حرارت اجباری نانوسیال با جریان آرام در کانال مثلثی را تحت شرایط دمای ثابت دیواره مورد بررسی عددی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که شدت انتقال حرارت به تغییر نانوذرات در کانال مثلثی بستگی دارد. همچنین نتایج مدل آنها نشان داد که عدد ناسلت با افزایش تجمع نانوذرات و کاهش قطر افزایش می یابد. در یک مطالعه دیگر، زینالی هریس و همکاران [۹] انتقال حرارت نانوسیال آب-مس را در کانال مثلثی مطالعه کردند و پارامترهایی نظیر قطر نانوذرات، غلظت نانوذرات و نوع نانوذرات را بین دو سیال آب و نانوسیال مورد تحقیق در نظر گرفتند. نتایج آنها نشان داد که افزایش انتقال حرارت در مجرای مثلث با اضلاع مساوی بسیار بیشتر از مثلث متساوی الاضلاع است. مطالعات فوق برای شبیه سازی نانوسیال از روش تک فاز استفاده کرده اند. مقالات محدودی نیز وجود دارند که در آنها روش دوفاز برای شبیه سازی نانوسیال بکار رفته است (مانند کلت [۱۰]، کلت و همکاران [۱۱] و فانی و همکاران [۱۲]).

مرور مطالعات فوق نشان می دهد که مطالعات محدودی در زمینه انتقال حرارت نانوسیالات در کانالهای غیر دایروی وجود دارد و با توجه به کاربرد آنها در مبدلهای حرارتی فشرده، توجه به آنها حائز اهمیت است. بر این اساس، در این مقاله به بررسی عددی جریان و انتقال حرارت نانوسیال در فضای بین کانال مربعی و لوله توپر واقع در مرکز آن پرداخته می شود. بدین منظور از روش عددی حجم محدود برای حل معادلات حاکم استفاده شده و در نهایت اثر پارامترهای مختلف مانند عدد رینولدز، غلظت حجمی و قطر نانوذرات بر میزان انتقال حرارت مورد بررسی قرار می گیرد.

¹ -Shah and London

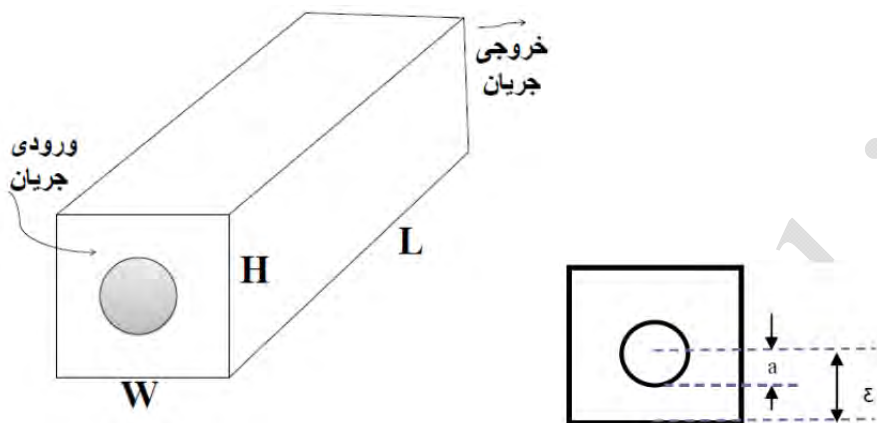
² -Wang

³ -Kumar

⁴ -Manca

۲- هندسه و معادلات حاکم

هندسه مورد نظر در این مقاله از یک کانال مربعی و لوله توپر واقع در مرکز آن تشکیل شده است (شکل (۱)). در این کانال نانوسیال آب-آلومینا در فضای بین کانال مربعی و لوله توپر جریان یافته و شار حرارتی ثابتی را که در دیواره کانال مربعی وارد می شود، جذب می کند. در این بررسی، دیواره لوله توپر مرکزی عایق در نظر گرفته شده است.



شکل (۱) - شمایی از هندسه کانال مورد بررسی در این مقاله.

معادلات حاکم بر مسئله شامل معادلات پیوستگی، ممنتوم و انرژی برای جریان آرام و جا به جایی اجباری در یک کانال مربعی و لوله توپر واقع در مرکز به صورت سه بعدی را می توان به صورت زیر نوشت:

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

معادله ممنتوم در جهت X:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_{nf} \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (2)$$

معادله ممنتوم در جهت Y:

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_{nf} \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \quad (3)$$

معادله ممنتوم در جهت Z:

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu_{nf} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \quad (4)$$

معادله انرژی:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = k_{nf} \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (5)$$

چگالی موثر نانوسیال به صورت زیر محاسبه می گردد که در آن ϕ نسبت حجمی نانوذرات در سیال پایه است:

$$\rho_{nf} = (1 - \phi_p) \rho_l + \phi_p \rho_p \quad (6)$$

ضریب نفوذ حرارتی نانوسیال از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\alpha_{nf} = \frac{k_{nf}}{(\rho C_p)_{nf}} \quad (7)$$

برای محاسبه لزجت دینامیکی نانوسیال از رابطه ی معصومی استفاده شده است [۱۳]:

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} + \frac{V_B \rho_p d_p^2}{72C\delta} \quad (۸)$$

در رابطه بالا برای یافتن مقدار C از روابط زیر بهره گرفته شده است [۱۳]:

$$\begin{aligned} N &= a\phi + b \\ a &= C_1 d_p + C_2 \\ b &= C_3 d_p + C_4 \end{aligned} \quad (۹)$$

که در روابط ذکر شده مقادیر ثابت عبارتند از [۱۳]:

$$\begin{aligned} C_1 &= -0.000001133 \\ C_2 &= -0.000002771 \\ C_3 &= 0.00000009 \\ C_4 &= -0.000000393 \end{aligned} \quad (۱۰)$$

مقدار C با توجه به ثابت های بالا و مقادیر a و b به صورت زیر بیان می شود [۱۳]:

$$C = \frac{[(C_1 d_p + C_2)\phi + (C_3 d_p + C_4)]}{\mu_{bf}} \quad (۱۱)$$

همچنین در رابطه مربوط به ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال، مقدار δ ، فاصله بین نانوذرات، توسط رابطه زیر بیان می شود [۱۳]:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6\phi}} d_p \quad (۱۲)$$

در رابطه (۸) یک سرعت براونی نیز وجود دارد که توسط رابطه زیر بدست می آید [۱۳]:

$$V_B = \sqrt{\frac{18K_b T}{\pi \rho_p d_p}} \quad (۱۳)$$

که در رابطه بالا k_B (ثابت بولتزمن) برابر است با $1.36 * 10^{-26}$ J/K.

رسانش حرارتی نانوسیال از رابطه پاتل [۱۴] که در آن سرعت براونی و قطر نانوذرات دخیل است، محاسبه می گردد:

$$k_{nf} = \left[\left(\frac{k_p}{k_l} \left(1 + C \frac{U_p d_p}{\alpha_l} \right) \frac{d_l}{\alpha_p} \frac{\phi_p}{1 - \phi_p} k_l \right) + k_l \right] \quad (۱۴)$$

که در آن k_p رسانش حرارتی نانوذرات و k_l رسانش حرارتی سیال خالص است، همچنین C برابر است با ثابت ۲۵۰۰۰ و سرعت براونی نانوذرات نیز این چنین محاسبه می گردد [۱۲]:

$$U_p = \frac{2Tk_b}{\pi \mu_l d_p^2} \quad (۱۵)$$

برای یافتن دمای بالک سیال رابطه زیر به کار گرفته شده است:

$$T_b = \frac{(q \times P)}{(\dot{m} C_p)} + T_w \quad (۱۶)$$

T_w دمای دیوار می باشد که بر حسب X در هر مقطع بدست می آید، X فاصله از مقطع ورودی کانال و P محیط سطح مقطع می باشد.

محاسبه ضریب جابجایی، عدد ناسلت، ضریب اصطکاک و عدد رینولدز نیز از طریق روابط زیر انجام می شوند:

$$h = \frac{q''}{T_w - T_b} \quad (۱۷)$$

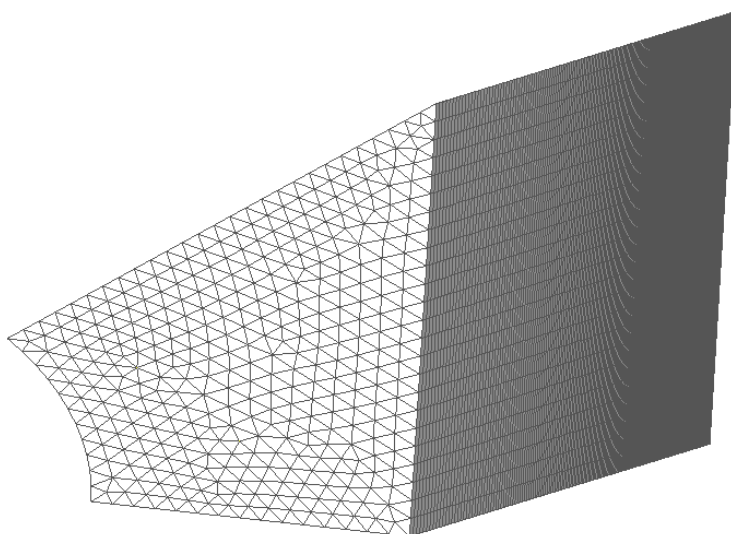
$$Nu = \frac{hD_h}{k_f} \quad (18)$$

$$f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2}\rho_f v_{in}^2} \quad (19)$$

$$Re = \frac{\rho_f v_{in} D_h}{\mu_f} \quad (20)$$

هندسه مورد نظر دارای شرایط شار حرارتی ثابت و دمای ورود ۲۹۳ درجه کلوین می باشد. سرعت جریان در ورودی یکنواخت فرض می شود که با توجه به مقدار عدد رینولدز محاسبه می گردد. طول کانال به اندازه کافی بلند در نظر گرفته شده و در نتیجه فرض توسعه یافتگی در خروجی لحاظ می گردد. همچنین، لوله وسط توپر می باشد و عایق در نظر گرفته می شود. به دلیل وجود تقارن در هندسه مورد بررسی، مسئله به صورت یک هشتم هندسه کلی مدل و شبیه سازی می گردد. در نتیجه خطوط تقارن به عنوان خطوط عایق عمل می کنند.

برای حل معادلات حاکم به همراه شرایط مرزی مربوطه از نرم افزار فلونت استفاده شده است. بر این اساس، جهت مدلسازی خواص نانوسیال در نرم افزار از کد توسعه داده شده توسط کاربر (UDF) استفاده شده است. برای مش بندی هندسه مورد نظر، از مش های مستطیلی و مثلثی استفاده شده است (شکل (۲)). برای همگرایی حل تکراری از خطای باقیمانده 10^{-6} برای تمامی پارامترها استفاده شده است.

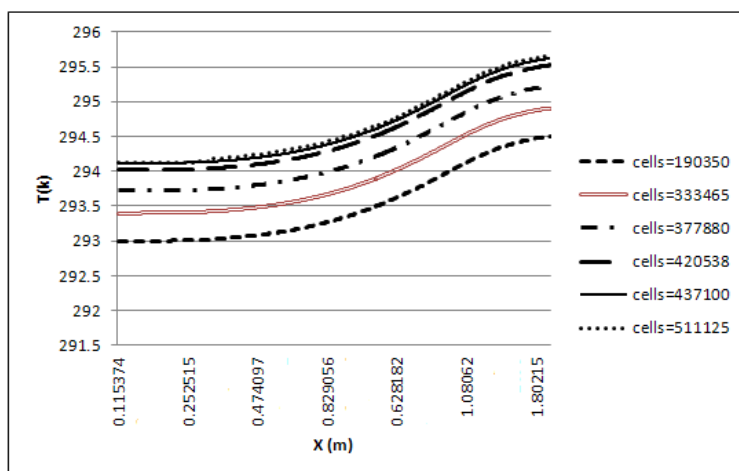


شکل (۲) - نمای شبکه بندی یک هشتم به کار گرفته شده در حل.

۳- بررسی استقلال نتایج از شبکه و اعتبارسنجی

در هر روش عددی ابتدا لازم است که استقلال نتایج عددی از تعداد مش بکار رفته بررسی گردد. در این مطالعه، تعداد مش های مختلفی بکار گرفته شده اند که نتایج حاصل از آنها در شکل (۳) و جدول (۱) به ترتیب برای دمای مرکز کانال و عدد پوآزی نشان داده شده است. با توجه به شکل (۳) و جدول (۱) می توان مشاهده نمود که تغییرات دمای سیال و عدد پوآزی با بیشتر کردن تعداد شبکه از ۴۲۰۵۳۸ ناچیز است، لذا این تعداد شبکه برای ادامه مطالعات در نظر گرفته می شود. برای اعتبار سنجی حل عددی، از آنجایی که تاکنون انتقال حرارت و جریان نانوسیال در این هندسه مطالعه نشده است، از جریان آب خالص استفاده می گردد. اطلاعات جریان و انتقال حرارت سیال خالص در این هندسه در کتاب شاه و لاندن [۱]

آمده است. نتایج مقایسه برای عدد ناسلت و عدد پوآزی توسعه یافته، در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به جدول می توان ملاحظه نمود که حل عددی حاضر دارای دقت قابل قبولی است.



شکل (۳) نمودار مقایسه شبکه بندی های مختلف برحسب پروفیل دما در مرکز کانال.

جدول (۱) مقایسه شبکه بندی های مختلف برحسب fRe

| fRe | تعداد شبکه |
|----------|------------|
| ۲۳/۹۴۵۸ | ۱۹۰۳۵۰ |
| ۲۳/۸۰۷۱ | ۳۳۳۴۶۵ |
| ۲۴/۰۴۲ | ۳۷۷۸۸۰ |
| ۲۴/۰۹۹۸۱ | ۴۲۰۵۳۸ |
| ۲۴/۰۵۴۲۳ | ۴۳۷۱۰۰ |
| ۲۴/۰۵۵۱۷ | ۵۱۱۱۲۵ |

جدول (۲) مقایسه نتایج کار حاضر با مرجع [۱]

| درصد خطا | کار حاضر | شاه و لاندن [۱] |
|----------|--------------|-----------------|
| ۶/۴۷۹۲ | Nu=۵/۶۶۱۵ | Nu=۵/۳۱۷ |
| ۹/۲۳۱۸ | fRe=۲۴/۰۵۴۲۳ | fRe=۲۲/۰۲ |

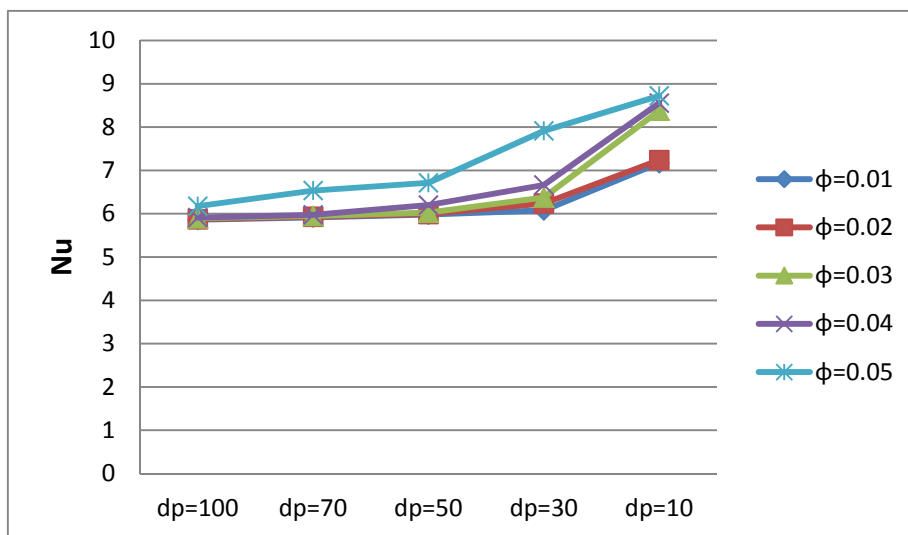
۴- نتایج و بحث

در این قسمت، نتایج حاصل از حل عددی برای جریان آرام نانوسیال آب-آلومینا در فضای بین کانال مربعی و لوله توپر واقع در مرکز آن ارائه می گردند.

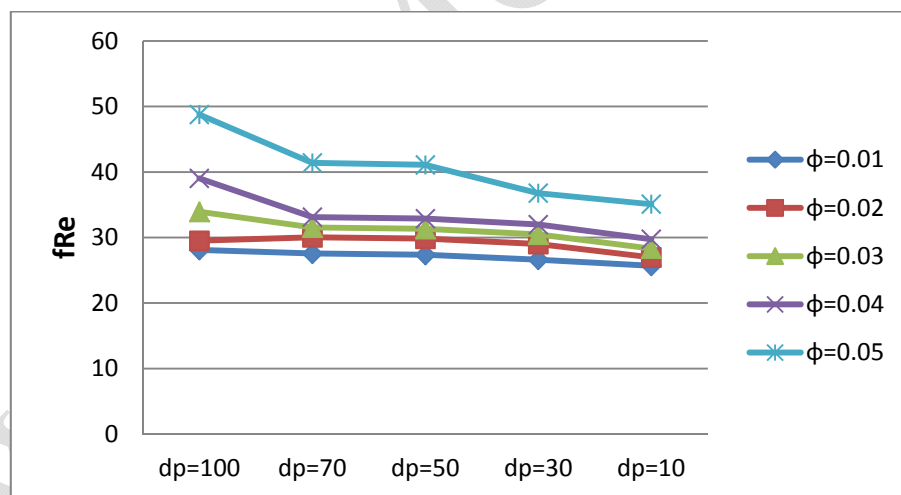
در شکل (۴) نتایج عدد ناسلت توسعه یافته در غلظت حجمی و قطر نانوذرات مختلف رسم شده است. با توجه به شکل می توان ملاحظه نمود که در هر غلظت حجمی با کم شدن قطر نانوذرات عدد ناسلت افزایش می یابد و همچنین در اثر افزایش غلظت حجمی این مقادیر افزایش چشمگیری به دنبال خواهند داشت. این امر را می توان ناشی از افزایش هدایت

حرارتی نانوسیال در اثر افزایش غلظت حجمی و کاهش قطر نانوذرات دانست. از طرف دیگر، بالاترین تغییر در غلظت حجمی ۵٪ و در قطر نانوذرات ۱۰ نانومتر رخ می دهد.

در شکل (۵) نتایج ضریب اصطکاک توسعه یافته در غلظت حجمی و قطر نانوذرات مختلف رسم شده است. از شکل نمایان است که میزان fRe بر اثر کاهش میزان قطر نانوذرات کاهش یافته و با افزایش غلظت حجمی افزایش می یابد. یعنی بالاترین تغییرات ضریب اصطکاک در رینولدز ۱۰۰، مربوط به غلظت حجمی ۵٪ و در قطر ۱۰۰ نانومتر است که نسبت به سیال معمولی آب ۹/۴٪ افزایش داشته است.



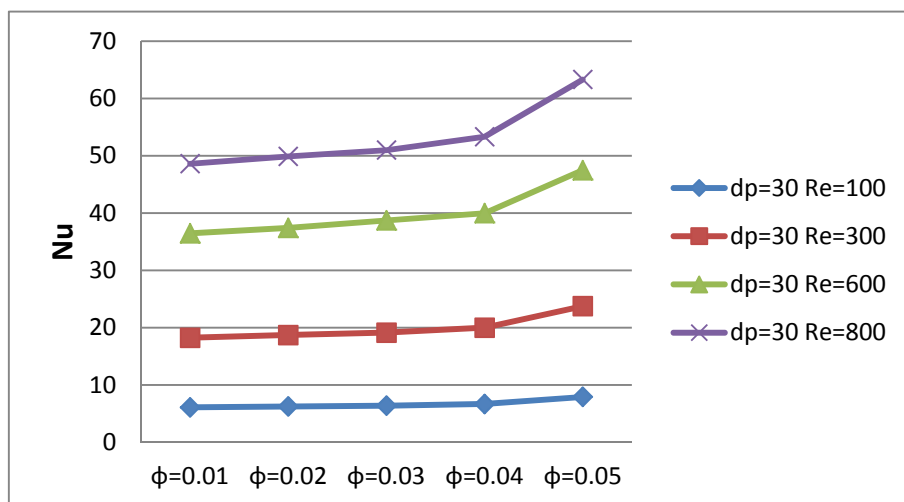
شکل (۴) نمودار تغییرات Nu در قطرهای مختلف نانوذرات، $Re=100$ و ۵٪ تا ۱٪ ϕ .



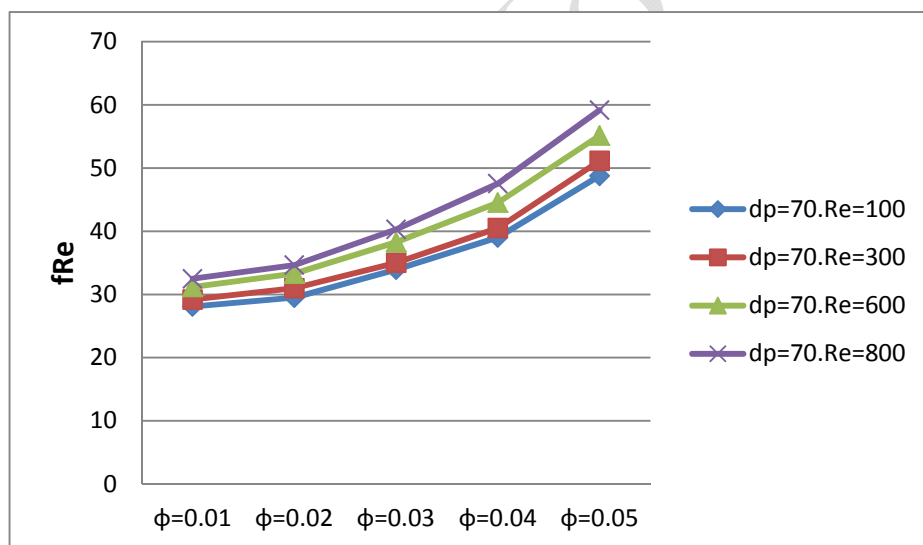
شکل (۵) تغییرات fRe در قطرهای مختلف نانوذرات، $Re=100$ و ۵٪ تا ۱٪ ϕ .

در شکل (۶) نتایج عدد ناسلت توسعه یافته در غلظت حجمی و عدد رینولدز مختلف برای نانوذرات ۳۰ نانومتری رسم شده است. با توجه به شکل مشاهده می شود که با افزایش عدد رینولدز و نیز با افزایش غلظت حجمی نانوذرات، عدد ناسلت افزایش می یابد. افزایش عدد ناسلت با افزایش عدد رینولدز را می توان ناشی از افزایش سرعت سیال و بهبود جابجایی آن دانست.

در شکل (۷) ضریب اصطکاک ناحیه توسعه یافته در غلظت حجمی و عدد رینولدز مختلف برای نانوذرات ۷۰ نانومتری رسم شده است. با توجه به شکل بدیهی است که با افزایش عدد رینولدز، ضریب اصطکاک سیال افزایش می یابد که این امر به دلیل افزایش سرعت سیال در ورودی کانال می باشد. از طرف دیگر، با افزایش کسر حجمی نانوذرات نیز ضریب اصطکاک افزایش می یابد. لذا می توان نتیجه گرفت که حضور تعداد بیشتری از نانوذرات در سیال پایه باعث افزایش افت فشار آن می گردد.

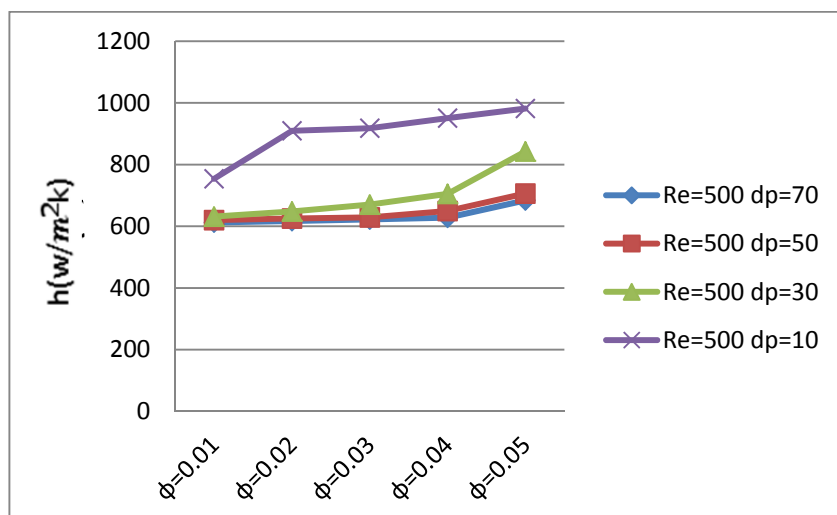


شکل (۶) تغییرات عدد ناسلت در قطر ۳۰ نانومتر و رینولدزهای مختلف.



شکل (۷) تغییرات fRe در قطر ۷۰ نانومتر.

در شکل (۸) ضریب انتقال حرارت جابجایی در ناحیه توسعه یافته برای عدد رینولدز ۵۰۰ و در قطر نانوذرات و غلظت حجمی های مختلف رسم شده است. با توجه به شکل ملاحظه می شود که افزایش کسر حجمی و همچنین کاهش قطر نانوذرات به افزایش ضریب انتقال حرارت می انجامد. روند مشابه در سایر اعداد رینولدز نیز مشاهده می گردد.



شکل (۸) تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی در رینولدز ۵۰۰.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، به بررسی عددی انتقال حرارت جابجایی اجباری نانوسیال آب-آلومینا در کانال غیر مدور پرداخته شد. برای مدلسازی عددی از نرم افزار فلونت که بر اساس روش حجم محدود کار می کند، استفاده گردید. از طرف دیگر، برای شبیه یازی خواص نانوسیال در نرم افزار از کد توسعه یافته توسط کاربر استفاده گردید. نتایج عددی بدست آمده نشان می دهند که استفاده از نانوسیالات باعث افزایش ضریب انتقال حرارت و در عین حال موجب افزایش افت فشار می گردد. همچنین قطرهای ریزتر نانوذرات و کسر حجمی بالاتر به ضریب انتقال حرارت بیشتری منجر می شوند. در عین حال، قطر بزرگتر و کسر حجمی بیشتر به افزایش افت فشار می انجامد. از نتایج به دست آمده می توان برای بهبود عملکرد حرارتی مبدلهای حرارتی فشرده استفاده نمود.

مراجع

- [1] Shah, R.K and London, A.L, Laminar Flow Forced Convection In Ducts, Academic Press New York, 1978.
- [2] Wang, C, "Forced Convection in a Polygonal Duct With a Circular Core", ASME J. Heat Transfer, Vol. 133, 044506-1-044506-4, 2011.
- [3] Heidary, .H, Kermani, M.J, "Effect of nano-particles on forced convection in sinusoidal-wall channel", Int. Comm. Heat Mass Trans., Vol.37, 1520-1527, 2010.
- [4] Kumar, P., "A CFD Study of Heat Transfer Enhancement in Pipe Flow With Al_2O_3 Nanofluid", World Academy of Science, Eng. Tech., Vol.57, 680-684, 2011.
- [5] Manca, .O, Nardini, .S, Ricci, D., Tamburrino, S., "Numerical Investigation on Mixed Convection in Triangular Cross-Section Ducts with Nanofluids", Adv. Mech. Eng., Vol. 2012, Article ID 139370, 13 pages, 2012.
- [6] Manca, O., Nardini, S., Ricci, D., Tamburrino, S., "A numerical study of nanofluid forced convection in ribbed channels", Appl. Therm. Eng., Vol.37, 280-292, 2012.
- [7] Saffari pour, M., Nassab, G., "Numerical Investigation of Forced Laminar Convection Flow Of Nanofluids Over a Backward Facing Step Under Bleeding Condition", J. Mech., Vol.28, No. 2, 559-563, 2012.
- [8] Zeinali Heris, S., Noei, S.H., Talaii, E., Sargolzaei, J., "Numerical investigation of Al_2O_3 /water nanofluid laminar convective heat transfer through triangular ducts", Nanoscale Res. Lett., 6:179, 2011.

- [9] Zeinali Heris, S., Noei, S.H., Talaii, E., "CuO/ Water Nanofluid Heat Transfer Through Triangular Ducts", Iranian J. Chem. Eng., Vol.9, No. 1 (Winter), 23-32, 2012.
- [10] Kalteh, M., Abbassi, A., Saffar-Avval, M., Harting, J., "Eulerian–Eulerian Two-Phase Numerical Simulation of Nanofluid Laminar Forced Convection in A Microchannel", Int. J. Heat Fluid Flow, Vol.32, 107-116, 2011.
- [11] Kalteh, M., Abbassi, A., Saffar-Avval, M., Frijns, A., Darhuber, A., Harting, J., "Experimental and numerical investigation of nanofluid forced convection inside a wide microchannel heat sink", Appl. Thermal Eng., Vol.36, 260-268, 2012.
- [12] Fani, B., Abbassi, A., Kalteh, M., "Effect of nanoparticles size on thermal performance of nanofluid in a trapezoidal microchannel-heat-sink", Int. Commu. Heat Mass Transfer, Vol. 45, 155-161, 2013.10.08
- [13] Masomi, N., Sohrabi, N., Behzadmehr, A., "A new model for calculating the effective viscosity of nanofluids", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 42, 055501, doi:10.1088/0022-3727/42/5/055501, 2009.
- [14] Patel, H.E., Sundararajan, T., Pradeep, T., Dasgupta, A., Dasgupta, N., Das, S.K., "A micro-convection model for thermal conductivity of nanofluids" PRAMANA J. Physics, Vol.65, 863-869, 2005.

www.Mobadel.ir

SID



سرویس های
ویژه



سرویس ترجمه
تخصصی



کارگاه های
آموزشی



بلاگ
مرکز اطلاعات علمی



عضویت در
خبرنامه



فیلم های
آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛
شبکه های توجه گرافی
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی