# بررسی عددی اثر اعداد رینولدز و گراشف در انتقال حرارت جابجایی ترکیبی نانوسیال با مدل مخلوط دو فازی در مبدل حرارتی دو لولهای

امین کابلی'، نادر نبهانی<sup>۲</sup>

۱ – گروه مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران ۲- گروه مکانیک، دانشگاه صنعت نفت، دانشکده نفت اهواز، اهواز، ایران (amin.kaboli@yahoo.com)

#### چکیدہ

انتقال حرارت جابجایی ترکیبی نانوسیال<sup>۲</sup> آب–کاربید سیلیسیوم با جریان آرام به صورت عددی مطالعه شده است. مدل مخلوط دوفازی برای بررسی تأثیر اعداد رینولدز و گراشف روی رفتار حرارتی نانوسیالهای مذکور در مجرای بین دو لوله هممرکز استفاده شده است. معادلات به کار رفته در این تحقیق بیضوی بوده و برای ارتباط بین ترمهای سرعت و فشار از الگوریتم سیمپل<sup>۴</sup> استفاده شده درحالیکه شبکه مورد استفاده همجا<sup>۵</sup> میباشد. نتایج این پژوهش با توسعه یک کد محاسباتی فرترن بدست آمدهاند. نتایج بدست آمده نشان میدهد که افزایش عدد گراشف و کاهش عدد رینولدز با تسریع شروع جریان ثانویه، افزایش عدد ناسلت و بهبود انتقال حرارت همراه است. همچنین مقایسه این تغییرات در دو نوع نانوسیال آب–کاربید سیلیسیوم و آب–اکسید سیلیسیوم نشان میدهد که استفاده از نانوذره کاربید سیلیسیوم و آب–اکسید سیلیسیوم نشان میدهد که استفاده از نانوذره کاربید سیلیسیوم و آب–اکسید سیلیسیوم نشان میدهد که استفاده از نانوذره کاربید سیلیسیوم تأثیر چشمگیری در بهبود انتقال حرارت جابجایی ترکیبی دارد و این بدلیل ضریب هدایت حرارتی چند برابری کاربید سیلیسیوم نسبت به اکسید سیلیسیوم میباشد.

**واژگان کلیدی**: انتقال حرارت ترکیبی، نانوسیال، مبدل دولولهای، مدل مخلوط دوفازی

مقدمه

'- کارشناسی ارشد

<sup>۲</sup> – استادیار

www.Mobadel.ir

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Two phase mixture model

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Semi-Implicit Method for pressure-linked Equation (SIMPLE)

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Collocated

تقاضای صنعت برای مبدل حرارتی با اندازه کوچکتر، وزن کمتر و عملکرد بهتر روز بهروز بیشتر می شود. ضریب هدایت حرارتي پايين سيالات مرسوم انتقال مانند آب، روغن و مخلـوط اتـيلن گليكـول يـك محـدوديت جـدي در اصـلاح عملكـرد و کوچکسازی این تجهیزات مهندسی بحساب می آید. یکی از راههای غلبه بر این مشکل، افزودن ذرات جامد ریز به سیال است. ایده اصلی این روش به مطالعات ماکسول در سال ۱۸۷۳ [۱] برمی گردد. وی امکان افزایش ضریب هدایت حرارتی مخلوط سیال–جامد را بوسیله ی بالا بردن کسر حجمی ذرات جامد نشان داد. ذرات مورداستفاده در ابعاد میکرومتر یا میلی متر بودند. این ذرات مشکلاتی ازقبیل سائیدگی، لخته شدن و مسدود کردن مسیر و افت فشار بوجود می آوردند. با پیشرفت تکنولوژی و خلق ذرات در ابعاد نانومتر، نسل جدیدی از مخلوط جامد-مایع تحت عنوان نانوسیال ظاهر شد. نانو سیال ها نوع جدیدی از سیال انتقال حرارت، حاوی مقدار کمی ذرات با سایز نانو (معمولا کوچکتر از nm ۱۰۰) که بصورت یکنواخت و پایدار در مایع معلق شده است، می باشند. پراکندگی مقدار کمی از نانو ذرات جامد در سیالات مرسوم با تغییر قابل توجهی در ضریب هدایت حرارتی آنها همراه است. چون [۲] بعضی از منافع نانوسیالات برای افزایش انتقال حرارت و کاهش سایز، وزن و قیمت تجهیزات حرارتی با کاهش مضرات یا عدم افت فشار را بررسی کرد. پژوهشگران نشان دادهاند که نانوسیالات شامل نانوذرات اکسید مس یا اکسید آلومینیوم در آب یا اتیلن گلیکول دارای ضریب هدایت حرارتی بالا هستند [۳]. مطالعات نشان می دهـ د کـه ضـریب گرمایی اندازه گیری شده نانوسیال بطور چشمگیری بیشتر از پیشبینیهای تئوری موجود است [۴]. کوششهای فراوان منجر به فرمول بندی مدل های تئوری کار آمد برای پیش بینی ضریب هدایت حرارتی مؤثر شده است [۸-۵]. چون و همکاران [۸] رابطه تجربي بصورت تابعي از اندازه (قطر متوسط ذرات) و دماي سيال براي هدايت حرارتي آب-اكسيد آلومينيوم ارائه كردنـد. آنها نشان دادند که حرکت براونی نانو ذرات، مکانیزم کلیدی را در افزایش هدایت حرارتی با افزایش دما وکاهش اندازه نانوذرات دارد. پاک و چو [۹] و ژوان ولی [۱۱،۱۰] نتایج تجربی راجع به انتقال حرارت جابجایی برای جریان آرام و مغشوش نانوسیال درون یک لوله بدست آوردند. آنها اولین رابطه تجربی برای عدد ناسلت نانوسیال های آب-مس، آب-اکسید تیتانیوم و آب-اکسید آلومینیوم را ارائه کردند. نتایج، افزایش چشمگیری در کارآئی انتقال حرارت سیال پایه برای عدد رینولدز یکسان نمایان ساخت. انتقال حرارت جابجایی نانوسیال با استفاده از مدل دو فازی یا تک فازی می تواند تقریبزده شود. مدل دوفازی امکان فهمیدن عملکرد فرآیند انتقال حرارت در هر دو فاز پیوسته و فاز ثانویه را فراهم می کند. در مدل تکفازی فرض میشود که فاز سیال و ذرات در تعادل گرمایی به سر می برند و با سرعت یکسان حرکت میکنند بنابراین ایـن مـدل در چنـدین مطالعـه تئوري انتقال حرارت جابجايي نانو سيالها مورد استفاده قرار گرفته است [١٢-١٣]. بدليل اين واقعيت كـه ويژگـيهـاي مـؤثر نانوسیالها بطور صریح شناخته شده نیستند، پیش بینی های این تقریب ،تطابق خوبی با نتایج تجربی ندارند. چندین عامل از قبیل: جاذبه، اصطکاک بین سیال و ذرات جامد و نیروهای براونی، پدیده انتشار براونی، ته نشینی و پراکندگی، امکان تأثیر روی جريان نانوسيال و تبعاً احتمال عدم صفر شدن سرعت لغزش بين سيال و ذرات را بوجـود مـيآورنـد [11]. بنـابراين بـه نظـر ميرسد كه تقريب دوفازي بهترين مدل براي اعمال كردن بر نانوسيال است. اخيراً بهزادمهر و همكاران [١٧] جابجايي اجباري مغشوش نانو سیال در لوله ای با سطح مقطع دایره با استفاده از تقریب دوفازی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها اولـین بـار مـدل مخلوط دو فازی را برای مطالعه نانوسیال بکار بردند. مقایسه نتایج آنها با نتایج تجربی نشان داد که مدل مخلوط بسیار دقیق تر از مدل تکفازی می باشد. مجاری دو لولهای یکی از رایجترین و مهم ترین هندسه ها برای جریان سیال و تجهیزات انتقال حرارت می باشد. هندسه مذکور کاربردهای مهندسی بسیار ی از جمله مبدلهای حرارتی دو لوله ای، توربین های گازی، راکتورهای هسته ای، توربو ماشین، سیستم تهویه هوا، خنکسازی تجهیزات الکترونیک و .... دارد. بنابراین بررسی افزایش انتقال حرارت مجارى دولولهاى اساسى مىباشد. كاربردهاى نانوسيال درون مجراى دولولهاى توسط برخى پژوهشكران مطرح شده است [۱۸،۱۹]. ابو- نادا [۱۸] نانوسیال آب⊣کسید آلومینیوم را در یک مجرای دو لولهای با روش تکفازی مـورد مطالعـه قرار داده است. وی از مدل ویسکوزیته و ضریب هدایت حرارتی متغیر برای ارزیابی افزایش انتقال حرارت استفاده کرد. ایزدی و همكاران [۱۹] جابجایی اجباری آرام نانو سیال آب–اكسید آلومینیوم را بصورت عددی در یک لوله حلقوی مـورد مطالعـه قـرار دادند و برای مدل کردن از رویکرد تکفاز استفاده کردند. مختاری و همکاران [۲۰] جریان آرام همراه با انتقال حرارت توأم (اجباری– آزاد) نانوسیال آب⊣کسید آلومینیوم را در مجرای دولولهای با شرایط مرزی شار ثابت با مدل مخلوط دوفازی بررسی کردند و اثرات مربوط به تغییر نسبت شار حرارتی دیوار داخلی به خارجی، تغییر عدد گراشف و اثر افزایش کسر حجمی نانوذرات بر روی پارامترهای گرمایی و هیدرودینامیکی را گزارش نمودند و نشان دادند که با افزایش کسر حجمی و کاهش نسبت شار حرارتی عدد ناسلت داخلی و خارجی افزایش می یابد. در این مقاله انتقال حرارت جابجایی ترکیبی جریان آرام نانوسیال با استفاده از مدل مخلوط دوفازی بررسی شده است.

### تعريف مسئله

جابجایی ترکیبی حاوی آب–کاربید سیلسیوم در مجرای دو لوله ای افقی با شار حرارتی یکنواخت مورد بررسی قرار گرفته است. همانگونه که در شکل (۱) مشاهده می شود هندسه مورد نظر، دو لوله تو در تو با سطح مقطع دایروی و هم مرکز با طول 2200d\_ و شعاعهای نمایش داده شده، می باشد. حل میدان جریان و حرارت بصورت سه بعدی و در مختصات استوانه ای صورت می گیرد. مجرای دولوله ای بصورت افقی بوده و به دلیل تقارن جریان درون مبدل حرارتی، نیمه راست مبدل حرارتی برای انجام محاسبات در نظر گرفته شده است و نتایج از توسعه یک کد محاسباتی فرترن [۲۱] حاصل شده است. طول مجرا (L) ۲۰۰ برابر قطر هیدرولیکی انتخاب شده است تا از رسیدن ناحیه توسعه یافته به خروجی اطمینان حاصل شود. جریان نانوسیال آرام، دائم و تراکم ناپذیر فرض شده است و سیال عامل رفتار نیوتنی دارد در حالیکه از اتلاف و کار فشاری صرف شده است .کلیه خواص فیزیکی بجز چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه که تابعی از کسر حجمی در نظر گرفته شده اند، ثابت فرض



شکل ۱- هندسه مربوط به مبدل حرارتی دو لوله ای و مشخصات جریان

## مدل مخلوط

مدل مخلوط دوفازی با فرض اتصال قوی بین فازها و پیروی نزدیک ذرات از سیال برای شبیه سازی بکار برده می شود. هر دو فاز گذرا فرض شدهاند بدین معنی که هر فاز میدان بردار سرعت خودش را دارد و درون یک حجم کنترل، کسر حجمی فاز اولیه و هم چنین کسر حجمی فاز ثانویه وجود دارد. بجای بکارگیری معادلات حاکم بر هر فاز بطور جداگانه معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی برای مخلوط در نظر گرفته می شود. معادلات حاکم حالت دائم جریان سیال مخلوط و انتقال حرارت در مجرای دو لوله ای ر ا مطابق با پژوهشهای پیشین به شرح زیر می اشد:

معادله ييوستگي : (1) معادله مومنتوم :

 $\nabla . \left( \rho_m V_m \right) = 0$ 

www.Mobadel.ir

پنجمین همایش ملی مبدل های گرمایی تهران : ۳۰ آبان ۱۳۹۲ 🛛 ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۲۱

$$\nabla \cdot \left(\rho_{m} V_{m} V_{m}\right) = -\nabla P + \nabla \cdot \left(\mu_{m} \nabla V_{m}\right) + \nabla \cdot \left(\sum_{k=1}^{n} \phi_{k} \rho_{k} V_{PR} V_{PR}\right) - \rho_{m,i} \beta_{m} g(T - T_{i})$$
(7)

که Ø کسر حجمی فازهای جامد یا مایع است . معادله انرژی :

$$\overline{\mathbb{V}}.\sum_{k=1}^{n} \left(\rho_{k} c_{pk} \phi_{k} \mathbb{V}_{k} T\right) = \overline{\mathbb{V}}.\left(k_{m} \overline{\mathbb{V}} T\right)$$

 $\rho_m = (1 - \phi) \rho_f + \phi \rho_p$ 

$$\nabla . (\phi \vec{V}_m) = -\nabla . (\phi (1 - x_p) \vec{V}_{cp})$$

$$V_m = \frac{\sum_{k=l}^n \phi_k \rho_k V_k}{\rho_m} = \sum_{k=l}^n x_k V_k$$

معادله ی کسر حجمی : (۵) Vm سرعت میانگین: (۶)

 $x_k = \frac{\phi_k \rho_k}{\rho_m} \tag{Y}$ 

۷<sub>Mk</sub> در معادله (۲) به عنوان سرعت انتشار برای فاز ثانویه می باشد . اگر p یکی از فازهای ثانویه باشد آنگاه :

$$V_{Mp} = V_{cp} - \sum_{k=1}^{n} x_k V_{ck}$$
 (۸)  
سرعت لغزشی (سرعت نسبی ) به صورت سرعت فاز ثانویه نسبت به سرعت فاز اولیه تعریف می شود :

$$V_{cp} = V_c - V_p \tag{9}$$

سرعت نسبی از معادله (۱۰) محاسبه می شود که توسط ماننین همکاران [۲۲] پیشنهاد شده است .در حالیکه معادله (۱۱) توسط شیلر و نومان برای محاسبه ی ضریب درگ بصورت زیر استفاده شده است :

$$V_{cp} = \frac{4d_p}{3C_D} \frac{1}{|V_{cp}|} \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_f} \left[ g - (V_m \cdot \nabla) V_m \right]$$
(1.)

$$C_{D} = \frac{24}{\text{Re}_{p}} (1 + 0.15 \,\text{Re}_{p}^{0.687}) \qquad \text{Re}_{p} < 1000$$

$$= 0.44 \qquad \text{Re}_{p} > 1000 \qquad (11)$$

خواص فیزیکی در معادلات فوق عبارتند از :

ویسکوزیته موثر از رابطه (۱۲) وانگ و همکاران [۲۳] که بر اساس داده های تجربی بدست آمـده و بـرای کسـر حجمـی هـای کمتر از 0.06 مؤثر است بدست می آید .

$$\mu_{eff} = \mu_f (1+7.3\varphi + 123\varphi^2)$$
(17)  
رابطه چون و همکاران (۱۳) که حرکت براونی و قطر نانو ذرات در آن لحاظ شده است برای محاسبه ی ضریب هدایت حرارتی  
موثر مورد استفاده قرار گرفته است :

$$\frac{k_{eff}}{k_{f}} = 1 + 64.7 \times \phi^{0.746} \left(\frac{d_{f}}{d_{p}}\right)^{0.369} \left(\frac{k_{p}}{k_{f}}\right)^{0.746} \times pr_{f}^{0.9955} \times Re_{f}^{1.2321}$$
(17)

که Pr ,Re در رابطه ی (۱۳) بصورت زیر تعریف می شود :

$$pr_{f} = \frac{\mu_{f}}{\rho_{f}\alpha_{f}}$$

$$Re_{f} = \frac{\rho_{f}k_{b}T}{3\pi\mu^{2}l_{bf}}$$
(14)

که  $h_{bf}$  طول مسیر آزاد مولکولی آب ( $k_b = 1.3807 \times 10^{-23}$ ) نامیده می شود و kb ثابت بولتزمن ( $k_b = 1.3807 \times 10^{-23}$ ) و  $\mu$  با معادله ی زیر محاسبه می شود:

$$\mu = A \times 10^{\frac{B}{T-C}}$$
, C=140, B=247, A=2.414e-5,  $k_b = 1.3807e-23$  (19)

ظرفیت حرارتی و ضریب انبساط حجمی بصورت خطی با تغییر کسر حجمی تغییر می کنند و به شکل زیر تعریف می شوند :

$$C_{p} = \left[\frac{\left(1-\phi\right)\left(\rho C_{p}\right)_{f} + \phi\left(\rho C_{p}\right)_{p}}{(1-\phi)\rho_{f} + \phi\rho_{p}}\right]$$
(1Y)

$$\beta = \frac{\phi \rho_p \beta_p + (1 - \phi) \rho_f \beta_f}{(1 - \phi) \rho_f + \phi \rho_p} \tag{1}$$

ضريب نفوذ حرارتي :

دستگاه معادلات بیضوی غیرخطی حاکم با شرایط مرزی زیر حل شده است :

شرایط مرزی بر روی جداره های مبدل :

$$at(r = r_1 \text{ and } r = r_2, \ z = (0, L), \ \theta = (0, \pi))$$

$$k \frac{\partial T}{\partial r} = q'' \quad , \qquad u, v, w = 0$$
(Y · )

پنجمین همایش ملی مبدلهای گرمایی تهران : ۳۰ آبان ۱۳۹۲

www.Mobadel.ir

 $\alpha =$ 

شرط مرزی تقارن (گرادیان دما و تنش برشی در مرز تقارن برابر صفر هستند):

$$at(\theta = 0 \text{ and } \theta = \pi, \ r = (r_1, r_2), \ z = (0, L))$$

$$\frac{\partial u}{\partial \theta}, \frac{\partial w}{\partial \theta}, \frac{\partial T}{\partial \theta}, v = 0$$
(71)

شرط مرزی ورودی:

$$at(z = 0, \ \theta = (0, \pi), \ r = (r_1, r_2))$$

$$u, v = 0, \quad w = w_{inlet}, \quad T = T_{inlet}$$
(77)

$$at((z = L), \ \theta = (0, \pi), \ r = (r_1, r_2))$$

$$\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z}, \frac{\partial W}{\partial z}, \frac{\partial T}{\partial z} = 0$$
(YT)

در مرز خروجی نیز شار جرمی خروجی بر اساس شار جرمی ورودی تصحیح می شود. با توجه به اینکه معادله تصحیح فشار از روی معادله پیوستگی برای نانوسیال و معادله کسر حجمی از روی معادله پیوستگی برای فاز ثانویه بدست آمده است شار جرمی برای معادله تصحیح فشار و شار جرمی فاز ثانویه برای معادله کسر حجمی به عنوان مرز عمل میکنند. مقادیر فشار نسبی بر روی مرز که در معادله مومنتوم مورد نیاز است نیز از طریق برونیابی مرتبه دو محاسبه و اعمال میشود.

## روش عددی

دستگاه معادلات بیضوی با استفاده از روش حجم محدود گسسته شده است و برای ارتباط بین ترمهای سرعت و فشار از الگوریتم سیمپل استفاده شده است .معادلات مومنتوم و انرژی با دقت مرتبه دوم و معادله کسر حجمی با دقت مرتبه اول حل شده است .کلیه برونیابی ها نیز با دقت مرتبه دوم انجام شده است.

بعد از حل معادلات حاکم برای سرعت ،فشار ،کسر حجمی و دما دیگر مقادیر مفید مانند عدد بیبعد ناسلت و ضریب اصطکاک میتوانند محاسبه شوند. شبکه بندی مورد استفاده باسازمان و غیر یکنواخت بوده و از المانهای استوانهای استفاده میکند. توزیع شبکه در نزدیکی ناحیه ورودی مجرا و جداره های لوله با توجه به بزرگ بودن گرادیان های سرعت و دما ریزتر است.

برای بررسی دقیق استقلال شبکه، پارامترهای هیدرودینامیکی و گرمایی یعنی نمودارهای ناسلت موضعی  $(Nu_i, Nu_o)$  و همچنین ضریب اصطکاک جریان  $C_{f,i}, C_{f,o}$  بر اساس تعداد گره های مورد استفاده مقایسه شده اند. طول مبدل حرارتی همچنین ضریب اصطکاک جریان  $C_{f,i}, C_{f,o}$  بر اساس تعداد گره های مورد استفاده مقایسه شده اند. طول مبدل حرارتی برابر  $I = 2000, Gr = 10^5, r_o / r_i = 2, q_o / q_i = 1$  برابر برابر  $I = 2000, Gr = 10^5, r_o / r_i = 2, q_o / q_i = 1$  بخالص با  $I = i = n_o / q_i$  و شعاعی  $I = 1000, Gr = 10^5$  میباشد. بررسی شبکه برای سیال آب خالص با  $I = i = 0, q_o / q_i = 2, q_o / q_i = 1$  درون مجرای دو لوله ای و براساس تعداد گره ها در سه جهت طولی Z، محیطی  $\theta$ ، و شعاعی r انجام شده است. همانطور که در  $C_f$  مشاهده می شود با افزایش تعداد گرها از  $0.01, n_o = 30, n_z = 30, n_z = 200$  مشکل (۲) مشاهده می شود با افزایش تعداد گره از ای  $0.01, n_o = 30, n_z = 30, n_z$  محیطی  $\theta$ ، و شعاعی r انجام شده است. همانطور که در مشکل (۲) مشاهده می شود و در این شرایط می توان گفت که با افزایش بیشتر گره ها تغییرات قابل توجه و محسوسی در نتایج به وجود نخواهد آمد. به عبارتی مساله حساسیتی به تعداد گره ها ندارد و اصطلاحاً جوابها مستقل از اندازه شبکه است. بنابراین با تخواهد آمد. به عبارتی مساله حساسیتی به تعداد گره ها ندارد و اصطلاحاً جوابها مستقل از اندازه شبکه است. بنابراین با تخواه به نمودارهای ( $C_{f,i}, C_{f,o}$ ) و  $(O_{i,i}, Nu_i)$  شبکه  $0.02 \times 30 \times 30$  به عنوان شبکه نهایی انتخاب شده است.



 ${
m Re}=1000,~Gr=10^5,~r_o~/~r_i=2~,q_o~/~q_i=1~$  شکل ۲- پررسی استقلال شبکه بر اساس Nu~و Nu~

اعتبار سنجى

قبل از بررسی تحلیل عددی میدان دما و سرعت در حوزه حل باید اعتبار روش عددی مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور نتایج با کارهای عددی و تجربی موجود مقایسه شده است.

برای بررسی صحت کد محاسباتی بکار رفته در حل مسئله، نتایج عدد بی بعد ناسلت متوسط محیطی بر روی دیواره داخلی و خارجی (*Nuo, Nui*) در ناحیه توسعه یافته در جابجایی اجباری، بدست آمده در Re=800 و نسبت شعاعی 2=(*ro/ri*) با نتایج کار شاه و لندن ۱ [۲۸] و همچنین نتایج کار مختاری و همکاران [۲۰] برای شار حرارتی ثابت در دیوارههای لوله های داخلی و خارجی در شکل (۲) مقایسه شده است.

جدول ۱- عدد ناسلت توسعه یافته حاصل کار عددی انجام شده توسط شاه و لندن [۲۸] و همچنین مختاری و همکاران [۲۰]

$\underline{q}_{w,i}$	یتاری و همکاران (۲۰۱۱)	نتایج حاصل از کار مخ	نتایج حاصل از کار شاه و لندن (۱۹۸۷)	
$q_{\scriptscriptstyle w,o}$	Nu <sub>i</sub>	Nu <sub>o</sub>	Nu <sub>i</sub>	Nu <sub>o</sub>
×	۶,۲۴۷۵	•	8,41108	•
•	·	۵٬۰۳۹	•	۵/۱۰۲۴

www.Mobadel.ir

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Shah and London



 $\frac{q_{w,i}}{q_{w,o}}$ =0 ,  $\infty$  التهای عدد ناسلت توسعه یافته با نتایج کار عددی انجام شده توسط شاه و لندن برای حالتهای  $q_{w,o}$ 

همچنین برای دقت بیشتر و بررسی درستی استفاده از فرمول های خصوصیات نانوسیال با کار ایزدی و همکاران [۱۹] و همچنین کار مختاری و همکاران [۲۰] در شکل (۴) مقایسه شده است . این محققین به بررسی جریان اجباری<sup>۱</sup> در درون لوله محچنین کار مختاری و همکاران [۲۰] در شکل (۴) مقایسه شده است . این محققین به بررسی جریان اجباری<sup>۱</sup> در درون لوله حلقوی پرداختند در حالیکه نانوسیال مورد استفاده برای خنک کاری بین دو لوله آب-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> بود. این مقایسه برای بررسی حروب لوله محیوب این محققین به بررسی جریان اجباری<sup>۱</sup> در درون لوله حلقوی پرداختند در حالیکه نانوسیال مورد استفاده برای خنک کاری بین دو لوله آب-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> بود. این مقایسه برای بررسی ضریب اصطکاک بر روی لوله داخلی و خارجی ( $C_{f,i}, C_{f,o}$ ) و 8.8 همچنین این محققین این محققین این محققین این مقایسه برای برسی حدوب این مقایسه برای برسی حدوب این مقایسه برای برسی محقوب این محقوب این مقایسه برای برسی حدوب محقوب این مقایسه برای برسی حدوب محقوب این محقوب این محقوب این محقوب محقوب این محقوب محقوب این محوب این محقوب این محقوب این محقوب این محوب این محقوب این محوب این محوب این محقوب این محوب این محقوب این محوب این محقوب این محقوب این محوب این محوب



شکل ۴- مقایسه نتایج ضریب اصطکاک نانو سیال با کار عددی انجام شده توسط ایزدی و همکاران [۱۹]و مختاری و همکاران [۲۰]

همانطور که مشاهده می شود بین نتایج حاصل از کار پژوهشگران پیشین در این زمینه با نتایج حاصل از این پژوهش در حالات مختلف برای عدد ناسلت داخلی و خارجی و همچنین ضریب اصطکاک نانوسیال تطابق خوبی وجود دارد. لـذا از صحت کـد محاسباتی نوشته شده اطمینان حاصل می شود.

<sup>1</sup>. Forced convection

## بحث و بررسی نتایج

در این مقاله تأثیر عدد گراشف و عدد رینولدز روی رفتار حرارتی جریان نانو سیال آب–کاربید سیلسیوم و در مجرای دولولهای ارائه و بحث شده است. شبیه سازی عددی با نسبت شعاعی  $r_o/r_i=2$  و نسبت شار حرارتی  $q_o/q_i=1$  برای کسر حجمی و دولولهای ارائه و بحث شده است. شبیه سازی عددی با نسبت شعاعی  $r_o/r_i=2$  و نسبت شار حرارتی  $q_o/q_i=1$  و  $q_o/q_i=1$   $q_o/q_i=$ 

### اثر عدد گراشف در انتقال حرارت نانوسیال آب-کاربید سیلیسیوم

برای مقایسه اندازههای مختلف عدد گراشف باید دیگر پارامترهای مؤثر همچون کسر حجمی، قطر نانودره، عدد رینولدز، نسبت شعاع و شار ثابت حرارتی خارجی به داخلی ثابت و در 1000–*Re* بدست آمده است. کانتور سرعت و جریان ثانویه و همچنین نمودارهای ناسلت و دما برای نیمه سمت راست لوله (به دلیل تقارن) نشان داده شده است. می توان گفت که مشخصات انتقال حرارت جابجایی ترکیبی در مجرای دو لوله ای وابستگی شدیدی به رفتار جریان ثانویه دارد. در شکل (۵) نمودارهای ناسلت داخلی و خارجی را برای اعداد گراشف مختلف در طول لوله نشان میدهد که در ابتدای لوله به دلیل نزدیکی دمای دیواره به دمای سیال عدد ناسلت با شیب تندی نزول می کند و بعد از رسیدن به یک مقدار مینیم با یک شیب ملایم شروع به افزایش می کند که این به دلیل اثر گذاری جریان های ثانویه بر روی لایه مرزی حرارتی می باشد و در قسمت توسعهیافتگی حرارتی به سمت مقادیر بیشتر میل می کند. همچنین افزایش عدد گراشف باعث افزایش نیروی شناوری و در نتیجه تقویت سرعتهای ثانویه می شود. این امر منجر به افزایش نسبت انتقال حرارت جابجایی به انتقال حرارت هم می در می کند. همچنین افزایش عدد گراشف باعث افزایش نیروی شناوری شیب ملایم شروع به افزایش می کند که این به دلیل اثر گذاری جریان های ثانویه بر روی لایه مرزی حرارتی می باشد و در قسمت توسعهیافتگی حرارتی به سمت مقادیر بیشتر میل می کند. همچنین افزایش عدد گراشف باعث افزایش نیروی شناوری و در نتیجه تقویت سرعتهای ثانویه می شود. این امر منجر به افزایش نسبت انتقال حرارت جابجایی به انتقال حرارت هدایت



شکل (۶) مقایسه دمای دیواره داخلی و خارجی و میانی برای گراشفهای مختلف نانوسیال کاربید سیلیسیوم را نشان میدهد و مشاهده میشود که با افزایش گراشف دمای بیبعد دیواره خارجی کاهش و دمای دیواره داخلی افزایش مییابد و این در حالی است که دمای میانی تغییر محسوسی ندارد.

Gr=5×104 Gr=3×105 Gr=10<sup>5</sup> 0.02 0.02 0.02 0.0 0.0 0.01 -0.0 -0.02 Gr=10<sup>5</sup> Gr=3×105 Gr=5×104 0.02 0.02 0.0

شکل ۷- مقایسه کانتورهای سرعت و جریان ثانویه برای گراشفهای مختلف نانوسیال کاربید سیلیسیوم

مقایسه کانتورهای سرعت و جریان ثانویه برای گراشفهای مختلف نانوسیال کاربید سیلیسیوم در شکل (۷) نشان میدهد که با افزایش عدد گراشف، جریان ثانویه در یک مقطع لوله افزایش قابل توجهی دارد.

## اثر عدد رينولدز بر انتقال حرارت نانوسيال كاربيد سيليسيوم

Re=1500 و Re=1000 و Re=500 و Re=500 و Re=500 و مرای سه مقدار Re=1000 و Re=1000 و Re=1500 و Re=1500 و Re=1000 توسط نمودارها و کانتورها برای عدد ناسلت و کانتورهای سرعت و جریان ثانویه و بردارهای سرعت ثانویه و همچنین نمودارهای دمای دیوارهها نشان داده میشود. این نتایج با نسبت شعاعی  $r_o/r_i=2$  و نسبت شار حرارتی یک  $q_o/q_i=1$  و کسر حجمی دمای دیوارهها نشان داده میشود. این نتایج با نسبت شعاعی  $r_o/r_i=2$  و نسبت شار حرارتی یک  $q_o/q_i=1$  و کسر حجمی نام درای دیوارهها نشان داده میشود. این نتایج با نسبت شعاعی  $r_o/r_i=2$  و نسبت شار حرارتی یک  $q_o/q_i=1$  و کسر حجمی نام دیوارهها نشان داده میشود. این نتایج با نسبت شعاعی  $r_o/r_i=2$  و نسبت شار حرارتی یک  $q_o/q_i=1$  و کسر حجمی نام دیوارهها نشان داده میشود. این نتایج با نسبت شعاعی  $r_o/r_i=2$  و نسبت شار حرارتی یک  $q_o/q_i=1$  و کسر حجمی نام دیوارهها نشان داده میشود. این نتایج با نسبت شعاعی  $r_o/r_i=2$  و نسبت شار حرارتی یک  $q_o/q_i=1$  و کسر حجمی نام دیوارهها نشان داده میشود. این نتایج با نسبت شعاعی  $r_o/r_i=2$  و نسبت شار حرارتی یک  $q_o/q_i=1$  و کسر حجمی مختلف  $q_o/q_i=1$  و نام دان دام در محمد در محمد و محمد و نام در محمد در محمد و محمد و



مقایسه دمای میانی و دمای دیواره داخلی و خارجی برای عدد رینولدزهای مختلف نانوسیال کاربید سیلیسیوم در شکل (۱۰) نشان میدهد که با کاهش رینولدز، دمای بیبعد در طول مسیر لوله افزایش مییابد.



شکل ۱۰- مقایسه کانتورهای سرعت و جریان ثانویه برای عدد رینولدزهای مختلف نانوسیال کاربید سیلیسیوم

پنجمین همایش ملی مبدل های گرمایی تهران : ۳۰ آبان ۱۳۹۲ ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۰۲۱ www.Mobadel.ir

مقایسه کانتورهای سرعت و جریان ثانویه برای عدد رینولدزهای مختلف نانوسیال کاربید سیلیسیوم در شکل (۱۰) بخوبی نشان میدهد که با کاهش رینولدز در یک مقطع یکسان، جریان ثانویه افزایش مییابد.

همچنین در این پژوهش نمودارهای ناسلت با اعداد مختلف گراشف و رینولـدز در نانوسـیالهـای کاربیـد سیلیسـیوم و اکسـید سیلیسیوم در شکلهای (۱۱) و (۱۲) با یکدیگر مقایسه شدهاند و نتایج بخوبی نشان داد که تأثیر تغییرات گراشف و رینولدز در انتقال حرارت جابجایی نانوسیال آب-کاربید سیلیسیوم به مراتب بیشتر از آب-اکسید سیلیسیوم میباشد و این بـدلیل ضـریب هدایت حرارتی چند برابری کاربید سیلیسیوم نسبت به اکسید سیلیسیوم میباشد.



شکل ۱۱- مقایسه ناسلت برای اعداد مختلف گراشف در نانوسیال های کاربید سیلیسیوم و اکسید سیلیسیوم



شکل ۱۲– مقایسه ناسلت برای اعداد مختلف رینولدز در نانوسیالهای کاربید سیلیسیوم و اکسید سیلیسیوم

پنجمین همایش ملی مبدل های گرمایی تهران : ۳۰ آبان ۱۳۹۲ 🕺 ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۰۲۱ www.Mobadel.ir

## جمع بندی

انتقال حرارت جابجایی ترکیبی نانوسیال آب-کاربید سیلیسیوم با جریان آرام به صورت عددی مطالعه شده است. مدل مخلوط دوفازی برای بررسی تأثیر اعداد رینولدز و گراشف روی رفتار حرارتی نانوسیالهای مذکور در مجرای بین دو لوله هممرکز استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان میدهد که افزایش عدد گراشف و کاهش عدد رینولدز با تسریع شروع جریان ثانویه، افزایش عدد ناسلت و بهبود انتقال حرارت همراه است. همچنین مقایسه این تغییرات در دو نوع نانوسیال آب-کاربید سیلیسیوم و آب-اکسید سیلیسیوم نشان میدهد که استفاده از نانوذره کاربید سیلیسیوم تأثیر چشمگیری در بهبود انتقال حرارت جابجایی ترکیبی دارد. تأثیر تغییرات گراشف و رینولدز در انتقال حرارت جابجایی نانوسیال آب-کاربید سیلیسیوم به مراتب بیشتر از آب-اکسید سیلیسیوم میباشد.

# فهرست علائم

سطح ( *m*<sup>2</sup> ) A ظرفیت حرارتی ( *K / K*) С ضریب اصطکاک سطحی  $C_{f}$ (J / Kg.K ) ظرفیت حرارتی ویژه  $C_{p}$ قطر ( m) d قطر هيدروليكي ( m)  $d_h$ قطر نانو ذره ( nm)  $d_{n}$  $(m/s^2)$  شتاب حاذبه ( g  $(\frac{g\beta(T_{h,inlet} - T_{c,inlet})d_h^3}{2})$ عددگراشف ( Gr  $\langle W \ / \ m^2.K \ 
angle$  فريب انتقال حرارت جابجايي ( h (W / m.K) (W / m.K) فريب هدايت حرارتي k ثابت بولتزمن (  $1.3807 \times 10^{-23}$  ) ثابت بولتزمن (  $k_{h}$ طول ( m ) L طول مسیر آزاد سیال پایه ( 0.17*nm*)  $l_{bf}$ دبی جرمی ( kg / s ) د ṁ  $(rac{\partial T \ / \ \partial r \ )_{wall} d_h}{\left(T_{wall} - T_h 
ight)}$  عدد ناسلت ( Nu Р فشار ( Pa ) عدد یکلت ( Re.Pr) Pe

$$(rac{\mu}{\rho lpha})$$
عدد پرانتل ( $rac{\mu}{\rho lpha})$ عدد پرانتل ( $rac{m}{\rho lpha})$  شار حرارتی ( $W/m^2s^2$ ) شار حرارتی ( $(K)m^2s^2$ ) شاعی ( $(K)m^2$ ) عدد ریچاردسون ( $(Gr/\operatorname{Re}^2)$ عدد ریچاردسون ( $(K)m^2s^2)$  دما ( $K$ ) مولفه سرعت در جهت  $r$  ( $(M/s)$ )  $V$  سرعت ( $r$  جهت  $r$  ( $m/s$ )  $Z$  مولفه سرعت در جهت  $r$  ( $m/s$ )  $Z$  مولفه سرعت در جهت  $r$  ( $m/s$ )  $Z$  کسر جرمی  $X$  مورمی محوری محوری  $r$ 

۷ حجم ( m)

#### علائم يونانى

- ( $m^2/s$ ) ضریب نفوذ گرمایی ( $m^2/s$ ) lpha
  - کسر حجمی arphi
- $(N.s/m^2)$  ویسکوزیته دینامیک ( $\mu$ 
  - $(m^2 \, / \, s \,)$  ویسکوزیته سینماتیک ( $m^2 \, / \, s \,$ 
    - ho چگالی ( kg /  $m^3$  )
    - $(K^{-1})$  ضريب انبساط حجمى ( $\beta$

- [1] J.C. Maxwll, Electricity and Magnetism, Clarendon Prss, Oxford, UK, 1873
- [2] S.U.S.Choi, Enhancing thermal conductivity of fluid With nanoparticles, Developments and Applications of Non Newtonian Flow, ASME, FED231/MD 66(1995)99-105.
- [3] S.Lee, S.U.Schoi, S. Li, J.A Eastman , Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, J.Heat Transfer 121(1999)280-289
- [4] S.U.S.Choi,Z.G.Zhang,W.Yu,F.E. Lockwood ,E.A. Grulke, Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions, Appl. Phys. Lett. 79(2001)2252-2254
- [5] Q.Z.Xue,Model for effective thermal conductivity of nanofluids,Phys.Lett.A 307(2003)313-317.
- [6] Y.M. Xuan, Q.Li, W.Hu, Aggregation structure and thermal conducting of nanofluids, AIChE J. 49 (2004)1038 -1043
- [7] S.P.Jang ,S.Choi ,Role of Brownion motion in the enhanced thermal conductivity of nanofluids, Appl.Phys.Lett.84 (2004)4316-4318
- [8] C.H. Chon, K.D. .Kihm,S.P.Lee ,S.U.S. Choi, Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)thermal conductivity enhancement ,Appl. Phys.Lett .87(2005)1-3
- [9] B.C.Pak, Y.I. Cho, Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, Exp.Heat Transfer 11 (1998)151-170.
- [10] Y.M .Xuan ,Q.Li,Investigation on convective heat transfer and flow features of nanofluid ,J.Heat Transfer 125(2003)151-155
- [11] Y.M.Xuan, Q.Li, Heat transfer enhancement of nanofuids, Int. J. Heat Fluid Flow 21(2000)58-64
- [12] S.E. Maiga, C.T. Nguyen, N.Galanis, G.Roy, Heat Transfer behaviors of nanofluid in a uniformly heated tube, Super Lattices Microstruct .35 (2004)543-557
- [13] K.Khanafer ,K.Vafai,M.Lightstone,Buoyancy-driven heat Transfer enhancement in a two dimensional enclosure utilizing nanofluid, Int J. Heat Mass Transfer 46(2003)3639- 3653.
- [14] J.Koo, C. Kleinstreuer, Laminarnanofluid flow in microheat sinks, Int. J. Heat Mass Transfer 48(2005)2625-2661.
- [15] M.Akbari,A.Behzadmehr,Developing laminar mixed convection of a nanofluid in a horizontal tube with uniform heat flux,Int.J.Num. Meth. Heat Fluid Flow ,in press.
- [16] A.Akbarinia,A.Behzadmehr, Numerical study of laminar mixed convection of a nanofluid in a horizontal curved tube ,Appl.Therm.Eng .27(2007)1327-1337
- [17] A .Behzadmehr ,M. Saffar-Avval,N. Galanis, Prediction of turbulent forced convection of a nanofluid in a tube with uniform heat flux using a two phase approach ,Int.J. Heat Fluid Flow 28 (2007)211- 219.
- [18]Abu Nada ,E.Effects of variable and themal conductivity of Algo-water nanofluid on heat transfer enhancement in natural convection Int.J. Heat Fluid Flow 30(2009)679-690.
- [19] Izadi,M., Behzadmehr,A.Jalali Vahida, D.Numerical study of developing laminar forced convection of a nanofluid in an annulus. Int J. Therm. Sci 48(2009) 2119 -2129.
- [20] R. Mokhtari Moghari, A. Akbarinia, M. Shariat, F.Talebi, R. Laur, Two phase mixed convection Algo-water nanofluid flow in an annulus, Int.J.Multiphase Flow 37(2011)585-595.
- [21] [9] M. peric, fttp://springer.de/cd/pub/technik/peric/pcol.f
- [22] Bianco , V., Manca, O, Nardini , S.. Numerical investigation on nanofluids
- Turbulent convection heat transfer inside a circular tube.Int.J.Therm.Sci.29(17-18)(2009).3632-3642.
- [23] Akbarinia, A.Laur .R. Investigation the diameter of solid particles affects on a laminar nanofluids FLOW in a curved tube using a two phase approach. Int. J. Heat Fluid Flow 30(4)(2009)706-714.
- [24] Mirmasoumi ,S., Behzadmehr ,A.Numerical study of laminar mixed convection of a nanofluid in a horizontal tube using two –phase mixture model.Appl. Therm.Eng ,28(2008a).717-727.
- [25] Mirmasumi.S.Behzadmehr, A. Effect of nanoparticles mean diameter on mixed convection heat transfer of a nanofluid in a horizontal tube.Int. J.Heat Fluid Flow 29(2008b)557-566
- [26] Manninen, M., Taivassalo ,V., Kallio,S.On the Mixture Model for multiphase Flow ,VTT Publications 288(1996) ,Technical Research Center of Finland.
- [27] Wang,B.X.,Zhou,L.P.,Peng,X.F.A fractal model for predicting the effective thermal conductivity of liquid with suspension of nanoparticles.Int.J.Heat Mass Trans.46(2003)2665-2672
- [28] R. K. Shah, and A. L. London. Laminar flow forced convection in ducts, Advances in Heat Transfer. eds. T. F. Irvine and J. P. Hartnett(1978) Academics Press, New York.