نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۹، شماره ۵، زمستان ۱۴۰۱، ص: ۶۹- ۸۴

J. Energy Conversion
Volume: 9, Issue: 5, 2023: 69–84

DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5

تحلیل عددی جریان و انتقال‌حرارت نانوسیال در یک مبدل حرارتی با آرایش‌های مختلف پره‌های آشفته‌ساز

میثم پویانیان[۱]، اشکان غفوری[۲،*]

۱- کارشناسی ارشد مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران،
*،۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران،

دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۸، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۱۰، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶

چکیده

تاثیر استفاده از پره‌های زاویه‌دار در یک مبدل حرارتی دایره‌ای شکل با استفاده از انواع مختلف نانوسیال، به صورت عددی مورد مطالعه قرار گرفته است. معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی با استفاده از روش حجم محدود حل شده است. دیواره لوله با شرایط مرزی شار حرارتی یکنواخت حرارت داده می‌شود. در این مطالعه از دو چیدمان مختلف جهت قراردادن پره زاویه‌دار(رو به جلو و رو به عقب) و عدد رینولدز در محدوده ۱۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ استفاده شده است. اثرات مختلف زوایای شیب و گام‌های آشفته‌ساز آجدار برای سه نوع نانوذره مختلف Al_2O_3، CuO و ZnO با کسرهای حجمی مختلف در بازه ۱ تا ۴ درصد و قطرهای مختلف نانوذره در محدوده ۲۰ تا ۵۰ نانومتر که در یک سیال پایه (آب) مخلوط شده اند، استفاده شده است. نتایج حل عددی نشان می دهد که چیدمان آشفته ساز آجدار رو به جلو با تعداد ۴ پره و تحت زاویه شیب ۹۰ درجه می‌تواند انتقال حرارت را تقریباً با ۷۷ درصد در پایین‌ترین زاویه شیب (۱۰ درجه) و بیشترین گام (۵۰ میلیمتر) بهبود بخشد. حداکثر ضریب اصطکاک، حدودا ۵/۷ برابر لوله صاف است و مقدار معیار ارزیابی عملکرد در بازه ۱/۳۴ تا ۱/۵۷ قرار دارد. همچنین مشخص گردیده است که نانو سیال Al_2O_3 بیشترین مقدار عدد ناسلت را دارا می‌باشد و پس از آن ZnO و CuO قرار دارند در حالیکه آب خالص کمترین عدد ناسلت را دارد. همچنین عدد ناسلت با کاهش قطر نانوذره و افزایش کسر حجمی نانوذرات افزایش می‌یابد، در حالیکه در قطرهای مختلف نانو ذرات Al_2O_3، ضریب اصطکاک تاثیر چندانی نمی‌گذارد.

* **عهده‌دار مکاتبات :** a.ghafouri@iauahvaz.ac.ir

کلمات کلیدی: آشفته ساز، نانوسیال، عدد ناسلت، ضریب اصطکاک، ضریب هدایت حرارتی

۱- مقدمه

طی دهه های اخیر، انتقال حرارت جابجایی اجباری در یک لوله با مقطع دایره ای مورد توجه بسیاری از محققین قرارگرفته است. امروزه، بسیاری از تکنیک های مهندسی برای افزایش نرخ انتقال حرارت از دیواره در مبدل های حرارتی برای کاهش اندازه و هزینه ساخت مبدل حرارتی با در نظر گرفتن نکات کاهش مصرف انرژی، مطرح و مورد استفاده قرار می گیرد. تکنیک‌های بهبود انتقال حرارت، به دو روش فعال و غیرفعال انجام می شود. روش‌های غیرفعال شامل قرار دادن آشفته‌ساز آجدار و نوارهای مارپیچی (پیچ خورده)، دستگاه‌های جریان آشفته یا چرخشی، وایر کویل و وایر کویل حلزونی در یک لوله با مقطع دایره‌ای است. بکارگیری آشفته ساز جهت بهبود انتقال حرارت یکی از این روش‌ها به منظور افزایش ضریب انتقال حرارت از

نحوه استناد به این مقاله: میثم پویانیان، اشکان غفوری. تحلیل عددی جریان و انتقال‌حرارت نانوسیال در یک مبدل حرارتی با آرایش‌های مختلف پره‌های آشفته‌ساز. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۱; ۹ (۵) :۶۹-۸۴.
DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

سطح جریان از طریق افزایش در حرکت آشفتگی است. اخیراً ، مفهوم جدیدی در افزایش نرخ انتقال حرارت با استفاده از پره یا درج نوارهای آجدار ، توسعه و مورد بررسی عددی قرار گرفته است. انتظار می‌رود که آشفته سازهای آجدار باعث ایجاد اختلاط سریع، تلاطم بالا و جریان ورتکس طولی شود [۱]. همه این روش ها از تکنیک‌های افزایش انتقال حرارت توسعه یافته و به طور گسترده‌ای برای چندین کاربرد صنعتی و مهندسی در مبدل حرارتی دو لوله ای همچون: نیروگاه، تهویه مطبوع، صنایع پتروشیمی، تبرید، صنایع فرآیندی، آبگرمکن خورشیدی، راکتورهای شیمیایی، مبدل های حرارتی پوسته و لوله و راکتور هسته ای استفاده می شود. طی چند سال اخیر، بهبود انتقال حرارت با استفاده از نانوسیالات مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و دانشمندان قرار گرفته است. محدودیت سیالات انتقال حرارت در صنایع مختلف به دلیل خصوصیات ترموفیزیکی و هدایت حرارتی ضعیف آنها باعث شده است که بهبود انتقال حرارت سیالات عامل به عنوان روش جدید انتقال حرارت پیشرفته مدنظر قرار گیرد به طوری که ایده پراکنده سازی ذرات جامد در سیالات که با ذرات میلی و میکرومتری آغاز شده بود و بعدها با استفاده از نانو ذرات جامد پیشرفت چشمگیری در افزایش ضریب انتقال حرارت هدایت صورت گرفت. امروزه نانو سیالات می توان به عنوان سیالاتی با قابلیت بالای انتقال حرارت جایگزین مناسبی برای سیالات معمولی (آب خالص، اتیلن گلیکول و روغن و ...) به شمار آورد. چندین پژوهش به این نتیجه رسیده اند که استفاده از نانوسیالات به طور موثر، ضریب هدایت حرارتی سیال را بهبود می بخشد که در نتیجه باعث افزایش عملکرد انتقال حرارت می گردد. مفهوم نانوسیال توسط چوی [۲] در سال ۱۹۹۵ ارائه گردید. نانوسیالات به دلیل پایداری بهتر و بهبود هدایت حرارتی حتی برای بخش کوچکی از نانوذرات معلق، آینده امیدوار کننده‌ای را نشان می دهد. از مزایای استفاده از نانوسیالات می توان به (الف) رسانایی گرمایی بالاتر از آنچه در مدل های ماکروسکوپی پیش بینی شده است (ب) پایداری عالی و (ج) توان پمپاژ به دلیل افت فشار و سایش دیواره لوله اشاره نمود. محققان انواع مختلفی از نانوذرات مانند ذرات فلزی (Cu، Al، Fe، Au و Ag) ، ذرات غیر فلزی (Al_2O_3، CuO، Fe_3O_4، TiO_2 و SiC) و نانولوله های کربنی را مورد آزمایش قرار دادند [۳-۴]. هدایت حرارتی نانوسیالات با توجه به اندازه، شکل و جنس نانوذرات که در سیالات پایه پراکنده شده اند، متفاوت است. مطالعات پیشین نشان داده است که نانوسیالات دارای خواص حرارتی افزایش یافته همچون هدایت حرارتی بالاتر و ضرایب انتقال حرارت همرفتی در مقایسه با سیال پایه هستند [۵].

اخیرا، اکثر محققان بهبود انتقال حرارتی بر عملکرد مبدل حرارتی را با استفاده از پره یا نوارهای آجدار به صورت تجربی و عددی مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. ایامسا و همکاران به طور تجربی تأثیر پره‌های آشفته ساز آجدار در یک مبدل حرارتی دو لوله ای بر روی انتقال حرارت و افت فشار تحت جریان آشفته را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که استفاده از آشفته سازهای آجدار منجر به افزایش نرخ انتقال حرارت در لوله صاف می شود[۶]. محمد و همکاران به بررسی عددی انتقال حرارت جابجایی جریان نانو سیال، در یک مبدل حرارتی دولوله‌ای با پره زاویه‌دار پرداختند. از نانوذرات مختلف با کسر حجمی که در محدوده ۱ درصد تا ۴ درصد و قطر نانوذرات در طیف های ۲۰ تا ۵۰ نانومتر، در یک سیال پایه استفاده کردند. نتایج نشان داد که آرایش پره زاویه‌دار رو به جلو می تواند انتقال حرارت در حدود ۳۶۷ درصد به ۴۱۱ درصد در بالاترین زاویه شیب ۳۰ درجه و کمترین گام ۳۰ میلیمتر حاصل گردد[۷]. سلمان و همکاران اثرات جریان نانوسیال آرام بر روی گام رو به عقب و گام رو به جلو بر روی مشخصات انتقال حرارت نشان دادند. نتایج نشان داد که بیشترین عدد ناسلت و ضریب اصطکاک را با استفاده از گام رو به جلو نسبت به گام رو به عقب بدست آوردند[۸]. بوداک و همکاران با قراردادن آشفته‌ساز در ورودی مبدل حرارتی دو لوله ای و چرخشی کردن جریان بهبود انتقال حرارت را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند[۹]. مرشد و همکاران انتقال گرمای هدایتی و جابجایی اجباری چند نوع نانوسیال مختلف را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش نتایج نشان‌دادند که این نانوسیال‌ها در مقایسه با سیالات معمولی دارای رسانندگی حرارتی و ویژگی‌های انتقال حرارت جابجایی بالاتری می‌باشند[۱۰]. قنبری و همکاران به شبیه‌سازی عددی تاثیر نانوسیال و قرارگرفتن پره‌های دایروی روی دیواره بیرونی لوله داخلی در مبدل دو لوله ای تحت جریان آشفته، پرداختند. نتایج نشان داد که افزودن پره‌های دایروی روی لوله داخلی موجب افزایش ۴ تا ۱۲ درصدی در انتقال حرارت می‌شود. همچنین اضافه کردن نانوذرات به آب با افزایش کسر حجمی باعث افزایش عدد ناسلت می‌شود با افزایش ارتفاع پره‌ها و کاهش گام آنها انتقال حرارت افزایش می‌یابد. استفاده از نانوسیال افت فشار را اندکی افزایش می‌دهد ولی کارایی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

حرارتی مبدل پره‌دار را بهبود می‌بخشد[۱۱]. ادا و همکاران برای مقایسه، آزمایشی با استفاده از آب به عنوان سیال پایه در مبدل حرارتی بدون وایرکویل نیز انجام دادند. در این تحقیق، ویژگی‌های انتقال حرارت جابجایی اجباری و افت فشار نانوسیال‌های آب Al_2O_3 در یک مبدل حرارتی دولوله ای با و بدون توربولاتور وایرکویل به طور تجربی بررسی کردند. در این آزمایش از کسر های حجمی ۰/۴-۰/۸ تا ۱/۲–۱/۶ را در محدوده عدد رینولدز از ۴۰۰۰ تا ۲۰،۰۰۰ انجام استفاده کردند. نتایج نشان داد با افزایش عدد رینولدز و کسر حجمی ذرات، عدد ناسلت متوسط افزایش یافته بود. علاوه بر این، افت فشار نانوسیال آب/ Al_2O_3 تقریباً برابر با آب خالص در همان محدوده عدد رینولدز بود. در نتیجه، نانوسیالات با کسر حجمی پایین تأثیر مهمی در تغییر افت فشار نشان ندادند. با این وجود، هنگام استفاده از وایرکویل در مبدل حرارتی، افت فشار و همچنین ضریب انتقال حرارت افزایش یافت[۱۲]. رامین مشایخی و همکاران یک مطالعه عددی از انتقال حرارت جابجایی نانوسیال آب/Al_2O_3 در یک کانال با مقطع بیضی با استفاده از مدل مخلوط دو فازی انجام دادند. کانال دارای دو ردیف آشفته ساز مارپیچی مخروطی شکل و جریان غیر همسو نسبت به یکدیگر و با سه ترکیب متفاوت از درج ها، در این مطالعه بررسی نمودند و همچنین اثر عدد رینولدز از ۲۵۰ تا ۱۰۰۰، کسر حجمی نانوسیال از ۱ تا ۳ درصد و آشفته ساز مخروطی شکل بر روی الگوهای جریان سیال و ویژگی‌های انتقال حرارت بررسی کردند. نتایج نشان داد که در میان سه ترکیب آشفته ساز مارپیچی مخروطی شکل، CCI-inward بصورت محلی بالاترین مقادیر ضریب انتقال حرارت را ارائه داد. که در حدود ۱۷ درصد بیشتر از لوله ساده می‌بود. همچنین مشخص شده است که تأثیر افزایش کسر حجمی نانوسیال بر عملکرد حرارتی کانال در مقادیر بالاتر عدد رینولدز قابل توجه است. با این حال، اختلاف افت فشار بین سه مدل ناچیز است[۱۳]. سی.جی. هو و همکاران بصورت مطالعه تجربی، عملکرد خنک‌سازی جریان نانوسیال اکسید آلومینیوم / آب در یک لوله مس گرم شده با شار حرارت ثابت بررسی کرده‌اند. آنها تأثیر پارامترهای همچون دما، کسر حجمی و غیره بر ضریب اصطکاک، عدد ناسلت، دما در دیواره داخلی لوله، دمای بالک سیالات و نسبت اثر بخشی انتقال حرارت بررسی نمودند. نتایج نشان داد که برای مقدار ثابت کسر حجمی نانوذرات، با افزایش دمای ورودی سیال، نسبت اثربخشی انتقال حرارت و شاخص مفید افزایش یافته است. علاوه بر این ، افزایش کسر حجمی نانوذرات باعث افزایش نسبت اثر بخشی انتقال حرارت می‌شود. حداکثر نسبت کارایی انتقال حرارت با استفاده از نانوسیال حاصل گردید[۱۴].

امروز، در کنار پروژه های کاربردی، تحلیل عددی از اهمیت ویژه برخودار است و از طرفی سرعت تولید ایده ها با استفاده از ابزاری که موجب کاهش هزینه های تحقیقات علمی می گردد، پیشرفت چشمگیری به خود دیده است. یکی از مزایای تحیلی عددی در دسترس بودن آن برای پژوهشگران الخصوص برای دانشجویانی که در حال پژوهش هستند و دسترسی به صنعت ندارند، می می توان اشاره کرد. علاوه بر آن، در برخی از مواقع هزینه انجام یک پژوهش به صورت تجربی به مراتب از شبیه سازی آن ایده کمتر می باشد. در کنار مزایای یاد شده، این روش معایبی در خود دارد از جمله معایبی که می توان به آن اشاره کرد، نداشتن آگاهی و تخصص لازم جهت استفاده از اینگونه نرم افزار ها می باشد. از دیگر معایب این روش عدم انطباق نتایج حاصله بر نتایج بدست آمده از مطالعات تجربی بدلیل عدم آگاهی و یا عدم تنظیم صحیح شرایط مرزی هندسه مورد نظر توسط کاربر نرم افزار، می باشد. در کل می توان گفت مزایای استفاده از این روش، معایب آن را پوشش و استفاده از آن را موجه می سازد.

۲- -فرضیات و معادلات حاکم

در این مطالعه، جریان بصورت تک فاز در مدل سازی نانو سیال استفاده می شود. لذا معادلات حاکم پیوستگی، مومنتوم و انرژی با استفاده از روش حجم محدود برای جریان سه بعدی استفاده شده است. معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی برای جریان سیال به صورت زیر آورده شده است [۱۵].

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

معادله پیوستگی:

$$\nabla.(\rho U) = 0 \qquad \rho = cte \tag{۱}$$

معادله مومنتم:

$$\rho U.\nabla U = -\nabla P + \nabla.(\mu_{dff}\nabla U) \qquad \rightarrow \quad \mu_{dff} = \mu + \mu_1 \tag{۲}$$

معادله بقای انرژی:

$$\rho c_p U.\nabla T = \nabla.(\lambda_{eff}\nabla T) \qquad \rightarrow \quad \lambda_t = c_p \mu_t I \sigma_T \ , \ \lambda_{eff} = \lambda + \lambda_t \tag{۳}$$

انرژی جنبشی آشفتگی k

$$\rho \frac{\partial k u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_i} + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) - \rho\varepsilon \tag{۴}$$

پراکنش آشفتگیε

$$\rho \frac{\partial(\varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\mu + \frac{\mu_I}{\sigma_5}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} + \mu_t\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) - c_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \tag{۵}$$

که در آن μ_t ویسکوزیته آشفتگی است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\mu_I = \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon} \tag{۶}$$

در معادلات (۱) تا (۶)، ρ، U، T، P، μ_{eff}، λ_{eff}، ε، k، به ترتیب چگالی، سرعت، دما، فشار، ظرفیت گرمایی ویژه، ویسکوزیته موثر، هدایت حرارتی موثر، پراکنش آشفتگی و نیروی جنبشی آشفتگی موثر هستند. در مدل آشفتگی، c_1، c_2، σ_k، $\varepsilon\sigma$ و c_μ مقادیر ثابت هستند(c_1=۱,۴۴، c_2=۱,۹۲، σ_k=۱,۰، $\varepsilon\sigma$ = ۱,۳ و c_μ=۰,۰۹).

۱-۲- روابط حاکم بر خواص آب (سیال پایه)

در این پژوهش برای بدست آوردن خواص سیال پایه (آب)، چگالی، ظرفیت گرمایی ویژه، ضریب هدایت حرارتی و ویسکوزیته از رابطه های پیشنهادی (۷) تا (۱۴) قابل محاسبه می باشند[۱۶] :

چگالی آب

$$\rho = 1000 \times \left[1 - \frac{(T_w - 4)^2}{119000 \times 1365 \times T_w - 4 \times (T_w)^2}\right] \tag{۷}$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

ظرفیت گرمایی ویژه آب

$$c_w = 4217.629 - 3.20888 \times T_w + 0.09503 \times (T_w)^2 - 0.00132 \times (T_w)^3 + 9.415e\text{-}6 \times (T_w)^4 - 2.5479e - 8 \times (T_w)^5 \quad (۸)$$

ضریب هدایت گرمایی آب

$$k_w = 0.56112 + 0.00193 \times T_w - 2.60152749e - 6 \times (T_w)^2 - 6.08803e - 8 \times (T_w)^3 \quad (۹)$$

لزجت سیال آب

$$\mu = 0.00169 - 4.25263\, e - 5 \times T_w + 4.9255e\text{-}7 \times (T_w)^2 - 2.09935e - 9 \times (T_w)^3 \quad (۱۰)$$

۲-۲- روابط حاکم بر خواص نانو سیال

خواص ترموفیزیکی نانوسیال شامل لزجت و ظرفیت گرمایی ویژه از مدل مخلوط به شرح زیر استفاده شده است[۱۶-۱۷]:

چگالی نانوسیال

$$\rho_{nf} = \varphi\rho_p + (1-\varphi)\rho_w \quad (۱۱)$$

ظرفیت گرمایی ویژه نانوسیال

$$c_{nf} = \frac{(1-\emptyset)(\rho c)_w + \emptyset(\rho c)_p}{(1-\emptyset)\rho_w + \emptyset\rho_p} \quad (۱۲)$$

ضریب هدایت گرمایی نانوسیال

$$k_{nf} = k_w 0.8938 \left[1+\frac{\emptyset}{100}\right]^{1.37} \left[1+\frac{T_{nf}}{70}\right]^{0.2777} \left[1+\frac{d_p}{150}\right]^{-0.0336} \left[\frac{\alpha_p}{\alpha_w}\right]^{0.01737} \quad (۱۳)$$

معادله لزجت سیال

$$\mu_{nf} = \mu_w \left[1+\frac{\emptyset}{100}\right]^{11.3} \left[1+\frac{T_{nf}}{70}\right]^{-0.038} \left[1+\frac{d_p}{170}\right]^{-0.061} \quad (۱۴)$$

خواص نانوذرات در جدول (۱) آورده شده است.

در این پژوهش برای بدست آوردن خواص نانوسیال Al_2O_3 برای کسر حجمی ۴ درصد و قطر ۲۰ نانومتر چگالی، ظرفیت گرمایی ویژه، ویسکوزیته و ضریب هدایت حرارتی رابطه های پیشنهادی که در آن T میانگین دمای ورودی و خروجی به لوله مبدل استفاده شده به ترتیب به صورت زیر هستند

$$\rho = -0.003460893623T^2 + 1.801570552T + 871.7062355 \quad (۱۵)$$

$$C_P = -0.0001139675369T^3 + 0.1153778881T^2 - 38.77171516T + 8056.890381 \quad (۱۶)$$

$$\mu = 0.0000003100780149T^2 - 0.0002150295544T + 0.0379105236 \quad (۱۷)$$

$$K = -0.000014843380006T^2 + 0.01272153234T - 1.802500054 \quad (۱۸)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

جدول (۱): خواص ترموفیزیکی آب و نانوذرات مختلف در T =۳۰۰ K [۱۸]

نوع ماده	چگالی (kg/m^3)	ضریب گرمای ویژه $\left(\frac{j}{kg.k}\right)$	لزجت $(pa.s)$	ضریب هدایت $\left(\frac{w}{m^2.k}\right)$
آب	۲.۹۹۸	۴۱۸۲	۰,۰۰۱	۰,۶
CuO	۶۵۰۰	۵۳۵,۶	--	۲۰
ZnO	۵۶۰۰	۴۹۵,۲	--	۱۳
Al_2O_3	۳۶۰۰	۷۶۵	--	۳۶

۳-۲- بررسی اعتبار سنجی

در این مطالعه، به منظور اعتبار سنجی، نتایج بدست آمده از پژوهش حال حاضر را با نتایجی که از دیواره لوله صاف در حالت مغشوش که از رابطه گلینسکی [۱۵] برای عدد ناسلت و از رابطه فلیننکو [۱۵] برای ضریب اصطکاک بدست آمده است، مورد مقایسه قرار گرفته است. رابطه گلینسکی در رابطه (۱۹) و رابطه فلیننکو در رابطه (۲۰) آورده شده است.

$$Nu_{av} = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re-1000)Pr}{1+12.7\left(\frac{f}{8}\right)^{0.5}\left(Pr^{\left(\frac{2}{3}\right)}-1\right)} \qquad \begin{cases} 0.5 \le Pr \le 2000 \\ 3000 \le Re \le 5\times 10^6 \end{cases} \tag{۱۹}$$

$$f = [1.82\ln(Re) - 1.64]^{-2} \qquad 10^4 \le Re \le 5\times 10^6 \tag{۲۰}$$

۳-۴- معیار ارزیابی عملکرد

همچنین باتوجه به اثر دوگانه میدان بر رفتار ترموهیدرولیکی‌سیستم، از مفهوم معیار ارزیابی عملکرد که در بردارنده همزمان اثر ضریب انتقال حرارت و ضریب اصطکاک است، استفاده شده است در رابطه معیار ارزیابی عملکرد (۲۳) آورده شده است اندیس s بیانگر حالت بدون اثر آشوبگر و کسر حجمی نانوسیال می‌باشد[۱۹-۲۰].

$$\mathrm{Nu} = \frac{\sum_{i=1}^{10}\frac{\mathrm{Dh}}{\mathrm{K}}\frac{\ddot{q}}{\mathrm{T_w}-\mathrm{T_{in}}}}{10} \tag{۲۱}$$

$$\mathrm{f} = \frac{\Delta \mathrm{P} \mathrm{D_h}}{\frac{1}{2}\rho \mathrm{V}^2 \mathrm{L}} \tag{۲۲}$$

$$\mathrm{PEC} = \frac{\left(\mathrm{Nu}/\mathrm{Nu_s}\right)}{\left(\mathrm{f}/\mathrm{f_s}\right)^{\frac{1}{3}}} \tag{۲۳}$$

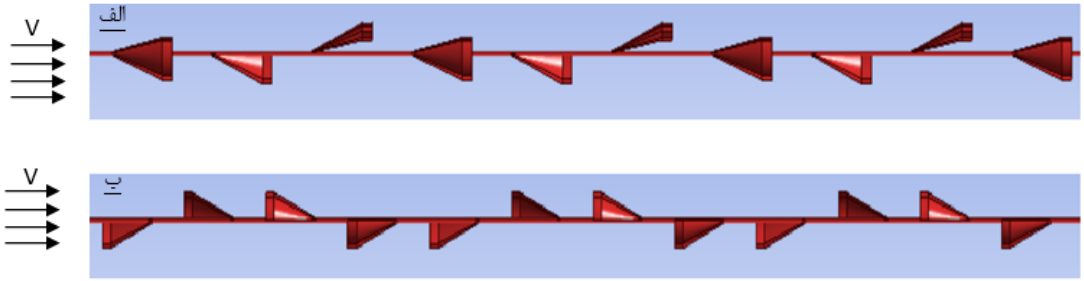
۳- هندسه و شرایط مرزی

هندسه مورد استفاده در مطالعه حال حاضر، یک مبدل حرارتی با آرایش مختلف پره‌های زاویه‌دار روی میله مرکزی، که در شکل (۱) نشان داده شده، تشکیل شده است. دیواره لوله (قسمت تست) از صفحات آلومینیوم با ارتفاع ۱۹/۶ میلیمتر و طول ۵۰۰ میلیمتر طراحی شده است. همچنین ناحیه توسعه یافته به طول ۵۰۰ میلیمتر جهت ایجاد جریان توسعه‌یافته به ابتدای

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

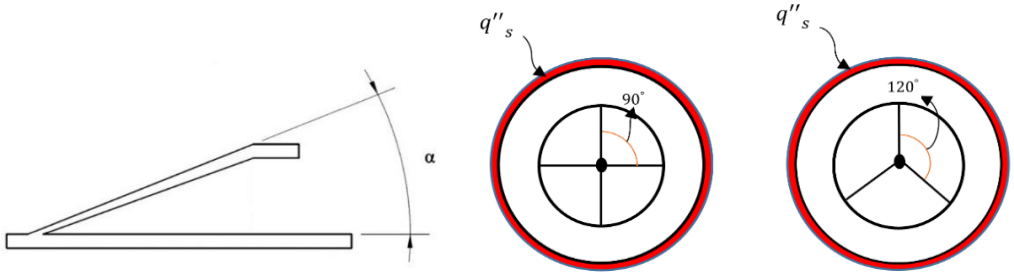
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

لوله به صورت کاملا عایق شده اضافه شده است. دیواره لوله تحت شرایط شار حرارتی یکنواخت، که توسط صفحات گرمکن با شار حرارتی ۲۰۰۰۰۰ وات/ متر مربع ایجاد شده، قرار گرفته است.

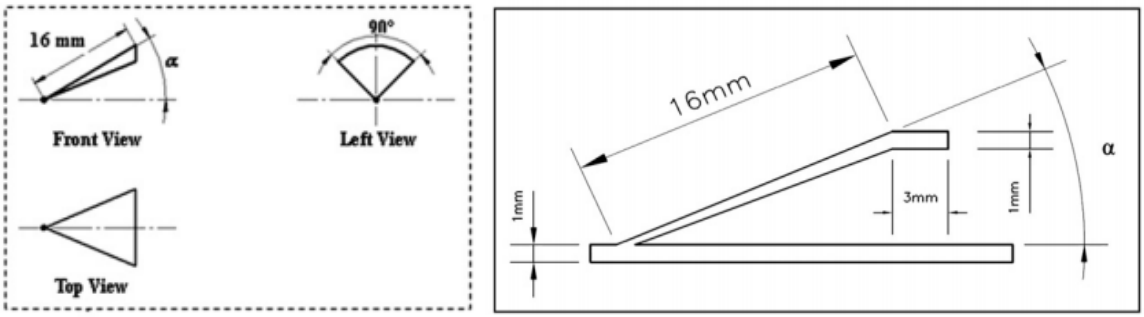


شکل(۱): شکل آشفته ساز (الف) رو به جلو (ب) رو به عقب

همچنین لوله‌های پره‌دار از آرایش رو به جلو و عقب با طول ۱۶ میلیمتر و دامنه ۳ میلیمتر تشکیل شده است. شماتیک یکی از هندسه‌های مورد بحث در این مطالعه، در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است.



شکل(۲): شکل آشفته ساز در نمای سه بعدی

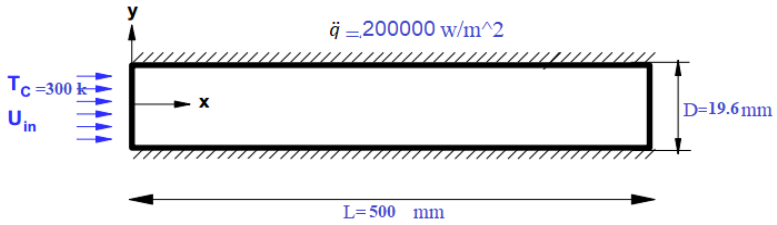


شکل(۳): مشخصات آشفته ساز

از هندسه سه بعدی برای شبیه‌سازی استفاده شده است و مش‌بندی آن نیز به صورت بی‌سازمان می باشد. یک جریان کاملا توسعه‌یافته نانوسیال با عدد رینولدز ۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰، ۲۰۰۰۰، ۲۵۰۰۰ و ۳۰۰۰۰ از داخل لوله عبور داده شده و خروجی لوله در فشار محیط در نظر گرفته می‌شود. جریان مورد بررسی بصورت تراکم‌ناپذیر، پایا، نیوتنی و مغشوش و نانوسیال بصورت تک فازی و همچنین ویژگی‌های ترموفیزیکی برای نانوسیال ثابت درنظر گرفته می‌شود. فرض می‌شود تمامی دیواره‌ها بصورت ثابت و با فرض عدم لغزش در نظر گرفته خواهند شد، سرعت و دمای ورودی معلوم می‌باشد دیواره‌های لوله تحت شار حرارتی ثابت W/m^2 ۲۰۰۰۰۰ هستند. همچنین با استفاده از مدل k-ε در حالت آر.ان.جی جهت مدل‌سازی جریان مغشوش استفاده شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

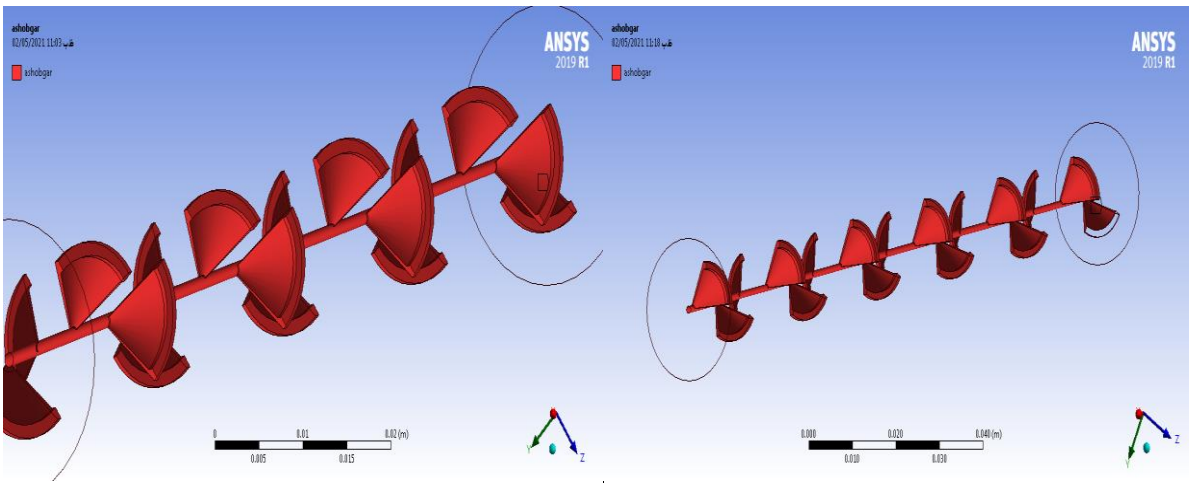
برای مرز خروجی نیز شرط مرزی فشار نسبی صفر در نظر گرفته می‌شود. شرایط مرزی هندسه لوله به همراه آشفته‌ساز در شکل (۴) به نمایش درآمده است.



شکل(۴): شرایط مرزی هندسه مورد نظر

در این مقاله، هندسه مورد بررسی یک لوله با دو چیدمان مختلف جهت قراردادن پره زاویه‌دارکه بصورت ۴ پره و ۳ پره روبه جلو و عقب می باشد و این هندسه در نرم‌افزار انسیس- فلوئنت تولید و شبکه‌بندی شده است. در شکل (۵) هندسه آن نشان داده شده است.

(ب) (الف)



شکل (۵): نمای هندسه طراحی شده (الف) چهار پره ۹۰ درجه (ب) ۳ پره ۱۲۰ درجه

۴- نتایج و بحث

به طور کلی در این مقاله، هندسه مورد بررسی لوله با پره‌های زاویه‌دار که بصورت ۴ پره و ۳ پره روبه جلو و عقب می باشد و این هندسه در نرم‌افزار انسیس- فلوئنت تولید و شبکه‌بندی شده است. کیفیت شبکه استفاده شده در مطالعه حال حاضر، تعداد آن و اثرش بر روی جواب نهایی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شبکه بندی نشان داد اختلاف شبکه‌بندی دهم و یازدهم کمتر از ۱ درصد می باشد. لذا از شبکه دهم با تعداد ۲۹۹۷۰۸۸ سلول استفاده شده است.

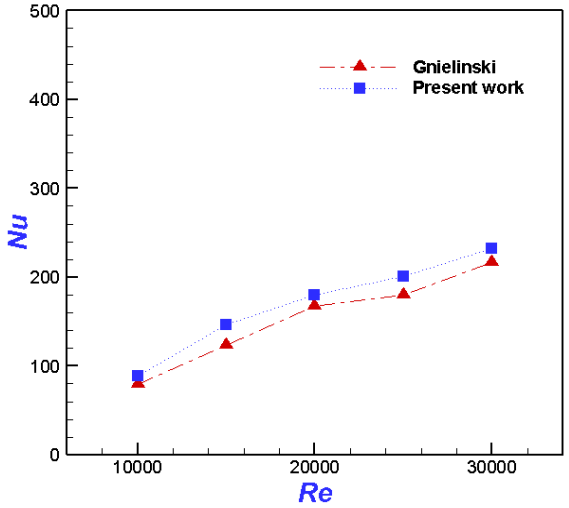
۴-۱- اعتبار سنجی نتایج

به منظور تعیین صحت و دقت نتایج حاصل شده در این مطالعه، مستلزم مقایسه ای این مطالعه با نتایج پژوهش ها و مطالعات مورد اطمینان پیشین صورت گیرد که این کار موجب می شود به پژوهش پیشین رو اعتبار بخشید. نتایج بدست آمده از پژوهش حال حاضر را با نتایجی که از دیواره لوله صاف در حالت مغشوش با استفاده از رابطه گلینسکی [۱۵] برای عدد ناسلت و از رابطه

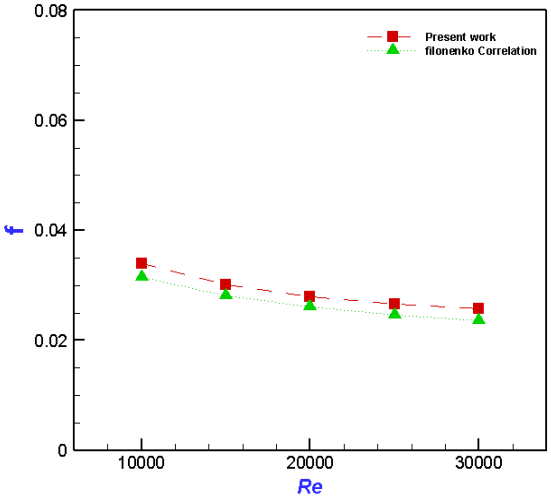
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

فلیننکو [۱۵] برای ضریب اصطکاک بدست آمده است، مقایسه شده است. نتایج بدست آمده طبق شکل‌های (۶) و (۷) برای عدد ناسلت در حدود ۱۱ درصد و برای ضریب اصطکاک حدود ۷ درصد اختلاف دارد.



شکل(۶): نمودار مقایسه عدد ناسلت کار حاضر با رابطه گلینسکی [۱۵]

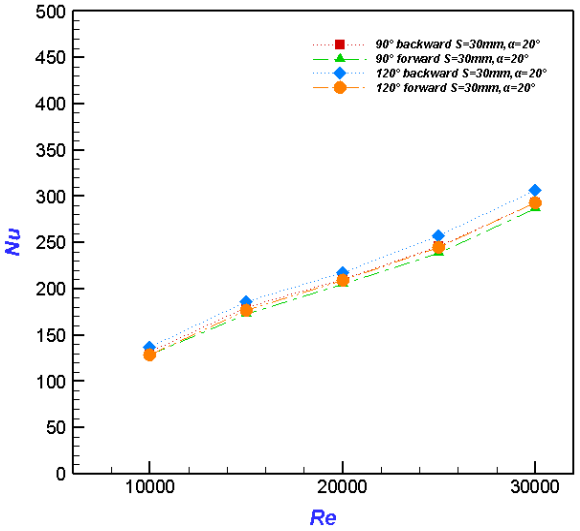


شکل (۷): نمودار مقایسه ضریب اصطکاک کار حاضر با رابطه فلیننکو [۱۵]

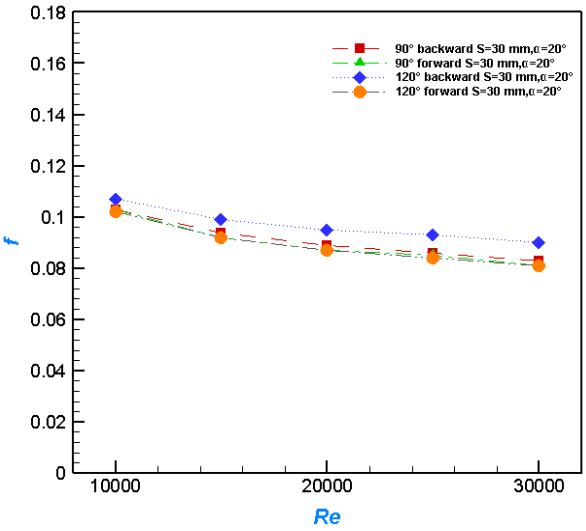
۲-۴- بررسی عدد رینولدز بر جریان درون لوله به همراه آشفته‌ساز

شکل (۸) تا (۱۰) نمودار تاثیر عدد رینولدز بر عدد ناسلت، ضریب اصطکاک و معیار ارزیابی عملکرد در عدد رینولدز مختلف آورده شده است. در لوله میزان عدد رینولدز در محدوده ۱۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ و گام ۳۰ میلی متر و زاویه شیب ۲۰ درجه در نظر گرفته شده است. همان طور که از شکل (۸) مشاهده می‌شود با افزایش عدد رینولدز از ۱۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ عدد ناسلت در حدود ۱۴۰ درصد افزایش یافته است که این امر به دلیل وجود نانوذرات که باعث بهبود هدایت حرارتی می شود و از سوی دیگر موجب افزایش ویسکوزیته سیال می گردد. همچنین مطابق این شکل، آرایش پره رو به عقب در زاویه ۱۲۰ درجه دارای بیشتر عدد ناسلت می باشد. شکل (۹) نشان می دهد که با افزایش عدد رینولدز باعث کاهش۳۲ درصدی ضریب اصطکاک می‌شود. از دیدگاه فیزیکی تنش برشی بدلیل افزایش عدد رینولدز که موجب آن باعث نازک شدن زیر لایه آرام می شود، افزایش می یابد و از طرفی این امر به نوبه خود باعث افزایش افت فشار خواهد شد. بنابراین با افزایش رینولدز، ضریب اصطکاک کاهش می یابد. دلیل این امر این است که طبق رابطه ضریب اصطکاک $f = \frac{\Delta P D_h}{\frac{1}{2}\rho V^2 L}$ فاکتور اصطکاک به سرعت متوسط سیال به توان ۲ بستگی دارد. از طرفی، با افزایش لزجت باعث افزایش غلظت نانو سیال و در نتیجه باعث افزایش ضریب اصطکاک می گردد. معیار ارزیابی عملکرد حرارتی، برای بررسی همزمان افزایش انتقال حرارت و افت فشار می توان استفاده کرد که تعریف آن مطابق رابطه (۲۳) می باشد. نسبت بالاتر از یک نشان دهنده بهینه تر بودن سیستم مورد نظر می باشد و در مواردی که از یک بزرگتر است از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد. شکل (۱۰) معیار ارزیابی عملکرد را نشان می دهد با افزایش عدد رینولدز ابتدا روند کاهشی دارد و سپس روند افزایشی به خود می‌گیرد، که با توجه به نتایج بدست آمده در عدد رینولدز ۱۰۰۰۰ میزان کارایی بهترین حالت می‌باشد.

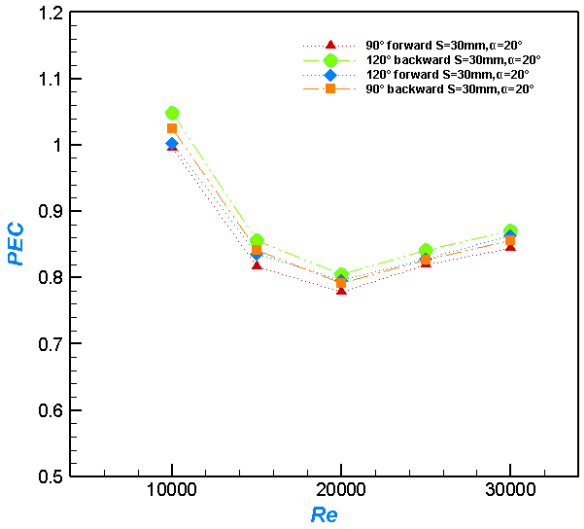
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]



شکل (۸): نمودار تاثیر رینولدز بر عدد ناسلت



شکل (۹): نمودار تاثیر عدد رینولدز بر ضریب اصطکاک



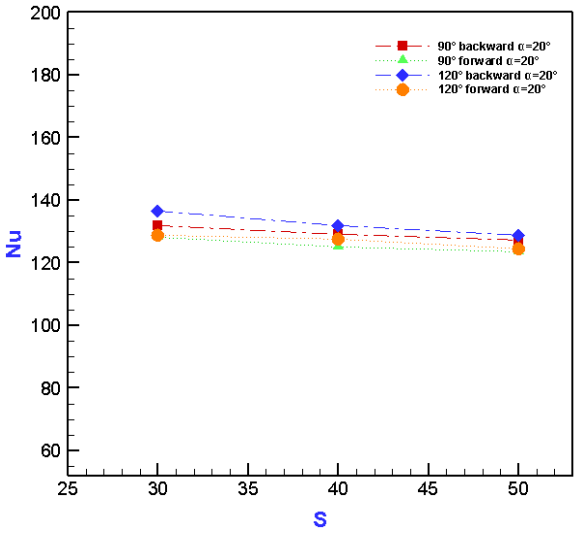
شکل (۱۰): نمودار تاثیر رینولدز بر معیار ارزیابی عملکرد (PEC)

۳-۴- بررسی گام آشفته‌ساز

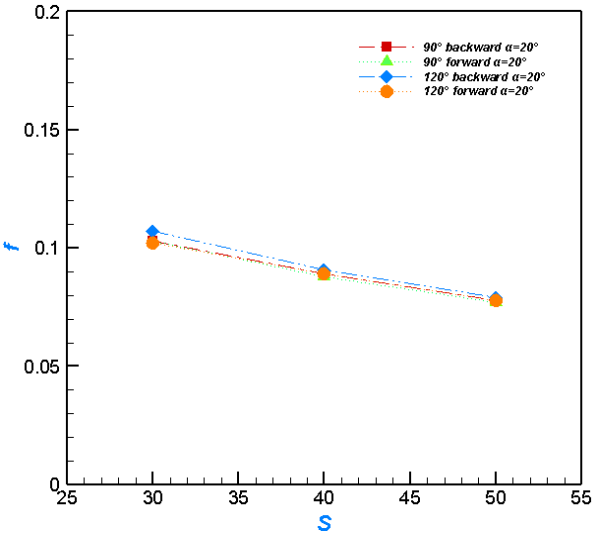
شکل (۱۱) تا (۱۳) نمودار تاثیر گام آشفته‌ساز بر عدد ناسلت، ضریب اصطکاک و معیار ارزیابی عملکرد آورده شده است. در لوله میزان عدد رینولدز ۱۰۰۰۰، زاویه شیب ۲۰ درجه و آب خالص در نظر گرفته شده است. همانطور که از شکل (۱۱) قابل مشاهده است، با افزایش گام آشفته‌ساز عدد ناسلت در حدود ۱۱درصد کاهش می‌یابد. با نگاه دقیق تر به نتایج می توان گفت زمانی که از نوارهای آشفته ساز استفاده می شود با افزودن نانوذرات و با افزایش عدد رینولدز ضریب انتقال حرارت جابجائی نیز افزایش یافته است. در شکل (۱۲) تاثیر ضریب اصطکاک مورد بررسی قرارگرفته است. ضریب اصطکاک نیز ۳۹ درصد کاهش می‌یابد. معیار ارزیابی عملکرد(مطابق شکل (۱۳)) با افزایش گام آشفته‌ساز روند افزایشی دارد و میزان افزایش آن نیز در حدود ۵ درصد می‌باشد. نتیجه این است که با افزایش گام کارایی لوله افزایش پیدا کرده است علت افزایش آن را باید درکاهش ضریب اصطکاک دانست.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

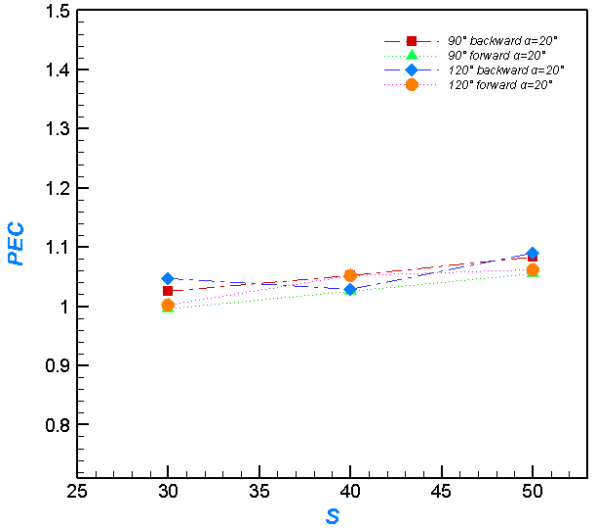
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]



شکل (۱۱): نمودار تاثیر گام آشفته‌ساز بر عدد ناسلت



شکل (۱۲): نمودار تاثیر گام آشفته‌ساز بر ضریب اصطکاک



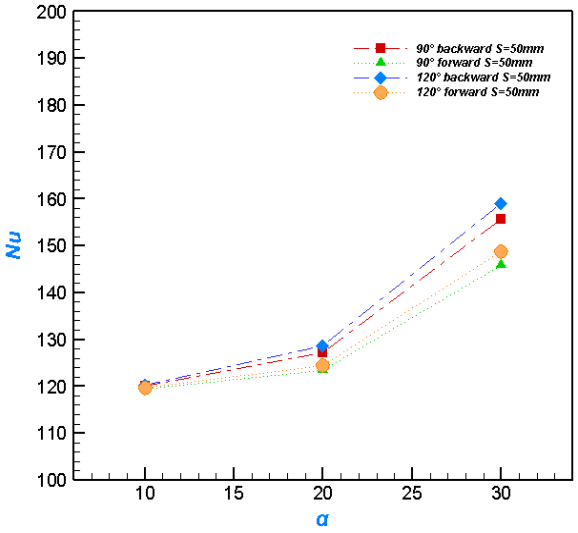
شکل (۱۳): نمودار تاثیر گام آشفته بر معیار ارزیابی عملکرد (PEC)

۴-۴- بررسی پارامتر هندسی زاویه آشفته‌ساز(α)

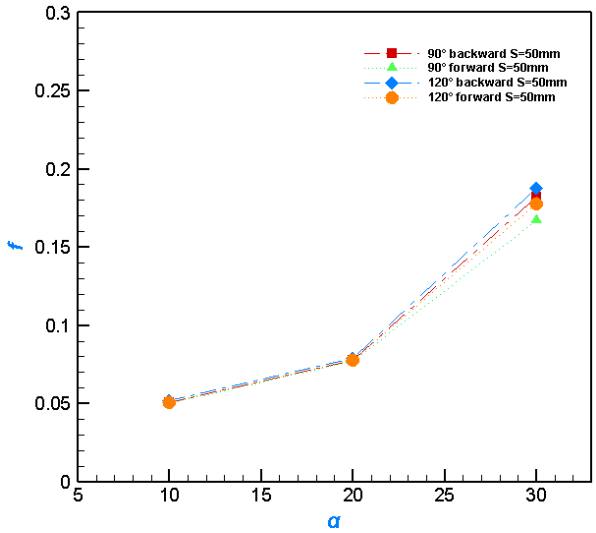
شکل (۱۴) تا (۱۶) بررسی اثر پارامتر هندسی زاویه پره‌های آشفته‌ساز در دو چیدمان رو به جلو[1] و رو به عقب[2] به صورت ۴پره (۹۰ درجه) و ۳ پره (۱۲۰ درجه) در لوله پرداخته شده است. در لوله عدد رینولدز به میزان ۱۰۰۰۰ و گام ۵۰ میلی متر و سیال آب خالص در نظر گرفته شده است. با افزایش پارامتر هندسی زاویه پره‌های آشفته‌ساز از ۱۰ به ۳۰ درجه عدد ناسلت با توجه به شکل (۱۴) در همه حالت‌ها از ۱۳ درصد تا ۳۳ درصد بستگی به نوع چیدمان، افزایش می‌یابد. علت آن در کاهش ضخامت لایه مرزی می‌باشد با افزایش پارامتر هندسی زاویه آشفته‌ساز ارتفاع لایه مرزی کنار دیواره کوچکتر شده و گرادیان دما افزایش می‌یابد و همین عامل باعث افزایش عدد ناسلت با افزایش پارامتر هندسی زاویه آشفته ساز شده است با افزایش اغتشاش جریان در اثر افزایش پارامتر هندسی زاویه آشفته سازمیزان عدد ناسلت افزایشی شده است. واضح است که آرایش چیدمان روبه جلو نسبت به چیدمان روبه عقب از عدد ناسلت کمتری برخوردار می‌باشد.

[1] Forward
[2] Backward

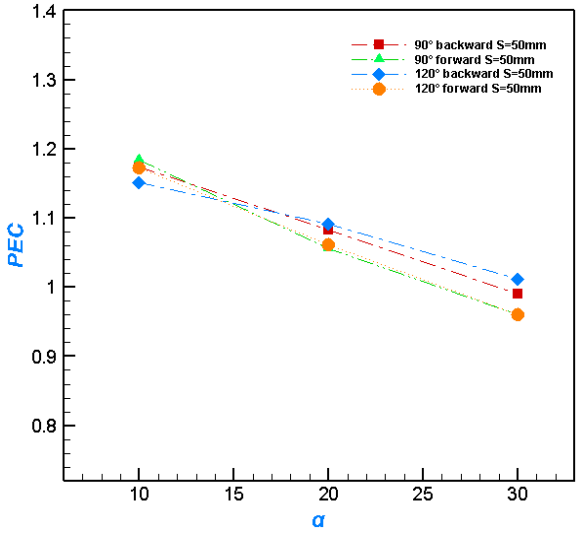
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]



شکل (۱۴): نمودار تاثیر زاویه آشفته‌ساز بر عدد ناسلت



شکل (۱۵): نمودار تاثیر زاویه آشفته‌ساز بر ضریب اصطکاک



شکل (۱۶): نمودار تاثیر زاویه آشفته بر معیار ارزیابی عملکرد (PEC)

شکل های (۱۵) و (۱۶) تاثیر پارامتر هندسی زاویه آشفته‌ساز بر ضریب اصطکاک و معیار ارزیابی عملکرد آورده شده است. همانطور در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود با افزایش پارامتر زاویه آشفته‌ساز ضریب اصطکاک در حدود ۴ برابر افزایش یافته و با تغییر از حالت ۳ پره به حالت ۴ پره ضریب اصطکاک روند کاهشی دارد و با تغییر از چیدمان روبه جلو به چیدمان رو به عقب نیز روند کاهشی دارد. معیار ارزیابی عملکرد (مطابق شکل۱۶) نیز با افزایش زاویه آشفته‌ساز روند کاهشی دارد و میزان کاهش آن نیز در حدود ۲۰ درصد می باشد و حالت رو به عقب از حالت رو به جلو دارای کارایی بهتری بوده و حالت ۳ پره نیز از حالت ۴پره نیز کارایی بهتری دارد با توجه به بررسی‌های انجام شده زاویه ۱۰ درجه کارایی بهتری دارد.

۵-۴- بررسی نوع نانوسیال

در این بخش به بررسی نوع نانوسیال در لوله پرداخته شده است. لوله با زاویه پره ۱۰ درجه، گام ۵۰ میلیمتری، عدد رینولدز۱۰۰۰۰ و در هندسه رو به جلو ۹۰ درجه مورد تحلیل قرار گرفته است. جدول (۲)، نتایج تاثیر سه ترکیب مختلف از نانوسیال بر عدد ناسلت، ضریب اصطکاک و معیار ارزیابی عملکرد آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با نانوسیال اکسید آلومینیم نسبت به اکسید مس و روی هم عدد ناسلت بالاتر و هم کارایی بالاتری دارد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

جدول (۲): نتایج تاثیر سه ترکیب مختلف از نانوسیال

نوع نانوسیال	Nu_{av}	f	PEC
آب/Al_2O_3	۱۵۷/۸۵	۰/۰۵۳۷	۱/۵۲۳
آب/ZnO	۱۴۴/۳	۰/۰۵۳۶	۱/۴
آب/CuO	۱۴۳/۴	۰/۰۵۳۴	۱/۳۸

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تاثیر استفاده از پره‌های زاویه‌دار در یک مبدل حرارتی با مقطع دایره‌ای با استفاده از انواع مختلف نانوسیال، به صورت عددی پرداخته شد و پارامترهای همچون کسر حجمی نانوذرات که در پنج کسر حجمی ۱ تا ۴ درصد، قطر نانوذرات که در قطرهای ۲۰ تا ۵۰ نانومتر و در سه نانوذره مختلف لحاظ گردید. همچنین جمع بندی نتایج بدست آمده از حل عددی جریان سیال در رژیم جریان آشفته درون لوله پرداخته شده است و خلاصه‌ای از عوامل موثر برپارامترهای مختلف جریان از قبیل عدد ناسلت، ضریب اصطکاک و معیار ارزیابی عملکرد آورده شده است.

عمده تغییرات عدد ناسلت و ضریب اصطکاک و معیار ارزیابی عملکرد در اثر تغییر پارامترهای هندسی هستند در ادامه به بررسی هر کدام از پارامترها و نتایج کلیدی به دست آمده در پژوهش حاضر، پرداخته می‌شود.

۱) با افزایش پارامتر زاویه پره‌های آشفته‌ساز از ۱۰ تا ۳۰ درجه، ضریب اصطکاک در حدود ۴ برابر افزایش یافته و با تغییر از حالت ۳ پره به حالت ۴ پره ضریب اصطکاک روند کاهشی دارد و با تغییر از چیدمان روبه جلو به چیدمان رو به عقب نیز روند کاهشی دارد. معیار ارزیابی عملکرد نیز با افزایش زاویه آشفته‌ساز روند کاهشی دارد و میزان کاهش آن نیز در حدود ۲۰ درصد می باشد و چیدمان رو به عقب از چیدمان رو به جلو دارای کارایی بهتری بوده و حالت ۳ پره نیز از حالت ۴پره نیز کارایی بهتری دارد با توجه به بررسی‌های انجام شده زاویه ۱۰ درجه کارایی بهتری دارد.

۲) با افزایش گام آشفته‌ساز از ۳۰ تا ۵۰ میلیمتر ، عدد ناسلت در حدود ۱۱درصد کاهش می یابد و ضریب اصطکاک نیز ۳۹ درصد کاهش می‌یابد. معیار ارزیابی عملکرد با افزایش گام آشفته ساز روند افزایشی دارد و میزان افزایش آن نیز در حدود ۵ درصد می‌باشد. نتیجه این است که با افزایش گام کارایی لوله افزایش پیدا کرده است, علت افزایش آن را باید درکاهش ضریب اصطکاک دانست.

۳) با افزایش عدد رینولدز از ۱۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰، عدد ناسلت در حدود ۱۴۰ درصد افزایش می یابد ولی افزایش عدد رینولدز باعث کاهش۳۲ درصدی ضریب اصطکاک می‌شود و معیار ارزیابی عملکرد با افزایش عدد رینولدز ابتدا روند کاهشی دارد و سپس روند افزایشی به خود می‌گیرد که با توجه به نتایج بدست آمده در عدد رینولدز ۱۰۰۰۰ میزان کارایی بهترین حالت می‌باشد.

۴) با افزایش کسر حجمی از ۱ تا ۴ درصد، عدد ناسلت در حدود ۱۸ درصد افزایش می‌یابد ولی با افزایش درصد نانو سیال تغییر محسوسی بر ضریب اصطکاک نداشته است و معیار ارزیابی عملکرد با افزایش کسر حجمی روند افزایشی دارد و میزان افزایش آن نیز در حدود ۱۵ درصد می‌باشد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

فهرست علائم و نمادها

C_P	ظرفیت گرمایی ویژه $(J\,kg^{-1}K^{-1})$
d	قطر نانوذره (nm)
k	ضریب هدایت حرارتی $(W\,m^{-1}K^{-1})$
Nu	عدد ناسلت، $Nu=qL/k_f\Delta T$
Pe	عدد پکله، $Pe=u_s d_s/\alpha_f$
Pr	عدد پرانتل، $Pr=\nu_f/\alpha_f$
Re	عدد رینولدز، $Re=U_m L/\nu_f$
S	گام (mm)
T	دما (°C)
q	نرخ انتقال حرارت (W/m)
α	زاویه شیب پره (درجه)
L	طول لوله (mm)
N	عدد آووگادرو (-)
P	فشار $(N/m2)$

فهرست علائم یونانی

α	نفوذ حراتی سیال $(m2\,s^{-1})$
μ	گرانروی دینامیکی $(Kg\,ms^{-1})$
ν	گرانروی سینماتیک (m^2s^{-1})
ρ	چگالی $(kg\,m^{-3})$
φ	کسر حجمی نانوذرات (-)

مراجع

[1] S. Eiamsa-ard, S. Pethkool, C. Thianpong, P. Promvonge, Turbulent flow heat transfer and pressure loss in a double pipe heat exchanger with louvered strip inserts, International Communications in Heat and Mass Transfer 35 (2008) 120–129.

[2] S.U.S. Choi, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, in: D.A. Signer, H.P. Wang (Eds.), Developments Applications of Non-Newtonian Flows, FED-vol. 231/MD, 66, 1995, pp. 99–105.

[3] H. Masuda, A. Ebata, K. Teramae, N. Hishinuma, Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of c-Al_2O_3, SiO_2 and TiO_2 ultra-fine particles), Netsu Bussei (Japan) 4 (1993) 227–233.

[4] S. Lee, S.U.S. Choi, S. Li, J.A. Eastman, Measuring thermal conductivity of fluid containing oxide nanoparticles, Journal of Heat Transfer 121 (1999) 280–289.

[5] R. Saidur, S.N. Kazi, M.S. Hossain, M.M. Rahman, H.A. Mohammed, A review on the performance of nanoparticles suspended with refrigerants and lubricating oils in refrigeration systems, Renewable & Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 310–323.

[6] S. Eiamsa-ard, S. Pethkool, C. Thianpong, P. Promvonge, "Turbulent flow heat transfer and pressure loss in a double pipe heat exchanger with louvered strip inserts", International Communications in Heat and Mass Transfer 35 No (2008) 120–129.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

[7] H.A. Mohammed, Husam A. Hasan, M.A. Wahid. Heat transfer enhancement of nanofluids in a double pipe heat exchanger with louvered strip inserts. International Communications in Heat and Mass Transfer 40 (2013) 36–46.

[8] A.Sh. Kherbeet, H.A. Mohammed, B.H. Salman, Hamdi, E. Ahmed, Omer,A. Alawi, M.M. Rashidi, Experimental study of nanofluid flow and heat transfer over microscale backward- and forward-facing steps, Exp. Therm. Fluid Sci. 65 (2015) 13–21.

[9] N. Budak, H. Yucel, Z. Argunhan. Experimental and Numerical Investigation of the Effect of Turbulator on Heat Transfer in a Concentric-type Heat Exchanger, Experimental Heat Transfer, Vol. 29, No. 3, pp. (2016) 322-336.

[10] Sohel Murshed., C.A.Nieto de Castro., (2016), "Conduction and convection heat transfer characteristics of ethylene glycol based nanofluids – A review ". Curr. Appl. Phys., Vol. 9: 119–123.

[۱۱] امید قنبری اصلی، کوروش جواهرده(۱۳۹۶)، شبیه‌سازی عددی جریان آشفته نانوسیال در مبدل حرارتی دو لوله با پره‌های دایروی، دومین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی بیرجند، دانشگاه بیرجند.

[12] Eda Feyza Akyüreka, KadirGeliş, BayramŞahin, Eyüphan Manay "Experimental analysisfor heat transfer of nanofluid with wire coil turbulatorsin a concentric tube heat exchanger", Results in Physics (2018).

[13] Ramin Mashayekhi, Hossein Arasteh, Davood Toghraiec, Hossein Motaharpoura, Amir Keshmirid, Masoud Afrand, " Heat transfer enhancement of Water Al_2O_3 nanofluid in an oval channel equipped with two rows of twisted conical strip inserts in various directions: A two-phase approach, Computers & Mathematics with Applications, (2020).

[14] C.J. Hoa Chu, Yun Cheng, Tien Fu Yang, Saman Rashidi, Wei-MonYan,"Experimental study on cooling performance of nanofluid flow in a horizontal circular tube", International Journal of Heat and Mass Transfer18 January (2021).

[15] Akyürek, E.F., Geliş, K., Şahin, B., Manay, E., Experimental Analysis for Heat Transfer of Nanofluid with Wire Coil Turbulators in a Concentric Tube Heat Exchanger, Results in Physics (2018).

[16] W H Azmi, K V Sharma, Rizalman Mamat, A B S Alias, Izan Izwan Misnon, Correlations for thermal conductivity and viscosity of water based nanofluids, s: Materials Science and Engineering 36 (2012) 012029.

[17] Hamilton, R.L., and Crosser, O.K., "Thermal Conductivity of Heterogeneous Two Component Systems", Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals, Vol. 1, No. 3, pp. 187-191, (1962).

[18] H.A. Mohammed, Husam A. Hasan, M.A. Wahid. Heat transfer enhancement of nanofluids in a double pipe heat exchanger with louvered strip inserts. International Communications in Heat and Mass Transfer 40 (2013) 36–46.

[19] Webb, R.L., "Performance Evaluation Criteria for use of Enhanced Heat Transfer Surfaces in Heat Exchanger Design", Int. J. Heat Mass Transf., Vol. 24, pp. 715–726, (1981).

[۲۰] امین نعمت زاد، اشکان غفوری، علی فلاوند جوزایی (۱۳۹۹)، بررسی تجربی عملکرد هیدروترمودینامیکی مبدل حرارتی دو لوله ای با استفاده از نانوسیال و نوار تابیده دوگانه، نشریه مهندسی مکانیک، انجمن مهندسان مکانیک ایران.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]

چکیده انگلیسی:

Numerical Analysis of Nanofluid Flow and Heat transfer in a Heat Exchanger with Different Arrangements of Turbulator Inserts

Meysam Pouyanian[1], Ashkan Ghafouri [2*]

[1]Department of Mechanical Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
[2,*] Department of Mechanical Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Received: September 2022, Accepted: November 2022

Abstract

In this experimental study, the effect of using a heat exchanger with louvered strip inserts louvered strip inserts on flow and heat transfer utilizing various types of nanofluids is studied numerically. The continuity, momentum and energy equations are solved by means of a finite volume method (FVM). The top and the bottom walls of the pipe are heated with a uniform heat flux boundary condition. Two different louvered strip insert arrangements (forward and backward) are used in this study with a Reynolds number range of 10,000, 15,000, 20,000, 25,000, 30,000. The effects of various louvered strip slant angles and pitches are also investigated. Three different types of nanoparticles, Al_2O_3, CuO and ZnO with different volume fractions in the range of 1% to 4% and different nanoparticle diameters in the range of 20 nm to 50 nm, dispersed in a base fluid (water) are used. The numerical results indicate that the forward louvered strip arrangement can promote the heat transfer by approximately 77 % at the lowest slant angle of α=10° and largest pitch of S=50 mm. The maximal skin friction coefficient of the enhanced tube is around 5.7 times than that of the smooth tube and the value of performance evaluation criterion (PEC) lies in the range of 1.34–1.57. It is found that Al_2O_3 nanofluid has the highest Nusselt number value, followed by ZnO, and CuO while pure water has the lowest Nusselt number. The results show that the Nusselt number increases with decreasing the nanoparticle diameter and it increases slightly with increasing the volume fraction of nanoparticles. The results reveal that there is a slight change in the skin friction coefficient when nanoparticle diameters of Al_2O_3 nanofluid are varied.

Key words: Turbulator, Nanofluid, Nusselt number, Friction Factor, Thermal conductivity coefficient

*corresponding author: a.ghafouri@iauahvaz.ac.ir

Cite this article as: Meysam Pouyanian, Ashkan Ghafouri, Effect of Omnidirectiona Magnetic Field on Thermal Performance of Quarter-Circle Cavity Containing Saline Water–AL_2 O_3 Magnetic Nanofluid. Journal of Energy Conversion, 2023, 9(5), 69-84. DOR**:** **20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.6.5]