J. Energy Conversion
Volume: 11, Issue: 2, 2024: 19-35

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)

دوره ۱۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص: ۱۹-۳۵

بررسی عددی جریان در مبدل حرارتی دو لوله هم‌مرکز با هندسه‌های مربعی و دایروی

رضا نافعی[۱]، هامون پورمیرزاآقا[۲]*

۱- دانشجو، گروه مکانیک و هوافضا، واحد لنگرود، دانشگاه آزاد اسلامی، لنگرود، ایران، Reza.nafei@yahoo.com

*۲- استادیار، گروه مکانیک و هوافضا، واحد رامسر، دانشگاه آزاد اسلامی، رامسر، ایران، H.pourmirzaagha@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۳/۲/۴، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱، پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۱۰

چکیده

از مبدل‌های گرمایی در صنایع مختلف از جمله نیروگاه‌ها، سلول‌های خورشیدی، پالایشگاه‌ها و خودرو به‌صورت گسترده استفاده می‌شود. یکی از ساده‌ترین نوع مبدل‌هایی که در صنعت استفاده می‌شود، مبدل حرارتی دو لوله‌ای است. در تحقیق حاضر جریان نانوسیال در دو ساختار متفاوت از مبدل حرارتی دو لوله، بصورت لوله داخلی دایروی و لوله بیرونی مربعی (CS) و دیگری لوله داخلی مربعی و لوله بیرونی دایروی (SC) با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی بررسی شده است. نتایج نشان داد که با افزایش عدد رینولدز، به خصوص در رژیم جریان آشفته عدد ناسلت در جریان نانوسیال نسبت به سیال آب بیشتر افزایش یافته‌است. بطوریکه برای جریان نانوسیال اکسید آلومینیوم با هندسه SC، با عدد رینولدز ۵۰۰، عدد ناسلت نزدیک به ۵٪ بیشتر از سیال آب افزایش می‌یابد و برای جریان با عدد رینولدز ۲۰۰۰۰ این افزایش عدد ناسلت نزدیک به ۲۰٪ بیشتر است و برای جریان نانوسیال اکسید آلومینیوم با هندسه CS با عدد رینولدز ۵۰۰، عدد ناسلت نزدیک ۵٪ بیشتر از سیال پایه افزایش می‌یابد، در حالی‌که برای جریان با عدد رینولدز ۲۰۰۰۰ این افزایش عدد ناسلت نزدیک به ۱۴٪ بیشتر است. برای بررسی تاثیر نوع نانوذره بر انتقال حرارت و افت فشار جریان، سه نانو ذره در نظر گرفته‌شد. نتایج نشان داد استفاده از نانوذرات تاثیر اندکی بر ضریب اصطکاک دارد در حالی‌که انتقال حرارت به‌شدت افزایش می‌یابد.

*عهده‌دار مکاتبات : H.pourmirzaagha@yahoo.com

کلمات کلیدی: نانوسیال، مبدل حرارتی، دینامیک سیالات محاسباتی، انتقال حرارت.

نحوه استناد به این مقاله رضا نافعی، هامون پورمیرزاآقا. بررسی عددی جریان در مبدل حرارتی دو لوله هم‌مرکز با هندسه‌های مربعی و دایروی. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۳; ۱۱ (۲) : ۱۹-۳۵.

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

۱-مقدمه

پیشرفت سریع در فعالیت‌های صنعتی منجر به انتشار مقادیر زیادی گازهای گلخانه‌ای شده است که مشکلات زیست محیطی فراوانی را برای بشر ایجاد کرده است. بهبود بهره‌وری به خصوص در عملکرد سیستم‌های حرارتی مورد توجه محققان قرار گرفته چرا که این سیستم‌ها مستقیما با انرژی سروکار دارند. بهبود کارایی سیستم‌های حرارتی دارای مزایای زیست محیطی، اقتصادی و عملیاتی هستند. در میان تجهیزات حرارتی مختلف، مبدل‌های حرارتی برای مهندسان بسیار جذاب هستند. مبدل حرارتی وسیله‌ای است که برای تبادل حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه شرایطی را فراهم می‌کند تا تبادل گرما میان دو سیال یا سیال با دیواره برقرار شود. معمولاً مبدل‌های گرمایی به منظور خنک‌کردن سیال گرم و یا گرم‌کردن سیال با دمای پایین‌تر و یا هر دو مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مبدل‌های گرمایی در صنایع مختلف از جمله نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، صنایع پتروشیمی، صنایع غذایی و دارویی، صنایع ذوب فلز و خودرو به صورت گسترده استفاده می‌شود. یکی از ساده‌ترین نوع مبدل‌هایی که در صنعت استفاده می‌شود، مبدل حرارتی دو لوله‌ای است که از دو لوله‌ی هم محور ساخته شده است. از این مبدل در شرایط کاری مختلف استفاده می‌شود. از مزایای این مبدل می‌توان به ساخت آسان و نصب کم هزینه، محاسبات و طراحی آسان، کنترل ساده جریان‌های سیال در دو مسیر، نگه‌داری و تمیزکاری آسان و کاربرد در فشارهای بالا اشاره کرد. در صنعت معمولاً برای سیالاتی که رسوب‌زا هستند از این نوع مبدل‌ها استفاده می‌شود. دغدغه اصلی طراحان و متخصصان علوم حرارتی، همواره طراحی بهینه مبدل‌های حرارتی با کاهش حجم اشغالی و هزینه ساخت است. در سال ۲۰۰۶، دینگ و همکاران [۱] جریان ورودی آرام نانوسیالات را در یک لوله مسی به صورت تجربی بررسی کردند و نشان دادن که نانوسیال آب- اکسید آلومینیوم در ناحیه ورودی باعث افزایش چشمگیری در ضریب انتقال حرارت می‌شود. در سال ۲۰۰۹، وجها و داس [۲] به طور تجربی اثر هدایت حرارتی را برای سه نانوسیال متفاوت بررسی کردند. نانوذرات شامل اکسید آلومینیوم، اکسید مس و اکسید روی بودند که در سیال پایه اتیلن گلیکول و آب مخلوط شدند. نتایج نشان داد که افزایش در هدایت حرارتی نانوسیالات در مقایسه با سیال پایه به صورت چشمگیر بوده است. آن‌ها برای نانوسیال اتیلن گلیکول- اکسید آلومینیوم، ۲۹ درصد افزایش هدایت حرارتی برای غلظت ۱۰ درصد حجمی نسبت به ۱ درصد حجمی مشاهده کردند. همچنین هدایت حرارتی نانوسیال اتیلن گلیکول- اکسید روی، ۴۸/۵ درصد افزایش نسبت به سیال پایه برای غلظت ۷ درصد حجمی داشته است. برای نانوسیال اتیلن گلیکول- اکسید مس نیز برای ۶ درصد حجمی در دمای بین ۲۹۸ کلوین تا ۳۶۳ کلوین، هدایت حرارتی ۲۱/۴ درصد افزایش از خود نشان داده است. در سال ۲۰۱۰، فتوکیان و همکاران [۳] افت فشار و انتقال حرارت نانوسیال آب- اکسید مس را در داخل لوله‌ی دایروی با شرط مرزی دما ثابت برای جریان مغشوش بررسی کردند. کسر حجمی نانوسیال کمتر از ۰/۳ درصد بود. آن‌ها مشاهده کردند که افت فشار جریان لزوما با افزایش غلظت نانوذرات افزایش نمی‌یابد و همچنین غلظت بهینه برای هر نانوسیال باید پیدا شود تا انتقال حرارت بیشتر و افت فشار کمتر را سبب شود. در سال ۲۰۱۲، ژانگ و همکاران [۴] به بررسی انتقال حرارت در یک مبدل حرارتی دو لوله‌ای با پره‌های مارپیچ روی لوله‌ی داخلی به صورت تجربی پرداختند. آن‌ها برای بهبود عملکرد انتقال حرارت تعدادی آشفته‌ساز روی لوله‌ی داخلی تعبیه کردند. سیال عامل در تحقیق آنها هوا بود. آزمایشات نشان داد که آشفته‌سازها نقش مهمی در افزایش انتقال حرارت ایفا می‌کنند. با مقایسه افزایش انتقال حرارت به وسیله مبدل حرارتی مجهز به آشفته‌ساز و پره‌های مارپیچ، انتقال حرارت در مبدل دارای پره‌های مارپیچ در شرایط یکسان، بیشتر بود. در سال ۲۰۱۶ شیخ الاسلامی و همکاران [۵] بر روی دیواره‌ی مبدل دو لوله، پره‌های زاویه‌دار قرار دادند و در حالی که جریان آب گرم از داخل لوله داخلی و جریان هوای سرد از بین

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

دو لوله حرکت می‌کرد به بررسی‌های تجربی افت فشار و انتقال حرارت در مبدل حرارتی پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان داد که با استفاده از پره‌های زاویه دار ضریب اصطکاک و عدد ناسلت افزایش می‌یابد و این پره‌ها کارایی مبدل حرارتی را افزایش می دهند. در سال ۲۰۱۷، هان و همکاران [۶] مطالعه تجربی روی تاثیر نانوسیال اکسید آلومینیوم با کسرهای حجمی ۰/۲۵ درصد و ۰/۵ درصد در سیال پایه آب و در دمای ورودی مختلف انجام دادند. نتایج نشان داد که انتقال حرارت با افزایش دما و غلظت حجمی نانوذرات افزایش می‌یابد. در سال ۲۰۱۹، کونگ و همکاران [۷] با بررسی تجربی عملکرد حرارتی و افت فشار نانوسیال تیتانیوم دی‌اکسید (TiO_2) در مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای صاف و موجدار به این نتیجه رسیدند که عملکرد حرارتی مبدل حرارتی دو لوله‌ای موجدار به طور قابل توجهی قویتر از مبدل حرارتی دو لوله‌ای صاف است. اما افت فشار نانوسیال در مبدل حرارتی دو لوله‌ای موجدار به طور قابل توجهی بیشتر است. در مطالعه دیگری که در سال ۲۰۱۹ انجام شد، کریمی و همکاران [۸] مطالعه عددی روی یک مدل مخلوط دو فازی برای شبیه‌سازی جریان نانوسیال اکسید آلومینیوم- آب درون یک مبدل حرارتی دو لوله‌ای با نوار پیچیده شده با نسبت‌های گام مختلف انجام دادند. یافته‌های اصلی مطالعه نشان داد که اضافه کردن نوارهای پیچیده شده به لوله منجر به افزایش انتقال حرارت، افزایش افت فشار و افزایش ضریب اصطکاک می‌شود. همچنین با انتخاب نوارهایی با بیشترین زبری، انتقال حرارت می‌تواند تا ۱۰ درصد افزایش یابد. اما در مقابل، زبری نوارهای داخل لوله افت فشار و ضریب اصطکاک را تا ۲۸ درصد افزایش می‌دهند. در سال ۲۰۲۰، جیناناول و همکاران [۹] به صورت عددی تاثیر استفاده از نوار پیچیده شده با برش مستطیلی بر روی دنده آن، قرار دادن در یک مبدل حرارتی دو لوله دایره‌ای در میدان‌های حرارتی و جریان با استفاده از انواع مختلف نانوسیال را تحلیل کردند. نتایج خبر از برتری لوله مبدل حرارتی با قرار دادن یک نوار پیچیده شده خاص در مقایسه با بدون قرار دادن آن(لوله ساده) می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد که از میان نانوسیالات مورد بررسی، نانوسیال تیتانیوم دی‌اکسید (TiO_2) عملکرد حرارتی بهتری را از خود نشان می‌دهد. نانوسیال اکسید بریلیم (BeO)، نانوسیال اکسید روی (ZnO) و نانوسیال اکسید مس (CuO) به ترتیب در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. در سال ۲۰۲۱، سیناگا و همکاران [۱۰] تاثیر جریان دو فازی هوا- آب بر روی عملکرد ترمومکانیکی مبدل حرارتی دو لوله‌ای افقی زمانی که جریان‌های هوا و آب در یک اتصال سه راهی خارج از مبدل حرارتی دو لوله‌ای مخلوط شدند و سپس به درون لوله داخلی مبدل حرارتی جریان یافتند را بررسی کردند. نتایج نشان داد که برای تمامی نرخ‌های جریان آب گرم، با افزایش کسر حجمی ضریب کلی انتقال حرارت افزایش می‌یابد.

ارجمندی و همکاران [۱۱] به صورت عددی دریافتند که ترکیب نوار پیچ‌خورده در جریان آشفته می‌تواند بازدهی مبدل حرارتی دو لوله‌ای را پنج برابر افزایش دهد. کورکولس و همکاران [۱۲] از لوله‌ای با شیارهای مارپیچی برای بهبود عملکرد مبدل حرارتی دو لوله‌ای استفاده کردند. ترکیب‌های مختلفی از ارتفاع شیار و گام مورد بررسی قرار گرفت و عملکرد آن‌ها با لوله ساده مقایسه شد.

در سال ۲۰۲۱، کولا و همکاران [۱۳] عملکرد انتقال حرارت مبدل حرارتی دو لوله‌ای را با نوارهای پیچ‌خورده و با تغییر دبی جرمی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نخچی و اصفهانی [۱۴] از نانوسیال دو فازی CuO در یک لوله حرارتی با نوار مشبک استفاده کردند. آن‌ها مشاهده کردند که زاویه بهینه نوار ۲۵٪ است و حداکثر افزایش حرارتی۱٫۹۹ در یک سرعت خاص به دست می‌آید.

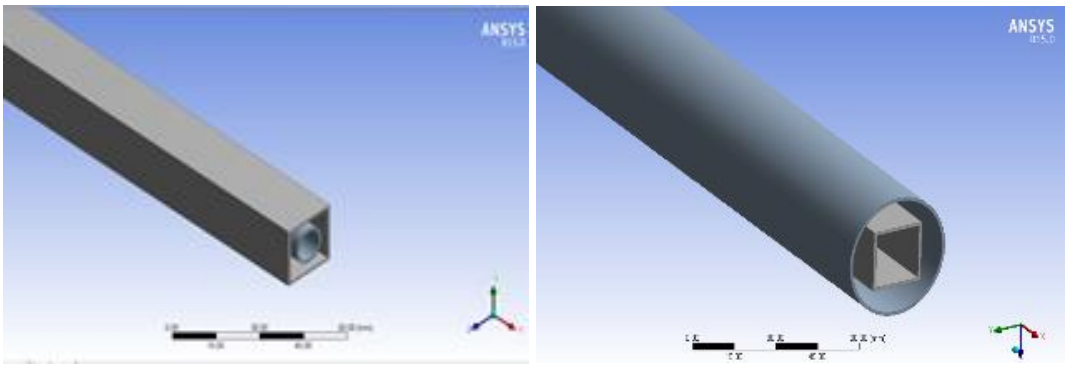
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

با استفاده از نانوسیال، لوکنده و همکاران [۱۵] انتقال حرارت را در یک مبدل حرارتی لوله‌ایی بررسی کردند. آن‌ها مشاهده کردند که ضریب انتقال حرارت کلی برای غلظت ۰٫۰۱٪ ، ۱٫۲۷ برابر افزایش یافته است. در سال ۲۰۲۳، رحمان و همکاران [۱۶] بر روی یک کانال مستطیلی با برجستگی‌های مربعی برای ارزیابی ویژگی‌های انتقال حرارت تحقیق کردند و توانستند به نسبت بهینه برای این هندسه دست یابند. در سال ۲۰۲۳، غزنفری و همکاران [۱۷] عملکرد حرارتی یک مبدل حرارتی پوسته و لوله با لوله‌های پیچ‌خورده با استفاده از نانوسیال آلومینیوم را ارزیابی کردند. آن‌ها دریافتند که لوله پیچ‌خورده باعث افزایش ۲۰ درصدی عملکرد حرارتی و ۱۴٪ افت فشار می‌شود. در سال ۲۰۲۱، توسار و همکاران [۱۸] به صورت عددی عملکردهای بین یک حلقه ساده و حلقه مجهز به نوارهای مارپیچی را مقایسه کردند. آن‌ها تأیید کردند که درج نوارهای مارپیچی می‌تواند انتقال حرارت را با همراه با افت فشار افزایش دهد و حلقه‌های مجهز به نوار مارپیچی می‌توانند در Re پایین‌تر عملکرد مطلوب‌تری داشته باشد.

در پژوهش‌های پیشین، تاثیر نانوسیال در انتقال حرارت و افت فشار در مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای ساده و یا موجدار بررسی شد. در این تحقیق به تاثیر نوع متفاوتی از لوله مبدل حرارتی، یکی لوله داخلی دایروی و لوله بیرونی مربعی و دیگری لوله داخلی مربعی و لوله بیرونی دایروی بر انتقال حرارت و افت فشار پرداخته شده است.

۲- هندسه و معادلات حاکم

در شکل (۱) نمایی سه بعدی از مبدل‌های حرارتی دولوله‌ای مورد مطالعه، ارائه شده است. به اختصار به هندسه دو لوله با دیواره داخلی مربعی و دیواره بیرونی دایروی، SC و به هندسه دو لوله با دیواره داخلی دایروی و دیواره بیرونی مربعی، CS گفته می‌شود.



شکل ۱: هندسه های مورد مطالعه

به علت بررسی تاثیر ابعاد لوله‌ها بر مشخصه‌های ترموهیدرولیکی جریان چند اندازه مختلف برای آن‌ها ارائه شده است که در جدول (۱) اطلاعات مربوط به ابعاد هندسی ارائه شده است.

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

جدول ۱: مشخصات هندسی

نام اختصاری هندسه	طول مبدل L (mm)	اندازه دیواره داخلی D_i (mm)	اندازه دیواره بیرونی D_o (mm)	اندازه قطر هیدرولیکی D_h (mm)
SC1	۱۵۰۰	۲۴	۴۱	۱۳
SC2	۱۵۰۰	۲۶	۴۱	۱۱
SC3	۱۵۰۰	۲۰	۴۱	۱۷
SC4	۱۵۰۰	۲۰	۵۱	۲۷
SC5	۱۵۰۰	۲۶	۶۸	۳۷
CS1	۱۵۰۰	۳۶	۴۸	۱۷
CS2	۱۵۰۰	۲۴	۴۸	۲۸
CS3	۱۵۰۰	۵۵	۶۸	۲۰
CS4	۱۵۰۰	۲۴	۶۸	۴۸

در مکانیک سیالات و انتقال حرارت برای توصیف میدان سرعت و دما، این قوانین تحت عناوین معادله پیوستگی، معادله ناویر- استوکس و معادله انرژی به کار می‌روند که در حالت پایا برای جریان تراکم ناپذیر بصورت زیر بیان می شود [۱۹]:

$$divV = 0 \quad (۱)$$

$$(V,\nabla)V=\rho g+\nabla,\tau_{ij} \quad (۲)$$

$$(V,\nabla)h = (V,\nabla)P + div(k\nabla T) + \tau_{ij}^{'}\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (۳)$$

معادلات ناویر- استوکس مدلی ریاضی کامل برای جریان سیال در شرایط مختلف ارائه می‌دهند به دلیل پیچیده بودن این معادلات در فرم کامل ناویر- استوکس، حل تحلیلی غیرممکن است بنابراین روش‌های عددی به کمک رایانه بهترین گزینه برای حل این معادلات است. پیشرفت سریع در زمینه تکنولوژی رایانه در چند دهه اخیر باعث استفاده گسترده دینامیک سیالات محاسباتی در حل عددی مسائل جریان سیال شده است با توجه به اینکه جریان مورد بررسی در این کار جریان آشفته است، لازم است شکل معادلات در قالب جریان آشفته بررسی شود. مدل آشفتگی کی- اپسیلن از معروف‌ترین مدل‌های آشفتگی به منظور مدل‌سازی جریان آشفته است که خود شامل مدل‌های استاندارد، RNG و Realizable است. در همه این مدل‌ها، دو معادله انرژی جنبشی آشفتگی و نرخ اتلاف آشفتگی به معادلات قبلی جریان اضافه می‌شوند، مطالعات نشان داد که در میان روش‌های عددی موجود مدل کی- اپسیلن استاندارد بهترین نتایج را برای سیال غیر نیوتنی پاورلا ارائه می‌کند [۲۰ و ۲۱].
در مدل کی- اپسیلون استاندارد تنش رینولدز براساس رهیافت بوسینسک به صورت زیر به‌دست می‌آید که در آن δ_{ij} دلتای کرونیکر است، S_{ij} تانسور نرخ کرنش متوسط بوده و به صورت رابطه (۴) است:

$$S_{ij}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) \quad (۴)$$

K , انرژی جنبشی آشفتگی است که از معادله (۵) به دست می‌آید:
ε نرخ اتلاف ویسکوز انرژی جنبشی آشفتگی است و طبق معادله (۶) به دست می‌آید:

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

$$\frac{\partial(\rho\kappa)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho\kappa u_i)}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\kappa})\frac{\partial\kappa}{\partial x_j}\right]+G_\kappa+G_b-\rho\varepsilon \quad (۵)$$

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho\varepsilon u_i)}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon})\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j}\right]+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{\kappa}(G_\kappa+C_{3\varepsilon}G_b)-\rho C_{2\varepsilon}\frac{\varepsilon^2}{\kappa} \quad (۶)$$

در این معادلات G_κ تولید انرژی جنبشی آشفته به علت گرادیان‌های سرعت متوسط و G_b تولید انرژی جنبشی مغشوش ناشی از اثر شناوری است. $C_{1\varepsilon},C_{2\varepsilon},C_{3\varepsilon}$ ثابت‌های معادله و $\sigma_\kappa,\sigma_\varepsilon$ به ترتیب اعداد پرانتل مغشوش برای κ و ε است، ضرایب ثابت از نتایج تجربی به دست آمده‌اند.

۳- نتایج

برای بررسی صحت مطالعه عددی در جریان آرام و آشفته، نتایج محاسبات عددی برای جریان آب با جابجایی اجباری، با نتایج تجربی بهادریان و همکاران [۲۲] مقایسه شد. جهت مقایسه هندسه دولوله با دیواره داخلی مربعی و بیرونی دایروی در نظر گرفته شد. نتایج مربوط به عدد ناسلت و حاصلضرب رینولدز- ضریب اصطکاک به ترتیب در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در جریان آرام ضریب اصطکاک و عدد ناسلت کمتر از ۴ درصد اختلاف دارد و حداکثر اختلاف مربوط به جریان آشفته است که حاصلضرب رینولدز- ضریب اصطکاک آن کمتر از ۱۱ درصد اختلاف دارد که برای رژیم جریان آشفته اختلافی قابل قبول است و درستی روش حل عددی را نشان می‌دهد.

جدول ۲: مقایسه عدد ناسلت مطالعه حاضر با مطالعه تجربی بهادریان و همکاران [۲۲]

Re	Nu		درصد اختلاف
	حل عددی	نتایج تجربی	
۱۰۰۰	۴/۲۸	۴/۴۱	-٪۳
۲۰۰۰	۴/۳۲	۴/۴۶	-٪۴
۱۱۰۰۰	۴۰/۰۵	۴۳/۳۱	-٪۸

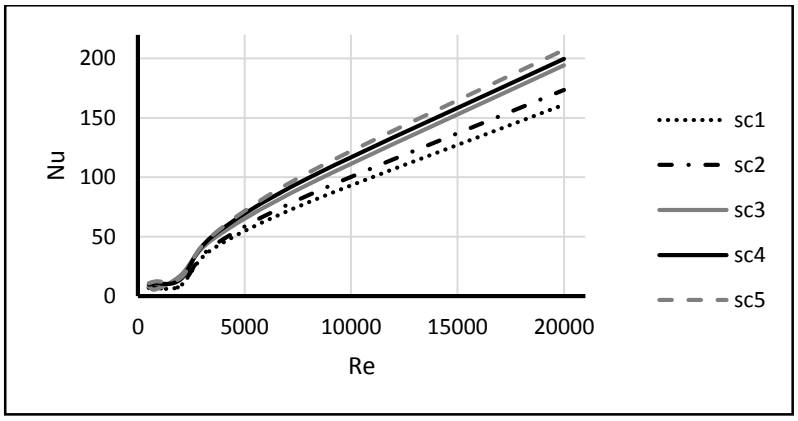
جدول ۳: مقایسه ضریب اصطکاک با مطالعه تجربی بهادریان و همکاران [۲۲]

Re	f.Re		درصد اختلاف
	حل عددی	نتایج تجربی	
۱۰۰۰	۲۲/۱۴	۲۲/۷	-٪۳
۲۰۰۰	۲۱/۶۴	۲۲/۴	-٪۴
۱۱۰۰۰	۹۶/۲۳	۸۷/۴	٪۱۱

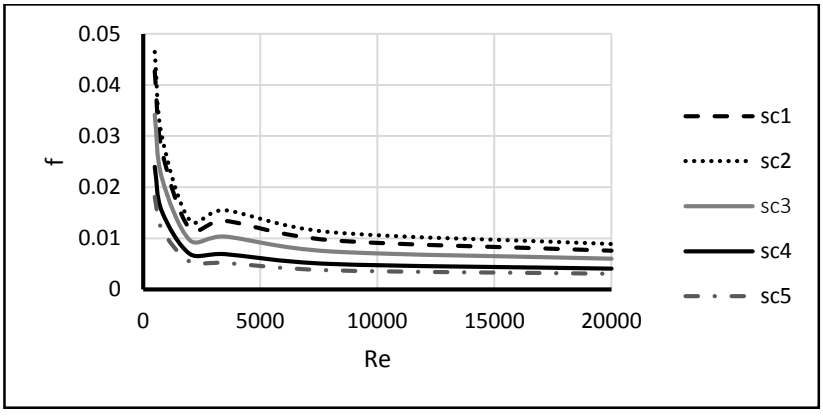
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۳-۱- بررسی تاثیر هندسه SC بر افت فشار و انتقال حرارت در جابه‌جایی اجباری

پنج هندسه متفاوت برای مبدل دو لوله با دیواره داخلی مربعی و دیواره بیرونی دایروی (SC) در نظر گرفته شد. شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب نتایج مربوط به عدد ناسلت و ضریب اصطکاک جریان آب در هندسه‌های SC متفاوت را نشان می‌دهند. محدوده مورد بررسی از عدد رینولدز ۵۰۰ تا ۲۰۰۰۰ است. همانطور که شکل (۲) مشاهده می‌شود با افزایش عدد رینولدز عدد ناسلت نیز افزایش می‌یابد و همانطور که مشاهده می‌شود در رژیم جریان آشفته عدد ناسلت به مراتب بالاتر از جریان آرام است. همچنین در میان هندسه‌های مختلف، SC5 بیشترین انتقال حرارت را نشان می‌دهد هرچند که عدد ناسلت هندسه‌های مختلف بسیار نزدیک به هم می‌باشد ولی با تغییر هندسه افت فشار به شدت تغییر می‌کند. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود ضریب اصطکاک هندسه SC2 از مابقی بیشتر است، می‌توان دلیل این اتفاق را در رابطه‌ی قطر هیدرودینامیکی و افت فشار جریان جستجو کرد به طوری که با کاهش قطر هیدرودینامیکی افت فشار به شدت افزایش می‌یابد به همین دلیل هندسه‌های با قطر هیدرودینامیکی کمتر افت فشار بیشتری را نشان می‌دهند همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود ضریب اصطکاک هندسه SC2 تقریبا ۳ برابر هندسه SC1 است.



شکل ۲: تغییرات عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای هندسه sc متفاوت و جابجایی اجباری

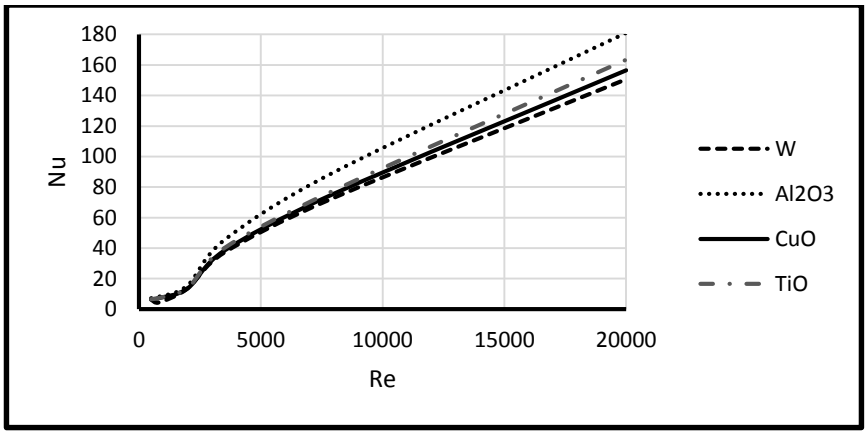


شکل ۳: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز برای هندسه sc متفاوت و جابه‌جایی اجباری

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

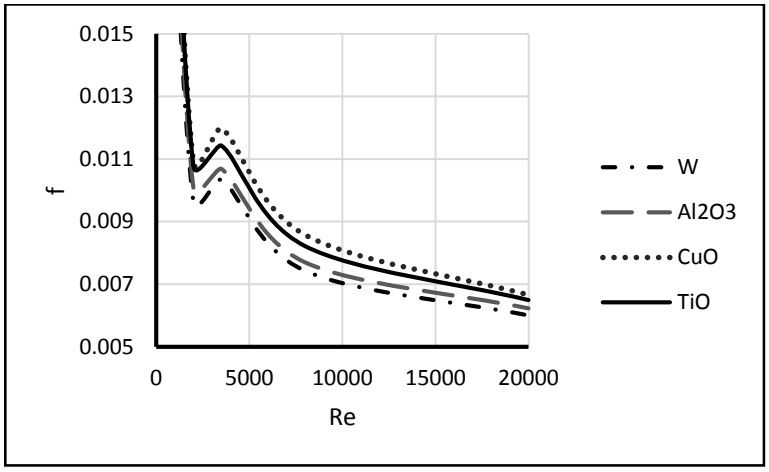
۳-۲- بررسی تاثیر نوع نانوسیال بر افت فشار و انتقال حرارت در جابه‌جایی اجباری هندسه SC

برای بررسی تاثیر نوع نانوذره بر انتقال حرارت و افت فشار جریان درون مبدل با دیواره داخلی مربعی و دیواره بیرونی دایروی، سه نانو ذره اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)، اکسید تیتانیوم (TiO) و اکسید مس (CuO) با کسر حجمی ۱/۵ درصد و سیال پایه (آب) در نظر گرفته شد. نتایج مربوط به عدد ناسلت و ضریب اصطکاک برای هندسه SC3 بر حسب عدد رینولدز در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شده است. همانگونه که در شکل (۵) مشاهده می‌شود استفاده از نانو ذرات تاثیر اندکی بر ضریب اصطکاک دارد در حالی که طبق شکل (۴) انتقال حرارت به شدت افزایش می‌یابد. در میان نانو ذرات مختلف اکسید آلومینیوم بیشترین افزایش عدد ناسلت را نشان می‌دهد دلیل این امر را می‌توان افزایش بیشتر رسانش حرارتی نانوسیال اکسید آلومینیوم نسبت به سایر نانو ذرات دانست. همچنین با افزایش عدد رینولدز، به خصوص در رژیم جریان آشفته عدد ناسلت جریان نانوسیال نسبت به سیال پایه بیشتر افزایش یافته است. به عنوان مثال برای جریان نانوسیال اکسید آلومینیوم با عدد رینولدز ۵۰۰، عدد ناسلت نزدیک به ۵ درصد بیشتر از سیال پایه افزایش می‌یابد، درحالی که برای جریان با عدد رینولدز ۲۰۰۰۰ این افزایش عدد ناسلت نزدیک به ۲۰ درصد بیشتر است. زیرا با افزودن نانو ذرات به سیال پایه میزان آشفتگی جریان افزایش می‌یابد. با افزایش آشفتگی جریان انتقال حرارت در مقایسه با جریان آرام به دلیل تسهیل در نفوذ جریان از زیرلایه‌ها به درون آن بهبود بیشتری می‌یابد. در میان نانوسیالات مختلف اکسید مس بیشترین افت فشار و کمترین بهبود انتقال حرارت را ایجاد کرد و بعد از آن نانوسیال اکسید تیتانیوم قرار دارد.



شکل ۴: تغییرات عدد ناسلت بر حسب عدد Re در هندسه sc3 برای نانوسیالات متفاوت و جابه‌جایی اجباری

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

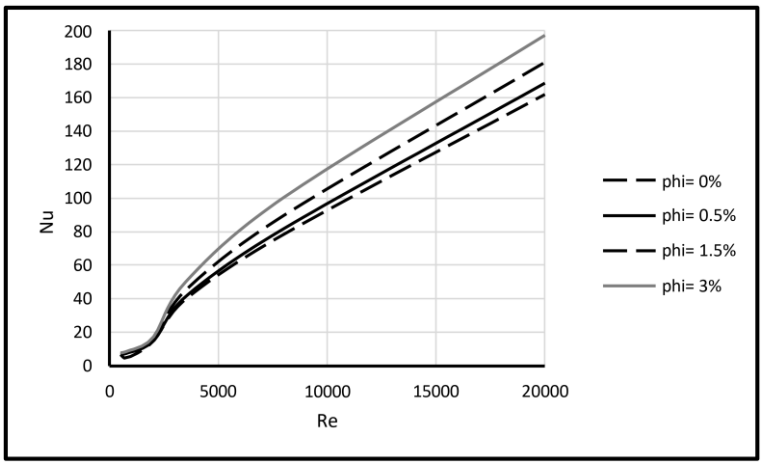


شکل ۵: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز در هندسه sc3 برای نانوسیالات متفاوت و جابه‌جایی اجباری

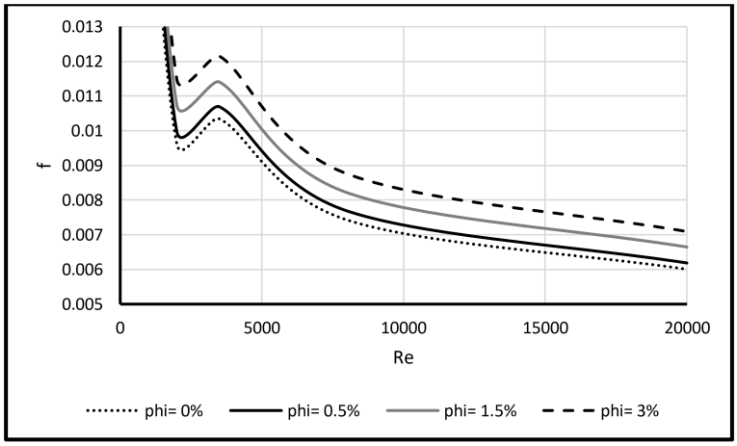
۳-۳- بررسی تاثیر کسر حجمی نانوذرات بر افت فشار و انتقال حرارت برای جریان در هندسه SC و جابجایی اجباری

برای بررسی تاثیر کسر حجمی نانو ذرات بر انتقال حرارت و افت فشار جریان درون مبدل با دیواره داخلی مربعی و دیواره بیرونی دایروی، سه کسر حجمی ۰/۵ درصد، ۱/۵ درصد و ۳ درصد نانو ذره اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و سیال پایه آب در نظر گرفته شد. نتایج مربوط به عدد ناسلت و ضریب اصطکاک برای هندسه SC3 بر حسب عدد رینولدز در شکل‌های (۶) و (۷) ارائه شده است. همانگونه که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، با انتظار با افزودن نانوذرات اکسید آلومینیوم به سیال پایه عدد ناسلت افزایش می‌یابد و می‌توان گفت که افزایش عدد ناسلت با کسر حجمی نانوذرات ارتباط مستقیم دارد. مثلا عدد ناسلت برای سیال با کسر حجمی ۳ درصد تقریبا ۲۰ درصد بیشتر از نانوسیال با کسر حجمی ۱/۵ است. بهبود انتقال حرارت نانوسیال با افزایش کسر حجمی نانوذرات را می‌توان مربوط به افزایش، آشفتگی جریان و رسانش حرارتی سیال دانست و به همین دلیل هر چه کسر حجمی نانو ذرات بیشتر می‌شود عدد ناسلت افزایش چشمگیرتری دارد. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود با افزودن نانوذرات به سیال پایه افت فشار کمی افزایش می‌یابد و هرچه کسر حجمی بیشتر باشد افزایش افت فشار بیشتر است و ضریب اصطکاک جریان نانوسیال نسبت به سیال پایه کمی تغییر می‌کند. افزایش افت فشار حاصل از افزودن نانوسیال را می‌توان به افزایش ویسکوزیته سیال نسبت داد. همچنین با افزودن نانوذرات به سیال پایه میزان آشفتگی جریان افزایش می‌یابد و چون با افزایش آشفتگی جریان مقدار زیادی از فشار و انرژی سیال صرف تولید اغتشاش می‌شود به همین دلیل در جریان آشفته، افزایش کسر حجمی نانو ذرات موجب افزایش افت فشار می‌شود.

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



شکل ۶: تغییرات عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز در هندسه sc3 برای کسرهای مختلف حجمی از نانوسیال اکسید الومینیوم و جابجایی اجباری

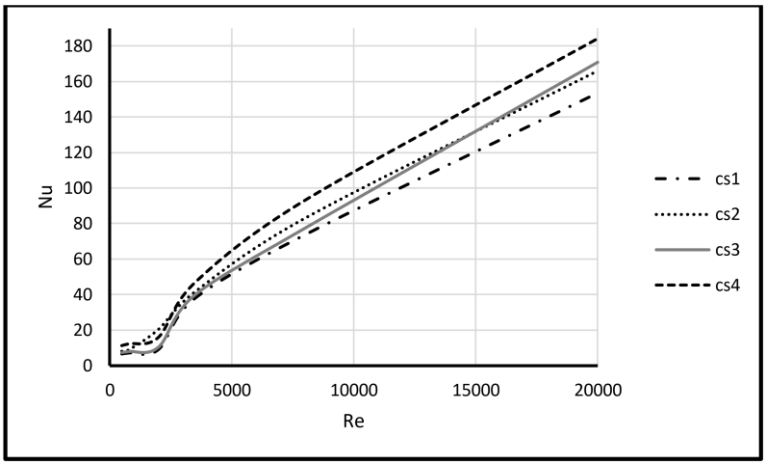


شکل۷: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز در هندسه sc3 برای کسرهای مختلف حجمی از نانوسیال اکسید الومینیوم و جابجایی اجباری

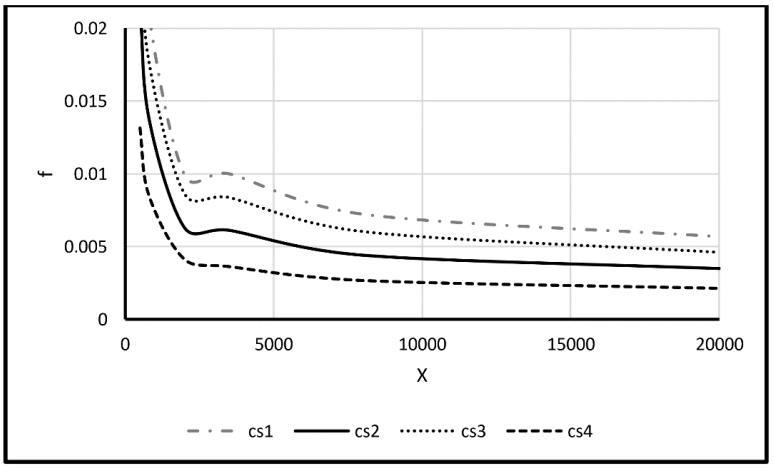
۳-۴- بررسی تاثیر هندسه CS بر افت فشار و انتقال حرارت در جابجایی اجباری

چهار هندسه متفاوت برای مبدل دولوله با دیواره داخلی دایروی و دیواره بیرونی مربعی (CS) در نظر گرفته شد. شکل‌های (۸) و (۹) به ترتیب نتایج مربوط به عدد ناسلت و ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز برای جریان آب با جابجایی اجباری در هندسه‌های CS متفاوت را نشان می‌دهند. برای بررسی جریان آرام و آشفته جریان عدد رینولدز ورودی ۵۰۰ تا ۲۰۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود با افزایش عدد رینولدز عدد ناسلت نیز افزایش می‌یابد همچنین در رژیم جریان آشفته عدد ناسلت به مراتب بالاتر از جریان آرام است. به علاوه در میان هندسه‌های مختلف، هندسه CS4 بیشترین عدد ناسلت را نشان می‌دهد هرچند که عدد ناسلت هندسه‌های مختلف بسیار نزدیک به هم است و تقریبا می‌توان گفت که انتقال حرارت وابستگی زیادی به هندسه ندارد. ولی افت فشار به شدت به هندسه وابسته است همانطور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود ضریب اصطکاک هندسه CS1 از مابقی بیشتر است، می‌توان دلیل این اتفاق را در رابطه‌ی قطر هیدرودینامیکی و افت فشار جریان جستجو کرد، به طوری که با کاهش قطر هیدرودینامیکی افت فشار به شدت افزایش می‌یابد به همین دلیل هندسه‌هایی به قطر هیدرودینامیکی کمتر افت فشار بیشتری را نشان می‌دهند. به عنوان مثال ضریب اصطکاک هندسه CS1 تقریبا ۳ برابر هندسه CS4 است.

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



شکل ۸: تغییرات عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای هندسه CS متفاوت و جابجایی اجباری



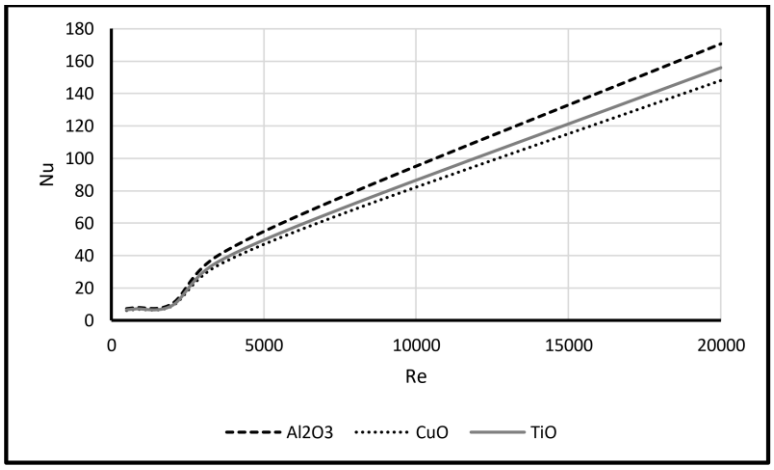
شکل۹: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز برای هندسه CS متفاوت و جابه‌جایی اجباری

۳-۵- بررسی تاثیر نوع نانوسیال بر افت فشار و انتقال حرارت در جابجایی اجباری هندسه CS

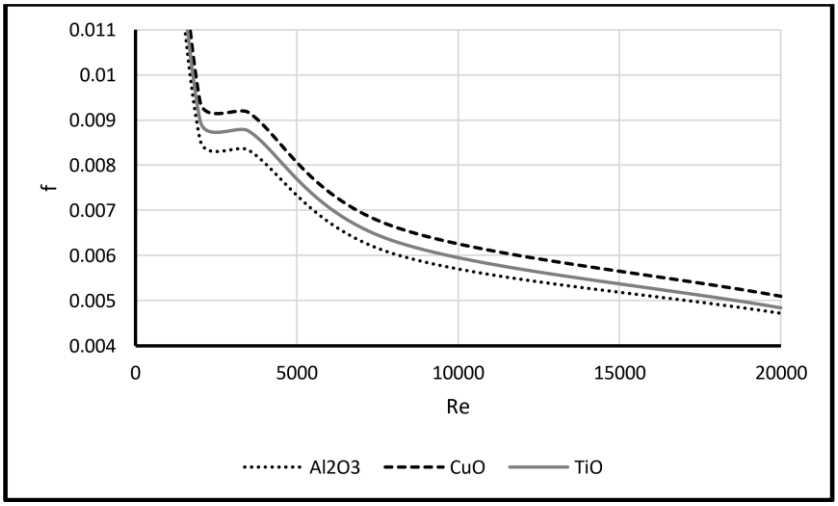
برای بررسی تاثیر نوع نانو ذره بر انتقال حرارت و افت فشار جریان درون مبدل حرارتی با دیواره داخلی دایروی و دیواره بیرونی مربعی، سه نانو ذره اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)، اکسید تیتانیوم (TiO) و اکسید مس (CuO) با کسر حجمی ۱/۵ درصد و سیال پایه (آب) در نظر گرفته شد. نتایج مربوط به عدد ناسلت و ضریب اصطکاک برای هندسه CS3 بر حسب عدد رینولدز در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) ارائه شده است. همانگونه که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود ضریب اصطکاک نانوذرات مختلف اختلاف اندکی دارند، در حالی که طبق شکل (۱۰) نوع نانوسیال بر انتقال حرارت به شدت تاثیر می‌گذارد. در میان نانوذرات مختلف اکسید آلومینیوم بیشترین افزایش عدد ناسلت را نشان می‌دهد دلیل این امر را می‌توان افزایش بیشتر رسانش حرارتی نانوسیال اکسید آلومینیوم نسبت به سایر نانوذرات دانست. همچنین با افزایش عدد رینولدز و به خصوص در رژیم جریان آشفته عدد ناسلت جریان نانوسیال نسبت به سیال پایه بیشتر افزایش یافته است. برای مثال برای جریان نانوسیال اکسید آلومینیوم با عدد رینولدز ۵۰۰، عدد ناسلت نزدیک ۵ درصد بیشتر از سیال پایه افزایش می‌یابد، در حالی که برای جریان با عدد رینولدز ۲۰۰۰۰ این افزایش عدد ناسلت نزدیک به ۱۴ درصد بیشتر است. زیرا با افزودن نانوذرات به سیال پایه میزان آشفتگی جریان افزایش

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

می‌یابد. با افزایش آشفتگی جریان انتقال حرارت در مقایسه با جریان آرام به دلیل تسهیل در نفوذ جریان از زیرلایه‌ها به درون آن بهبود بیشتری می‌یابد. هرچند که طبق شکل (۱۱) تاثیر نوع نانو ذرات بر ضریب اصطکاک محسوس نیست ولی افزودن نانوذرات اکسید مس به علت افزایش زیادتر ویسکوزیته و چگالی سیال بیسترین افت فشار را ایجاد می‌کند و از این نظر نانوسیال اکسید تیتانیوم در جایگاه دوم قرار دارد.



شکل۱۰: تغییرات عدد ناسلت بر حسب عدد Re در هندسه cs3 برای نانوسیالات متفاوت و جابه‌جایی اجباری



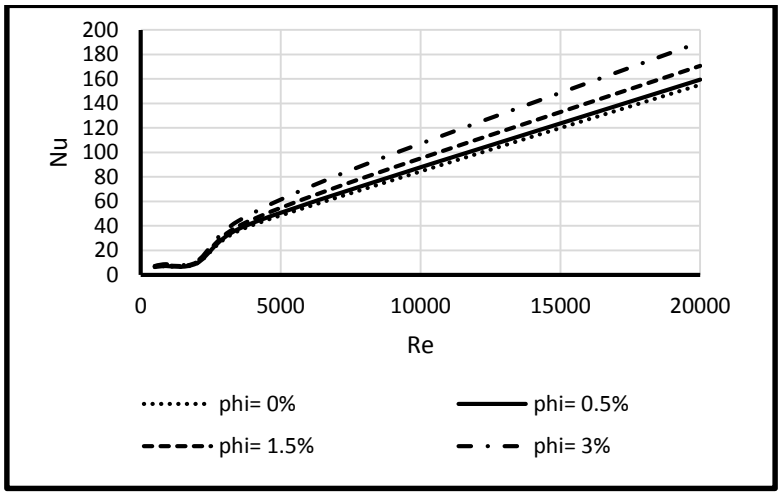
شکل۱۱: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز در هندسه cs3 برای نانوسیالات متفاوت و جابه‌جایی اجباری

۳-۶- بررسی تاثیر کسرحجمی نانو ذرات بر افت فشار و انتقال حرارت برای جریان در هندسه CS و جابجایی اجباری

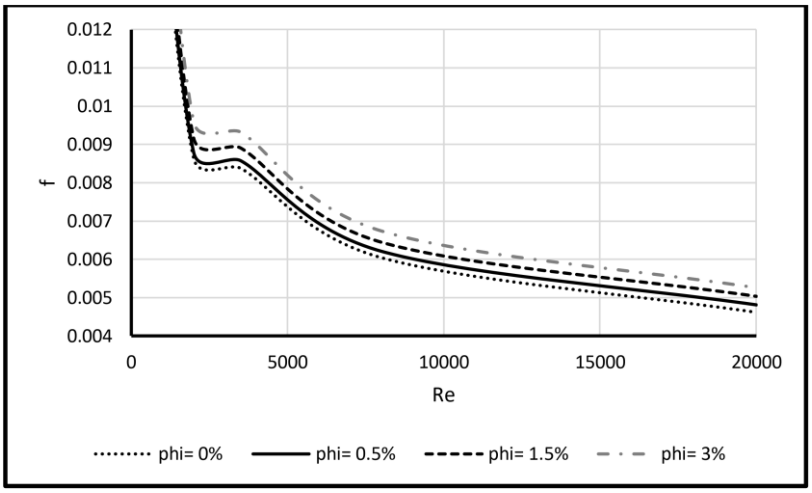
برای بررسی تاثیر کسر حجمی نانوذرات بر انتقال حرارت و افت فشار جریان درون مبدل با دیواره داخلی دایروی و دیواره بیرونی مربعی، سه کسر حجمی ۰/۵ درصد، ۱/۵ درصد و ۳ درصد نانو ذره اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و سیال پایه آب در نظر گرفته شد. نتایج مربوط به عدد ناسلت و ضریب اصطکاک برای هندسه CS3 بر حسب عدد رینولدز در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) ارائه شده است. همانگونه که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود، با افزودن نانوذرات اکسید آلومینیوم به سیال پایه عدد ناسلت افزایش

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

می‌یابد و می‌توان گفت که افزایش عدد ناسلت با کسر حجمی نانوذرات ارتباط مستقیم دارد. به عنوان مثال عدد ناسلت برای سیال با کسر حجمی ۳ درصد تقریبا ۱۲ درصد بیشتر از نانوسیال با کسر حجمی ۱/۵ درصد است. بهبود انتقال حرارت نانوسیال با افزایش کسر حجمی نانوذرات را می‌توان مربوط به افزایش آشفتگی جریان و رسانش حرارتی سیال دانست و به همین دلیل هر چه کسر حجمی نانو ذرات بیشتر می‌شود عدد ناسلت افزایش چشمگیرتری دارد. همانطور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود با افزودن نانوذرات به سیال پایه ضریب اصطکاک مقداری افزایش می‌یابد ولی از آن جهت که افزایش کسر حجمی نانو ذرات ویسکوزیته و چگالی را تغییر می‌دهد افت فشار نیز افزایش می‌یابد و هرچه کسر حجمی بیشتر باشد افزایش افت فشار بیشتر است و ضریب اصطکاک جریان نانوسیال نسبت به سیال پایه کمی تغییر می‌کند. با افزایش آشفتگی جریان مقدار زیادی از فشار سیال صرف تولید اغتشاش می‌شود به همین دلیل در جریان آشفته افزودن نانو ذرات موجب افزایش افت فشار می‌شود.



شکل ۱۲: تغییرات عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز در هندسه cs3 برای کسرهای مختلف حجمی از نانوسیال اکسید الومینیوم و جابه‌جایی اجباری



شکل ۱۳: تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز در هندسه cs3 برای کسرهای مختلف حجمی از نانوسیال اکسید الومینیوم و جابه‌جایی اجباری

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

۴- نتیجه‌گیری و بحث

در این تحقیق جریان نانو سیال در مبدل حرارتی دولوله تحت شار حرارتی ثابت و محدوده رژیم‌های جریان آرام و آ شفته با استفاده از روش عددی بر پایه حجم محدود شبیه سازی و به مطالعه تاثیر هندسه و افزودن نانوذرات بر انتقال حرارت و افت فشار پرداخته شده است. نتایج تحقیق نشان داد:

- با افزایش قطر هیدرولیکی، انتقال حرارت بهبود می‌یابد و افت فشار مبدل حرارتی به شدت افزایش می یابد.
- برای بررسی تاثیر نوع نانوذره بر انتقال حرارت و افت فشار جریان درون مبدل، سه نانو ذره اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)، اکسید تیتانیوم (TiO) و اکسید مس (CuO) با کسر حجمی ۱/۵ درصد و سیال پایه (آب) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که استفاده از نانو ذرات تاثیر اندکی بر ضریب اصطکاک دارد در حالی که انتقال حرارت به شدت افزایش می‌یابد.
- در این مطالعه جریان با عدد رینولدز ورودی ۵۰۰ تا ۲۰۰۰۰ بررسی شد، نتایج نشان داد که برای جریان با عدد رینولدز کمتر از ۵۰۰۰، استفاده از نانوذرات تاثیر بسیار بیشتری نسبت به رینولدزهای بالاتر بر انتقال حرارت مبدل دارد.
- نتایج نشان داد که برای جریان نانوسیال اکسید آلومینیوم با هندسه sc، با عدد رینولدز ۵۰۰، عدد ناسلت نزدیک به ۵٪ بیشتر از سیال آب افزایش می‌یابد و برای جریان با عدد رینولدز ۲۰۰۰۰ این افزایش عدد ناسلت نزدیک به ۲۰٪ بی شتر ا ست و برای جریان نانو سیال اک سید آلومینیوم با هند سه cs با عدد رینولدز ۵۰۰، عدد نا سلت نزدیک ۵٪ بی‌شتر از سیال پایه افزایش می‌یابد، در حالی‌که برای جریان با عدد رینولدز ۲۰۰۰۰ این افزایش عدد نا سلت نزدیک به ۱۴٪ بیشتر است.
- در میان نانو ذرات مختلف اکسید آلومینیوم بیشترین افزایش عدد ناسلت را نشان می‌دهد. دلیل این امر را می‌توان افزایش بیشتر رسانش حرارتی نانوسیال اکسید آلومینیوم نسبت به سایر نانو ذرات دانست. همچنین در میان نانوسیالات مختلف اکسید مس بیشترین افت فشار و کمترین بهبود انتقال حرارت را ایجاد کرد.

۵-مراجع

[1] Ding Y, Alias H, Wen D, Williams RA. Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids). International Journal of Heat and Mass Transfer. 2006 Jan 1;49(1-2):240-50.

[2] Vajjha RS, Das DK. Experimental determination of thermal conductivity of three nanofluids and development of new correlations. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2009 Oct 1;52(21-22):4675-82.

[3] Fotukian SM, Esfahany MN. Experimental study of turbulent convective heat transfer and pressure drop of dilute CuO/water nanofluid inside a circular tube. International communications in heat and mass transfer. 2010 Feb 1;37(2):214-9.

[4] Zhang L, Guo H, Wu J, Du W. Compound heat transfer enhancement for shell side of double-pipe heat exchanger by helical fins and vortex generators. Heat and Mass Transfer. 2012 Jul;48:1113-24.

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

[5] Sheikholeslami M, Ganji DD, Gorji-Bandpy M. Experimental and numerical analysis for effects of using conical ring on turbulent flow and heat transfer in a double pipe air to water heat exchanger. Applied Thermal Engineering. 2016 May 5;100:805-19.

[6] Han D, He WF, Asif FZ. Experimental study of heat transfer enhancement using nanofluid in double tube heat exchanger. Energy Procedia. 2017 Dec 1;142:2547-53.

[7] Qi C, Luo T, Liu M, Fan F, Yan Y. Experimental study on the flow and heat transfer characteristics of nanofluids in double-tube heat exchangers based on thermal efficiency assessment. Energy Conversion and Management. 2019 Oct 1;197:111877.

[8] Karimi A, Al-Rashed AA, Afrand M, Mahian O, Wongwises S, Shahsavar A. The effects of tape insert material on the flow and heat transfer in a nanofluid-based double tube heat exchanger: two-phase mixture model. International Journal of Mechanical Sciences. 2019 Jun 1;156:397-409.

[9] Gnanavel C, Saravanan R, Chandrasekaran M. Heat transfer enhancement through nano-fluids and twisted tape insert with rectangular cut on its rib in a double pipe heat exchanger. Materials Today: Proceedings. 2020 Jan 1;21:865-9.

[10] Sinaga N, Nisar KS, Kaood A. Second law efficiency analysis of air injection into inner tube of double tube heat exchanger. Alexandria Engineering Journal. 2021 Feb 1;60(1):1465-76.

[11] Arjmandi H, Amiri P, Pour MS. Geometric optimization of a double pipe heat exchanger with combined vortex generator and twisted tape: A CFD and response surface methodology (RSM) study. Thermal Science and Engineering Progress. 2020 Aug 1;18:100514.

[12] Córcoles JI, Moya-Rico JD, Molina AE, Almendros-Ibáñez JA. Numerical and experimental study of the heat transfer process in a double pipe heat exchanger with inner corrugated tubes. International Journal of Thermal Sciences. 2020 Dec 1;158:106526.

[13] Kola PV, Pisipaty SK, Mendu SS, Ghosh R. Optimization of performance parameters of a double pipe heat exchanger with cut twisted tapes using CFD and RSM. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification. 2021 Jun 1;163:108362.

[14] Nakhchi ME, Esfahani JA. CFD approach for two-phase CuO nanofluid flow through heat exchangers enhanced by double perforated louvered strip insert. Powder technology. 2020 May 1;367:877-88.

[15] Lokhande AA, Waghole DR, Dayane SA. Heat transfer augmentation in shell and tube heat exchangers using copper oxide nanofluid with modified geometry: A numerical investigation. Materials Today: Proceedings. 2023 Jan 1;72:1240-5.

[16] Rahman M, Islam MS, Khan AH. Numerical investigation and benchmarking of heat transfer and pressure loss characteristics with two-sided rib-roughened and two-sided heat supply in narrow rectangular channels. Thermal Science and Engineering Progress. 2023 Jun 1;41:101812.

[17] Ghazanfari V, Imani M, Shadman MM, Amini Y, Zahakifar F. Numerical study on the thermal performance of the shell and tube heat exchanger using twisted tubes and Al2O3 nanoparticles. Progress in nuclear energy. 2023 Jan 1;155:104526.

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

[18] Tusar MH, Bhowmik PK, Salam B, Ahamed JU, Kim JK. Convective heat transfer and friction factor characteristics of helical strip inserted annuli at turbulent flow. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2021 Sep 1;176:121422.

[19] White FM, Majdalani J. Viscous fluid flow. New York: McGraw-Hill; 2006.

[20] Bizhani M, Kuru E. Modeling turbulent flow of non-Newtonian fluids using generalized Newtonian models. InInternational Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering 2015 May 31 (Vol. 56482, p. V002T08A001). American Society of Mechanical Engineers.

[۲۱] اصفهانیان, و ,.et al ,.کمی‌سازی عدم قطعیت مدل‌های آشفتگی *RANS* برای جریان سیال غیرنیوتنی توانی. مهندسی مکانیک مدرس, ۲۰۱۵. ۱۵.294-287 .p :(5)

[22] Bhadouriya R, Agrawal A, Prabhu SV. Experimental and numerical study of fluid flow and heat transfer in an annulus of inner twisted square duct and outer circular pipe. International Journal of Thermal Sciences. 2015 Aug 1;94:96-109.

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

چکیده انگلیسی:

Numerical simulation of nanofluid flow in concentric double pipes heat exchanger with circular and square pipes

Reza Nafei[1], Hamoun Pourmirzaagha[2*]

[1]Department of Mechanical Engineering, Langroud Branch, Islamic Azad University, Langroud, Iran
[2]Department of Mechanical Engineering, Ramsar Branch, Islamic Azad University, Ramsar, Iran

Received: April 2024 Accepted: July 2024

Abstract

Heat exchangers are widely used in various industries, including power plants, solar cells, refineries, and automobiles. One of the simplest types of heat exchangers used in the industry is the double-pipe heat exchanger. In the present study, nanofluid flow in a double-pipe heat exchanger, with a square inner pipe and a circular outer pipe (sc), is simulated and investigated using computational fluid dynamics under constant heat flux and within the range of laminar and turbulent flow regimes. To verify the accuracy of the numerical study in both laminar and turbulent flows, the numerical calculation results for water flow with forced convection were compared with reference results. The results showed that with an increase in the Reynolds number, particularly in the turbulent flow regime, the Nusselt number in nanofluid flow increased more than in water flow. For instance, for aluminum oxide nanofluid flow with a Reynolds number of 500, the Nusselt number increases by nearly 5% more than water flow, and for a Reynolds number of 20000, this Nusselt number increase is close to 20% more. To investigate the impact of nanoparticle type on heat transfer and pressure drop, three types of nanoparticles were considered. The results indicated that the use of nanoparticles had a slight effect on the friction coefficient while significantly enhancing heat transfer.

Keywords: nano-fluid, double pipe heat exchanger, computational fluid dynamics, heat transfer.
*corresponding author: H.pourmirzaagha@yahoo.com

Cite this article as: Reza Nafei, Hamoun Pourmirzaagha. Numerical simulation of nanofluid flow in concentric double pipes heat exchanger with circular and square pipes. Journal of Energy Conversion, 2024, 11(2), 19-35.

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