نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۸، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص: ۴۵-۵۵

J. Energy Conversion
Volume: 8, Issue: 4, 2021: 45-55

DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3

شبیه سازی عددی سه بعدی انتقال حرارت درون یک لوله به همراه موانع نوار پیچشی صلیبی با نانوسیال آب– مس

سعید برفر[۱]، اشکان غفوری[۲و*] و فاطمه بهبهانی[۳]

۱- دانشجو دکتری، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، s.barfar@gmail.com
*۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، a.ghafouri@iauahvaz.ac.ir
۳- دانشجو دکتری، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، Dr.fatemeh.behbahani@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۱ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸

چکیده

با توجه به کاربرد تجهیزات تبادل گرمایی مانند مبدل‌ها در صنایع مختلف، بهبود انتقال حرارت در این تجهیزات اهمیت بسیاری دارد. روش-های مختلفی برای بهبود انتقال حرارت به کار می‌رود. در این مقاله اثر نانو سیال و موانع چهارگانه از نوع نوار پیچشی بر روی ضریب انتقال حرارت به صورت عددی با نرم‌افزار انسیس فلوئنت بررسی شده است. نانو سیال استفاده شده، به عنوان یک سیال همگن در نظر گرفته شده است و اثر افزایش نانو ذره به صورت اثر بر روی خواص ترموفیزیکی نانو سیال اعمال شده است. ضریب انتقال حرارت برای آب خالص و نانوسیال و مانع‌ها در حالت‌های مختلف بدست آورده شد و مقدار بهبود انتقال حرارت بدست آمد. جریان درون لوله آشفته بود و عدد رینولدز در محدوده ۵۶۰۰ تا ۱۲۰۰۰ در نظر گرفته شد. شبیه‌سازی برای حالت لوله ساده با آب خالص، لوله ساده همراه با نانوسیال با کسر حجمی ۰/۵ درصد، لوله با مانع با عرض‌های ۳، ۴ و ۵ میلی‌متر همراه با نانوسیال با کسر حجمی ۰/۵ درصد انجام شد. نتایج بدست آمده نشان داد که با وارد کردن نانوذره ضریب انتقال حرارت به میزان ٪۵۲/۸۷ افزایش یافت. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهند که در پهنای ۴ میلی‌متری نوارهای پیچشی بیشترین مقدار عدد ناسلت بدست آمد. در این حالت عدد ناسلت نسبت به حالت بدون مانع در رینولدز ۱۲۰۰۰ به میزان ۶۴/۵۸ درصد افزایش یافت. مقدار ضریب اصطکاک برای مشخص کردن افت فشار بررسی شد. در پهنای ۳ میلی‌متری مانع، بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بدست آمد. در این حالت ضریب اصطکاک نسبت به حالت بدون مانع ٪۱۴/۲۶ افزایش یافت.

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

کلمات کلیدی: بهبود انتقال حرارت، نانوسیال، مانع پیچشی، نوار پیچشی.

۱- مقدمه

انتقال حرارت نقش بسیار مهمی درکاربری‌های متعدد و گوناگون ایفا می‌کند و با پیشرفت صنعت یکی از نیازهای اساسی در صنایع و کارهای تحقیقاتی، استفاده از روش‌های جدید انتقال حرارت با بازده حرارتی بالا می‌باشد. به عنوان مثال در فرآیندهای صنعتی مانند سرمایش و گرمایش، منابع حرارتی و فرآیندهای تولیدی اعم از پاستوریزاسیون مواد غذایی و صنایع خودروسازی، داروسازی، حمل و نقل و سیستم‌های میکروالکترومکانیک و نانوالکترومکانیک نقش بسزایی دارند. در سال‌های اخیر این جریان در ابعاد کوچک بسیار مورد توجه قرار گرفته است و تلاش‌های زیادی برای کوچک کردن ابعاد دستگاه‌ها و افزایش راندمان آنها انجام شده است. از آنجایی که در اکثر این کاربردها انتقال حرارت درون برخی تجهیزات تبادل حرارت

نحوه استناد به این مقاله: سعید برفر، اشکان غفوری و فاطمه بهبهانی. شبیه سازی عددی سه بعدی انتقال حرارت درون یک لوله به همراه موانع نوار پیچشی صلیبی با نانوسیال آب– مس. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۰; ۸ (۴) : ۴۵-۵۵
DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3]

مانند مبدل‌ها، چگالنده‌ها و مخازن گرمایی صورت می‌گیرد، با افزایش بازده حرارتی، فضای اشغال شده توسط این وسایل نیز کاهش می‌یابد. این موضوع در کاربردهایی به فضای کوچک‌تر و تراکم بیشتر نیاز دارنـد، مهم است[۱]. تغییر خواص ترموفیزیکی سیال عامل، تغییر شرایط مرزی و نوع هندسهٔ جریان روش‌های مختلف برای بازدهی حرارتی می‌باشد. با پیشرفت صنعت و با کوچک‌تر شدن دستگاه‌های الکترونیکـی، تحقیقات در زمینهٔ جریان سیال و انتقال حرارت در مقیاس میکرو توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است که در بسیاری از کاربردهای مهندسی و پزشکی مـورد استفاده قرار می‌گیرد. بدون شک پیشرفت‌های اخیر در تولیدات ذرات نانو را می‌توان یک تحول در روش‌های افزایش انتقال حرارت دانست زیرا اندازهٔ کوچک ذرات و کسر حجمی پایین مورد استفاده مسائلی نظیر کلوخه شدن و افت فشار را حل می‌کند. علاوه بر این سـطح نسبی بزرگ ذرات نانو، پایداری ذرات را افزایش می‌دهد و مسئلهٔ ته نشینی را کاهش می‌دهد و هزینه‌های لازم برای نگه‌داری و انتقال سیالات را کم می‌کند. همچنین به صورت نظری مشخص اسـت هرچـه ذرات ریزتر باشند، سطح نسبی انتقال حرارت آنها بیشتر می‌شود و درنتیجه بازده حرارتی ذرات معلق که تابعی از سطوح انتقال حرارت می‌باشد با کاهش اندازهٔ ذرات افزایش می‌یابد [۲].

کریم پور به بررسی جابجایی توام نانوسیال آب- مس در یک محفظه شیب‌دار دوبعدی کم عمق، به کمک روش شبکه بولتزمن پرداخت. اثر مقادیر مختلف زاویه شیب محفظه و کسر حجمی ذرات نانو بر خواص حرکتی و حرارتی نانوسیال در سه حالت مختلف حاکمیت جابجایی آزاد، اجباری و توام و به ازای عدد رینولدز ۵۱ تا ۵۱۱ بررسی و مشاهده شد که در حالت حاکمیت جابجایی آزاد، مقدار عدد ناسلت با افزایش کسر حجمی ذرات نانو و زاویه شیب محفظه، زیادتر خواهد شد [۳]. سجادی فر و همکاران جریان و انتقال حرارت نانوسیال غیرنیوتنی محلول آبی کربوکسی متیل سلولز-اکسید آلومینیوم با کسر حجمی مختلف نانوذرات در یک میکرو لوله‌ی دوبعدی را شبیه¬سازی کردند. مشاهده می¬شود که عدد ناسلت با افزایش ضریب لغزش و درصد حجمی نانو ذرات جامد افزایش می‌یابد و نرخ این افزایش در مقادیر بالای عدد رینولدز بیشتر است[۴]. شهریاری انتقال حرارت جابجایی آزاد دو بعدی نانوسیال آبی اکسید آلومینیم در محفظه بسته با دیواره‌های موجی پیچیده به روش شبکه بولتزمن را مورد مطالعه قرار داد. تغییر پارامترهایی نظیر کسر حجمی نانوذرات، عدد رایلی، هندسه دیواره‌های جانبی، اختلاف فاز و دامنه تابع سینوسی دما بر روی میدان جریان و میدان دما مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند در محدوده اعداد رایلی بین ۱۰۳ تا ۱۰۵ با افزایش کسر حجمی نانوذرات، عدد ناسلت افزایش می‌یابد. علاوه بر این نشان داده شده است که برای یک عدد رایلی ثابت با تنظیم پارامترهای هندسه دیواره‌های عمودی می‌توان به یک انتقال حرارت بهینه دست یافت. بیشترین اثر نانوذرات با تغییر عدد رایلی در اختلاف فازهای مختلفی مشاهده گردید[۵]. علی‌نژاد اثر میدان مغناطیسی روی جریان همرفت طبیعی نانوسیال در یک محفظه نیم دایره‌ای با حضور منبع حرارتی را شبیه‌سازی نمود. پارامترهای تاثیرگذار دیگری، از قبیل هندسه منبع حرارتی، زاویه میدان مغناطیسی و درصد حجمی نانوسیال بر چگونگی نرخ انتقال حرارت مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور، نتایجی از قبیل خطوط جریان و خطوط همدما ارائه شده است. در نهایت، با استفاده از روش تاگوچی پارامترهای تاثیرگذار و سطوح آنها شناسایی و با استفاده از آنالیز نسبت سیگنال به اغتشاش، حالت بهینه جهت دستیابی به بیشترین نرخ انتقال حرارت و کمترین تولید آنتروپی پیش‌بینی و تایید شده است[۶]. یان هه و همکاران به بررسی تجربی افزایش انتقال حرارت در یک تیوب با مانع نوار پیچشی صلیبی و سیال هوا پرداختند. در این مقاله نشان داده شده که با قرار دادن مانع عدد ناسلت و اختلاف فشار افزایش می‌یابند. همچنین اثر پهنای موانع بررسی گردید که در اثر افزایش پهنای موانع ابتدا خواص افزیش و سپس کاهش می‌یابند [۷]. آچاریا و همکاران جریان نانو سیال آب- مس و نفت سفید –مس را شبیه‌سازی عددی نمودند. در این مقاله نشان داده شد خواص ترموفیزیکی با سیال پایه آب بالاتر از سیال پایه نفت است[۸]. کومار و همکاران ضریب انتقال حرارت رسانایی را برای نانو ذره هیبرید مس- قلع به نسبت مساوی و با سیال‌های پایه روغن گیاهی، پارافین و روغن موتور به صورت تجربی مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که ضریب انتقال حرارت برای سیال‌های پایه روغن گیاهی، پارافین و روغن موتور به ترتیب از بیشترین به کمترین می‌باشند[۹].

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3]

شبیه‌سازی عددی در کنار پروژه‌های عملی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در عصر حاضر که سرعت تولید ایده‌ها بسرعت در حال پیشرفت است استفاده از ابزاری که هزینه‌های تحقیقات را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد ضروری است. در اکثر مواقع هزینه شبیه‌سازی یک ایده، به مراتب کمتر از انجام عملی آن می‌باشد. از دیگر مزایای شبیه‌سازی عددی ایده‌ها در دسترس بودن آن برای همگان می‌باشد. این مزیت برای دانشجویانی که در حال تحصیل بوده و دسترسی آسان و کافی به صنعت ندارند ارزش دو چندان دارد. در کنار مزایای یاد شده این روش معایبی نیز دارد که از جمله آنها نیاز به تخصص استفاده از نرم افزار می‌توان اشاره کرد. یکی دیگر از معایب شبیه‌سازی عددی عدم انطباق نتایج محاسبه شده بر نتایج بدست آمده از کارهای عملی می‌باشد. که از دلایل آن عدم آگاهی و یا عدم تنظیم صحیح شرایط مرزی توسط کاربر نرم افزارها می‌باشد. در کل مزایای استفاده از نرم افزار، معایب آن را پوشش و استفاده از آن را توجیح می‌نماید.

در این مقاله در ابتدا به منظور اعتبار سنجی، یک کار عملی که با هندسه مشابه و با سیال هوا انجام پذیرفته است را شبیه سازی نموده و نتایج آن با نتایج عملی مقایسه شده است. سپس با همین هندسه، سیال آب شبیه¬سازی شده و در انتها با نانوسیال شبیه¬سازی عددی انجام پذیرفته است. نتایج حاصل از شبیه¬سازی‌ها در انتها با هم مقایسه شده‌اند.

۲- فرضیات و معادلات حاکم

در این مقاله و به صورت پیش فرض نرم افزار از معادلات پیوستگی، ممنتوم و انرژی سه بعدی استفاده شده است. برای محاسبه خصوصیات حرارتی سیال، در ادامه معادلات استفاده شده بررسی شده‌اند. برای بدست آوردن ضریب انتقال حرارت از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$h = \frac{Q}{\pi D_i L (T_{w,m} - T_{a,m})} \quad (۱)$$

در این رابطه $T_{a,m}$ دمای میانگین حجمی سیال و $T_{w,m}$ دمای میانگین دیواره می‌باشد. Q از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = mc(T_o - T_i) \quad (۲)$$

عدد ناسلت از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (۳)$$

ضریب اصطکاک از معادله زیر در محاسبات لحاظ شده است:

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U^2 (\frac{L}{D_i})} \quad (۴)$$

در این مقاله از سیالات آب، هوا و نانو سیال (آب - مس) استفاده شده است. مشخصات آب، هوا و مس به عنوان نانوذره به شرح جدول زیر است:

جدول ۱: جدول خصوصیات مواد

	$\alpha(m^2/s)$	K (W/m.K)	ρ (m^3/kg)	C_P (J/kg.K)
هوا	0.209	0.0242	1.225	1006.43
آب	1.4E-07	0.618	995	4178
مس	1.16E-04	400	8300	385

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3]

بدلیل ثابت نبودن خواص نانوسیال در دماهای مختلف و به منظور بالا بردن دقت محاسبات لزجت و ضریب انتقال حرارات از مدل ارائه شده در مقاله ازمی و همکاران استفاده شده است [۱۰]. معادلات استفاده شده در این مقاله برای خواص نانو سیال در ادامه توضیح داده خواهد شد.

با بکار بردن قانون بقای جرم برای دو ماده در حجم کنترل، چگالی نانوسیال را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\rho_{nf} = \varphi\rho_P + (1-\varphi)\rho_w \quad (۵)$$

که در این معادله φ کسر حجمی نانوذره در سیال پایه است. ظرفیت گرمایی ویژه برای نانوسیال از معادله زیر استفاده شده است:

$$C_{nf} = \frac{(1-\varphi)(\rho C)_w + \varphi(\rho C)_P}{(1-\varphi)\rho_w + \varphi\rho_P} \quad (۶)$$

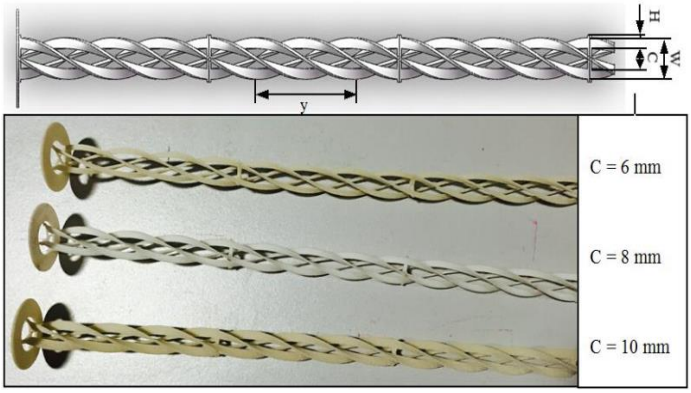
در مقاله ازمی، برای ضریب انتقال حرارت معادله زیر ارائه شد:

$$K_{nf} = K_w 0.8938\left(1+\frac{\varphi}{100}\right)^{1.37}\left(1+\frac{T_{nf}}{70}\right)^{0.2777}\left(1+\frac{d_p}{150}\right)^{-0.0336}\left(\frac{\alpha_p}{\alpha_w}\right)^{0.01737} \quad (۷)$$

و همچنین برای لزجت، معادله زیر از مقاله ازمی استفاده شده است:

$$\mu_{nf} = \mu_w\left(1+\frac{\varphi}{100}\right)^{11.3}\left(1+\frac{T_{nf}}{70}\right)^{-0.038}\left(1+\frac{d_p}{170}\right)^{-0.061} \quad (۸)$$

هندسه مورد استفاده شامل بخش ورودی، بخش آزمون و بخش خروجی است. بخش‌های ورودی، تست و خروجی قطر مشابه ۱۸میلی‌متر را به عنوان قطر داخلی دارند. قسمت ورودی که طول آن ۱۵۰۰ میلی‌متر است، برای از بین بردن اثر ورودی می‌باشد. بخش خروجی که طول آن ۵۰۰ میلی متر است، برای ثبات خروجی استفاده می‌شود. بخش آزمون ۳۰۰ میلی‌متر طول دارد و دیواره آن تحت شار حرارتی ثابت قرار می‌گیرد. اطلاعات هندسی از نوارهای پیچیده توخالی صلیبی در شکل۱ نشان داده شده است. نسبت پیچش به طول نوار ۳(y/w) تنظیم شده و طول و محل قرارگیری آن منطبق بر بخش آزمون است. کیو و همکاران [۱۱] نشان داد که این نوارها ممکن است دارای عرض توخالی ۸(C) میلی‌متر تحت جریان آرام باشند. بنابراین، ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر به عنوان عرض‌های توخالی نوارهای پیچ خورده توخالی در مطالعه حاضر انتخاب شده‌اند.



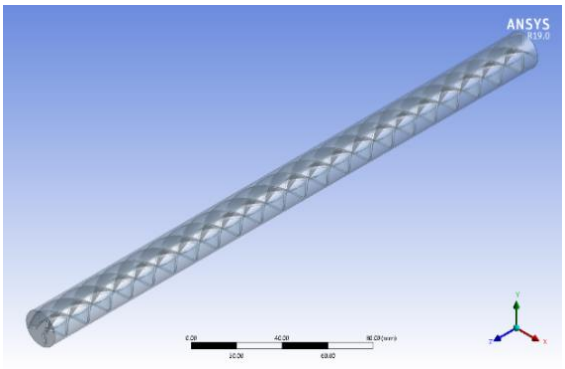
شکل ۱: نوارهای پیچشی صلیبی[۵]

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3]

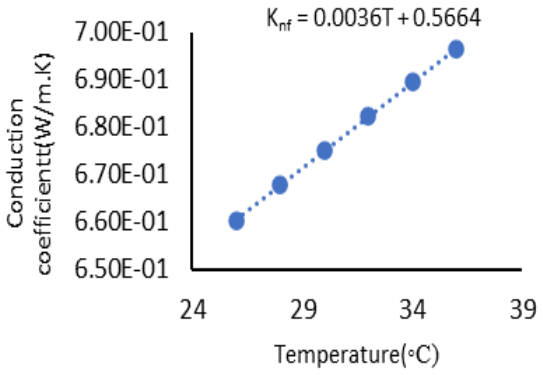
۳- شرایط مرزی و شبیه‌سازی

جریان مورد نظر در نرم‌افزار انسیس فلوئنت شبیه‌سازی شده است. شرایط مرزی تا حد امکان منطبق بر تحقیقات آزمایشگاهی در نظر گرفته شده است. دمای ورودی سیال به لوله ۳۰ درجه سانتی‌گراد و دیواره شار ثابت به میزان ۵۰ وات در نظر گرفته شده است. برای حل مساله، جریان پایدار و ثابت در نظر گرفته شده است. پروفیل جریان آشفته و روش حل آن k-epsilon می‌باشد. برای مقایسه بهتر نتایج از زبری دیواره و بدنه نوارهای پیچشی صرف نظر شده است. هوا در رینولدزهای ۵۶۰۰ تا ۱۲۰۰۰ و آب و نانوسیال تا رینولدز ۱۴۰۰۰ در نظر گرفته شده است. شکل ۲ هندسه مورد نظر در محیط نرم افزار را نشان می‌دهد.

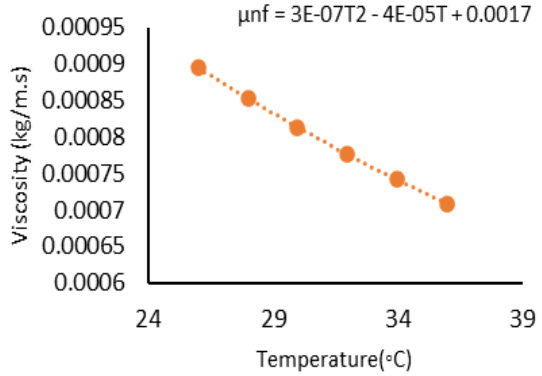


شکل۲: هندسه لوله مورد نظر به همراه مانع

برای استفاده کردن از رابطه (۷) و (۸) در نرم افزار فلوئنت، می‌بایست فرم معادله به صورت چند جمله‌ای نوشته شود. برای تبدیل معادلات فوق، رابطه (۷) و (۸) مقداردهی می‌شود و نمودار آنها رسم می‌شوند. از خطهای رسم شده معادلات استخراج می‌شوند. نتیجه در شکل‌های۳ و ۴ نشان داده شده‌اند.



شکل۳: تغییرات ضریب انتقال حرارت نانوسیال بر اساس تغییرات دما



شکل۴: تغییرات لزجت بر اساس تغییرات دما

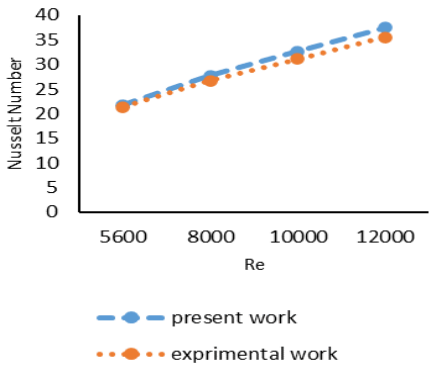
شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که ضریب رسانش و لزجت به صورت تابعی از دما در نرم افزار وارد شده‌اند. کیفیت شبکه استفاده شده در مساله، تعداد آن و اثرش بر روی جواب نهایی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور برای هندسه لوله ساده و سیال هوا، سه نوع شبکه¬بندی انجام شده که نتایج بدست آمده در جدول زیر شرح داده شده است:

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3]

جدول ۲: بررسی کیفیت شبکه

تعداد گره‌ها	دمای خروجی (سانتیگراد)	درصد اختلاف با مرحله قبل
۶۴۹۷۴	۳۱/۱۰۰۰۴	-0.4%
۴۰۹۸۷	۳۱/۲۲۱۲۵	+0.7%
۳۰۰۹۰	۳۱/۰۰۲۰۱۸	

با توجه به درصد اختلاف کم بوجود آمده در دمای خروجی برای بالاترین کیفیت، برای حل‌های بعد از بالاترین کیفیت استفاده شده است. هندسه مورد استفاده، پیشتر توسط یان هه و همکاران به صورت پژوهش آزمایشگاهی با سیال هوا انجام شده است. به همین دلیل به منظور اعتبار سنجی، کار انجام شده توسط یان‌هه[۲۴] شبیه‌سازی شده است که در ادامه نتایج حاصل از این شبیه‌سازی و نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی در شکل ۵ با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

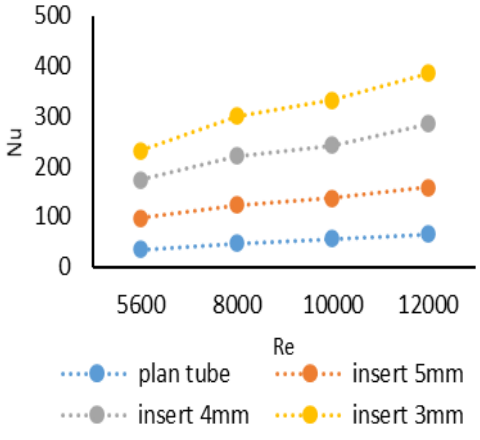


شکل ۵: مقایسه نتایج حاصل از کار حاضر و کار آزمایشگاهی

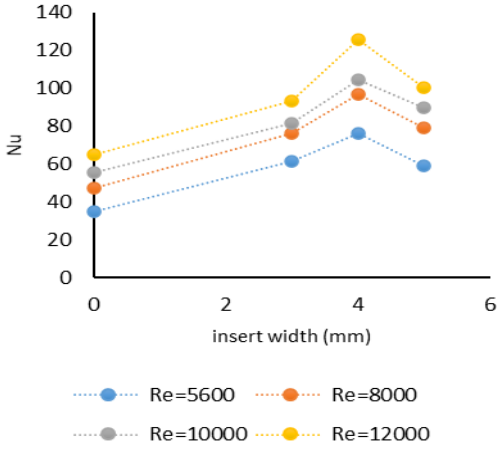
از مقایسه نتایج شبیه‌سازی و نتایج آزمایشگاهی مشخص شد که برای لوله ساده نتایج هر دو پژوهش مطابقت خوبی با هم دارند و حداکثر ۵ درصد اختلاف دارند.

۴- نتایج و بحث

برای بررسی بهبود انتقال حرارت از مانع و نانوسیال در این پژوهش استفاده شده است. در ابتدا اثر موانع در لوله مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل ۶ با توجه هندسه مختلف مانع در رینولدزهای مختلف مقدار عدد ناسلت بدست آمده است.



شکل ۶: نمودار مقایسه‌ای اثر موانع بر اساس عدد رینولدز



شکل۷: مقایسه اثر موانع بر اساس پهنای موانع

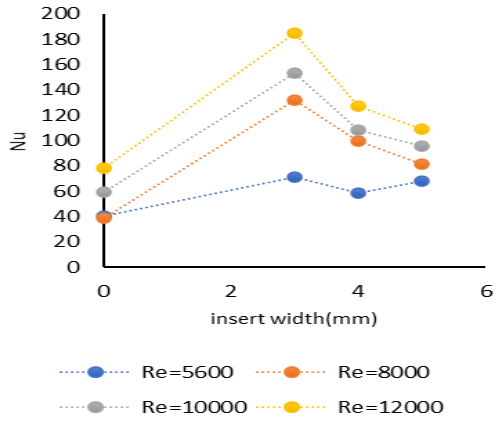
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3]

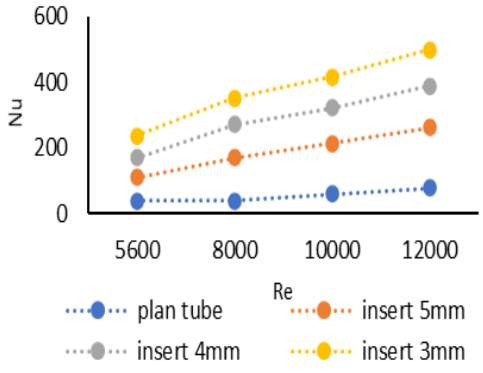
سیال مورد نظر آب خالص می‌باشد. در شکل ۶، در ابتدا لوله بدون مانع در نظر گرفته شده است و پس از آن با وارد کردن مانع نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در هر یک از خطوط رسم شده افزایش عدد رینولدز موجب افزایش عدد ناسلت شده است. با توجه به شکل قرار دادن مانع درون لوله باعث افزایش عدد ناسلت شده است. در ضخامت ۴ میلی‌متر بیشترین اعداد ناسلت بدست آمده است.

شکل ۷، مقایسه ضخامت مختلف مانع در رینولدز ثابت است. با توجه به نتایج بدست آمده در شکل ۷، با افزایش پهنای مانع‌ها تا ۴ میلی‌متر، ناسلت افزایش و پس از آن با افزایش پهنای مانع، عدد ناسلت کاهش یافته است. بدین ترتیب عرض بهینه مانع در این شرایط (سیال آب، قطر لوله، نوع مانع و ...) ۴ میلی‌متر می‌باشد.

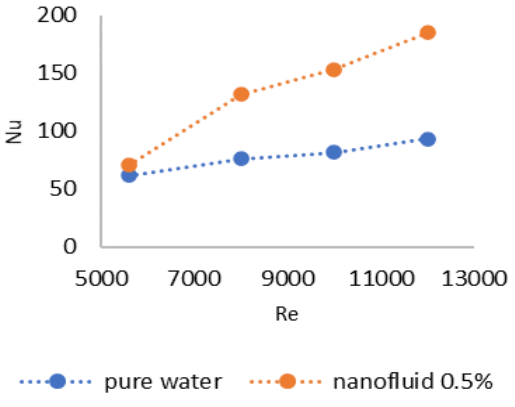
در شکل ۸، تغییرات عدد ناسلت بر اساس تغییرات پهنای موانع برای نانوسیال ۰/۵ درصد در رینولدزهای ثابت بررسی شده است. در ابتدا لوله بدون مانع و پس از آن با مانع در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل برای نانوسیال در حالت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش عدد رینولدز، موجب افزایش عدد ناسلت می‌شود. قرارگیری مانع درون لوله باعث افزایش عدد ناسلت شده است. در حالتی که نانوسیال در لوله استفاده شده است در ضخامت ۳ میلی‌متر بیشترین اعداد ناسلت بدست آمده است.



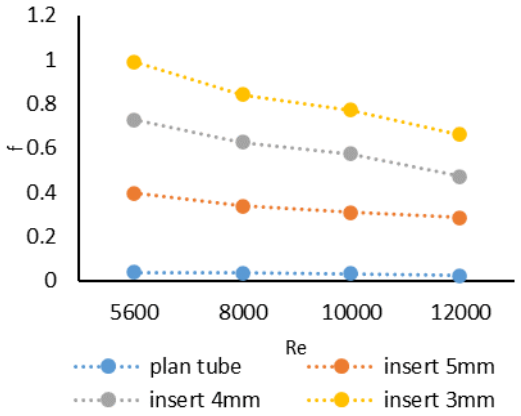
شکل۸: تغییرات ناسلت بر اساس تغییرات پهنای موانع برای نانوسیال ۰/۵ درصد



شکل۹: تغییرات ناسلت بر اساس تغییرات رینولدز برای نانوسیال ۰/۵ درصد



شکل۱۰: مقایسه لوله با مانع ۳ میلی‌متر، سیال آب خالص در مقابل نانوسیال ۰/۵ درصد



شکل۱۱: ضریب اصطکاک در لوله با سیال آب خالص

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3]

در شکل ۹، برای هر ضخامت مانع، در رینولدزهای مختلف عدد ناسلت بدست آمده است. در پهنای ۳ میلی‌متر بیشترین اعداد ناسلت حاصل شده است و در نتیجه انتقال حرارت بهبود یافته است. پهنای بهینه برای نانوسیال با غلظت حجمی ۰/۵درصد و موانع صلیبی، ۳ میلی‌متر می‌باشد. با افزایش عددرینولدز، عدد ناسلت نیز افزایش می‌یابد.

در شکل۱۰، آب خالص با نانو سیال مقایسه شده‌اند. افزایش نانوذره به میزان ۰/۵ درصد به سیال پایه باعث افزایش عدد ناسلت شده است.

در شکل ۱۱، ضریب اصطکاک برای سیال آب خالص در حالت¬های مختلف مانع بررسی شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با قرار دادن و افزایش پهنای موانع ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد. هر چه عدد رینولدز افزایش یابد، مقدار ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد. بیشترین ضریب اصطکاک در ضخامت۳ میلی‌متری بدست آمد.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به شبیه‌سازی انجام شده می‌توان نتایج زیر را در نظر گرفت:

- استفاده از موانع در آب خالص و هوا باعث افزایش عدد ناسلت می‌گردد.
- قراردادن مانع باعث افزایش ضریب اصطکاک می‌گردد.
- در شرایط مختلف جریان، افزایش پهنای مانع تا حدی باعث افزایش عدد ناسلت و پس از آن باعث کاهش عدد ناسلت می‌گردد. لذا برای شرایط مختلف جریان می‌بایست پهنای بهینه محاسبه گردد.

علائم اختصاری

علامت	تعریف
h	ضریب انتقال حرارت جابجایی
Q	حرارت منتقل شده
$T_{w,m}$	دمای میانگین حجمی سیال
$T_{a,m}$	دمای میانگین دیواره
T_o	دمای خروجی
T_i	دمای ورودی
Nu	عدد بی بعد ناسلت
k	ضریب انتقال حرارت هدایت
f	ضریب اصطکاک
ρ	چگالی
α	ضریب نفوذ حرارتی
C	ظرفیت گرمایی ویژه
φ	کسر حجمی نانوذره
μ	لزجت

مراجع

[۱] شبیه سازی عددی انتقال حرارت جابجایی توام نانوسیال در یک محفظه شیبدار کم عمق به کمک روش شبکه بولتزمن، آرش کریمی پور

[۲] شبیه‌سازی انتقال حرارت جابجایی اجباری نانوسیال غیرنیوتنی محلول آبی کربوکسی متیل سلولز-اکسید آلومینیوم در یک میکرولوله در رژیم لغزشی سید علی سجادی فر ۱۳۹۴

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3]

[۳] شبیه‌سازی عددی انتقال حرارت جابجایی آزاد نانوسیال در محفظه با دیواره‌های موجی و توزیع دمای سینوسی به روش شبکه بولتزمن، علیرضا شهریاری ۱۳۹۵

[۴] شبیه‌سازی روش شبکه بولتزمن و بهینه سازی تاگوچی اثر میدان مغناطیسی روی همرفت طبیعی نانوسیال در محفظه‌های نیمدایره‌ای، جواد علینژاد ۱۳۹۶

[۵]Z.Y. Guo, D. Y. Li, B.X. Wang, A novel concept for convective heat transfer enhancement. Int J Heat Mass Transfer, 1998, 41: 2221–2225

[۶] Qu Z G, Tao W Q, He Y L. Three-dimensional numerical simulation on laminar heat transfer and fluid flow characteristics of strip fin surface with X-arrangement of strips. J Heat Transfer, 2004, 126:697–707.

[۷]A. Dewan, P. Mahanta, K. Sumithra Raju, P. Suresh Kumar, Review of passive heat transferaugmentation techniques.Journal of Power and Energy, 2004, 218: 509 - 527.

[۸] P. Sivashanmugam, S. Suresh, Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of laminar flow through a circular tube fitted with helical screw-tape inserts. Applied Thermal Engineering, 2006, 26: 1990 - 1997 .

[۹]P. Sivashanmugam, S. Suresh, Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of laminar flow through a circular tube fitted with regularly spaced helical screw-tape inserts. Experimental Thermal and Fluid Science, 2007, 31: 301 - 308.

[۱۰]P. Sivashanmugam, S. Suresh, Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of turbulent flow through a circular tube fitted with regularly spaced helical screw-tape inserts. Applied Thermal Engineering , 2007, 27: 1311 - 1319.

[۱۱]P. Promvonge, S. Eiamsa-ard, Heat transfer behaviors in a tube with combined conical-ring and twisted-tape insert. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2007, 34: 849 - 859.

[۱۲]W. Liu, Z.C. Liu, S.Y. Huang, Physical quantity synergy in the field of turbulent heat transfer and its analysis for heat transfer enhancement, Chinese Science Bulletin, 2009, 55:2589-2597 .

[۱۳]J. Guo, K. Yang, W. Liu, Numerical simulation of heat transfer enhancement by adding cross twisted tape in the circular tube. Journal of Engineering Thermophysics, 2009, 30(7): 1216 -1218. (In Chinese)

[۱۴]W. Liu, Z.C. Liu, T.Z. Ming, Z.Y. Guo, Physical quantity synergy in laminar flow field and its application in heat transfer enhancement International Journal of Heat and Mass Transfer, 2009, 52:4669-4672

[۱۵]W. Liu, Z.C. Liu, Z.Y. Guo, Physical quantity synergy in laminar flow field of convective heat transfer and analysis of heat transfer enhancementLiu, Chinese Science Bulletin, 2009, 54: 3579-3586.

[۱۶]X.Y. Zhang, Z.C. Liu, W. Liu, Numerical studies on heat transfer and flow characteristics for laminar flow in a tube with multiple regularly spaced twisted tapes. International Journal of Thermal Sciences, 2012, 58: 157 - 167.

[۱۷]X.Y. Zhang, Z.C. Liu, W. Liu, Numerical studies on heat transfer and friction factor characteristics of a tube fitted with helical screw-tape without core-rod inserts. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2013, 60: 490 - 498 .

[۱۸]S. Liu, M. Sakr, A comprehensive review on passive heat transfer enhancements in pipe exchangers. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 19: 64 - 81.

[۱۹]A. Hasanpour, M. Farhadi, K. Sedighi, A review study on twisted tape inserts on turbulentflow heat exchangers: The overall enhancement ratio criteria. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2014, 55: 53 - 62 .

[۲۰]M.M.K. Bhuiya, A.S.M. Sayema, M. Islam, M.S.U. Chowdhury, Performance assessment in a heat exchanger tube fitted with double counter twisted tape inserts. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2014, 50: 25 - 33 .

[۲۱]L. Ma, J. Yang, W. Liu, X.Y. Zhang, Physical quantity synergy analysis and efficiency evaluation criterion of heat transfer enhancement, International Journal of Thermal Sciences, 2014, 80:23-32.

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3]

[۲۲]Thermal conductivity and rheological studies for Cu–Zn hybrid nanofluids with various basefluids, Mechiri Sandeep Kumar, V. Vasu, A. Venu Gopal, 2016.

[۲۳]The squeezing flow of Cu-water and Cu-kerosene Nano fluids between two parallel plates, Nilankush Acharya, Kalidas Das, Prabir Kumar Kundu, 2017.

[۲۴] Experimental study on Heat transfer enhancement characteristics of tube with cross hollow twisted tape inserts, Yan He, Li Liu, Pengxiao Li, Lianxiang Ma, 2017.

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3]

چکیده انگلیسی:

3D numerical simulation of heat transfer inside a pipe with twisted insert with water-copper nanofluid

Saeed Barfar, Ashkan Ghafori*, Fatemeh Behbahani

1- Department of Mechanical Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Received: June 2021 Accepted: December 2021

Abstract

Due to the application of heat exchange equipment such as converters in various industries, improving heat transfer in this equipment is very important. Various methods are used to improve heat transfer. In this paper, the effect of nanofluid and quadruple barrier type barrier on heat transfer coefficient has been investigated numerically with Ansis Fluent software. The nanofluid used is considered as a homogeneous fluid and the effect of increasing the nanoparticle is applied as an effect on the properties of the nanofluid. The heat transfer coefficient for pure and nanofluid water and barriers in different states was obtained and the amount of heat transfer improvement was obtained. The flow inside the pipe was turbulent and The Reynolds number was considered in the range of 5600 to 12000. Simulation for simple tube mode with pure water, simple tube with nanofluid with volume fraction of 0.5%, tube with barrier with 3, 4 and 5 mm offerings with nanofluid with volume fraction of 0.5% The results showed that with the introduction of nanoparticles, the heat transfer coefficient increased by 52.87%. It also showed that the highest value of Nusselt number was obtained in 4 mm width of torsional strips. In this case, the increase in Nusselt number compared to the unobstructed mode in Reynolds 12000 increased by 64.58%. The value of the coefficient of friction was evaluated to determine the pressure drop. At the 3 mm width of the barrier, the maximum coefficient of friction was obtained. In this case, the coefficient of friction increased by 14.26% compared to the unobstructed mode.

Key words: heat transfer enhancement, nanofluid, insert, twisted tape.

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

Cite this article as: Saeed Barfar, Ashkan Ghafori, Fatemeh Behbahani, 3D numerical simulation of heat transfer inside a pipe with twisted insert with water-copper nanofluid. Journal of Energy Conversion, 2022, 8(4), 45-55. DOR**:** **20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.4.3.3]