# بررسی نسبت ابعادی و غلظت نانوذره بر جریان نانوسیال در لوله با مقاطع مستطیلی

محسن نوريان اردكاني	دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران
سيد امير عباس علومي*	استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران
محمد حسن زارع میرک آباد	مربی، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

#### چکیدہ

در این تحقیق، افزایش انتقال گرما و افت فشار در اثر افزودن نانو لوله کربنی چند دیواره به روغن انتقال گرما، به صورت عددی در شرایط دما ثابت مورد بررسی قرار گرفت. روغن انتقال گرما HT-B به همراه نانوسیال روغن انتقال گرما -MWCNT به عنوان سیالات کاری در نظر گرفته شدند. نتایج بیانگر این است که افزودن نانوذرات باعث افزایش ضریب رسانایی گرمایی روغن شده و نشان می دهد که در اعداد گراتز بالاتر با افزایش غلظت نانوذرات در روغن، میزان افزایش ضریب جابجایی انتقال گرما به مراتب بالاتر است. و همچنین نشان می دهد که در اعداد گراتز بالاتر با افزایش غلظت نانوذرات در روغن، میزان افزایش ضریب جابجایی انتقال گرما به مراتب بالاتر است. و همچنین نشان می دهد که میزان افت فشار به مقدار نانوذره و نسبت ابعادی لوله بستگی دارد. با افزایش میزان نسبت ابعادی لوله، ضریب جابجایی به خوبی افزایش مییابد.

**واژههای کلیدی:** انتقال گرما، افت فشار، MWCNT، دما ثابت، لوله مستطیلی.

## Investigation on Aspect Ratio and Nanoparticles of Nano-fluid Flow in Rectangular Channels

M. Noorian Ardakani	Department of Mechanical Engineering, College of Science Research Yazd Islamic Azad
	University, Yazd, Iran
S. A. A. Oloomi	Department of Mechanical Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran
M. H. Zare Mirok Abad	Department of Mechanical Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

#### Abstract

An investigation has been carried out to study the heat transfer and pressure drop characteristics of MWCNT-Base oil Nano-fluid flow inside horizontal rectangular channels under constant wall temperature. The effect of different parameters such as mass velocity, aspect ratio of rectangular channels and Nanoparticles concentration on heat transfer coefficient and pressure drop of the flow is studied. Observations show that the numbers of Graz higher with increasing concentration of nanoparticles in oil, the increase is much higher heat transfer switch. And also shows that the pressure drop depends on the amount of nanoparticles and aspect ratio tube. By increasing the aspect ratio tube, the convective heat transfer coefficient increases very well. **Keywords:** Heat transfer, Pressure Drop, MWCNT, Constant Temperature, Rectangular Tube.

#### ۱– مقدمه

خنک کاری جزیی ناگزیر برای ثابت نگه داشتن عملکرد مورد نظر و

مطمئن محدوده وسیعی از محصولات همانند کامپیوترها، موتور خودروها است. با افزایش شارهای گرمایی که در اثر تولید قدرت بیشتر و یا اندازههای کوچکتر بوجود آمده است، خنک کاری به یکی از بزرگترین چالشهای پیش روی صنایع پیشرفتهای چون میکروالکترونیک، حمل و نقل، ساخت و دفاع تبدیل شده است.

راههای مرسوم در بهبود انتقال گرما در سیستمهای حرارتی عبارت از افزایش سطح تماس و تغییر مشخصات جریان میباشند، اما روش-های دیگری نیاز است که پاسخگوی کامل درخواست صنایع در خنک -کاری باشد. تکنولوژی نانوسیال پتانسیل بالایی را برای توسعه سیستم-های خنککاری با عملکرد بالا، در حجم کوچک و با صرفه اقتصادی ارائه میدهد. دلیل اصلی برای فراهم ساختن نانوسیال روغن انتقال گرما- نانولولههای کربنی این است که نانولولههای کربنی به عنوان افزودنی به روغن موتور به منظور کاهش دمای قسمتهای بسیار داغ موتور می تواند استفاده شوند.

لذا در این مطالعه به بررسی تأثیر همزمان استفاده از نانوسیال روغن انتقال گرما – نانولولههای کربنی و جایگزین کردن لولههای دایروی با لولههای غیر دایروی (با مقطع مستطیلی شکل) بر میزان افت فشار و انتقال گرما می پردازیم.

افزودن نانوذرات به سیالات برای افزایش انتقال گرما مشکلاتی از جمله تجمع ذرات درون سیال، تهنشینی ذرات و از همه مهمتر افزایش افت فشار را دارا است. به هر حال تحقیقات زیادی در این زمینه موجود است که در زیر برخی از آنها آورده شده است.

کو و همکاران [1] یک تحقیق تجربی برای بررسی افت فشار نانوسیال شامل نانولولههای کربنی در لوله افقی را فراهم آوردند. آنها مقادیر مختلف لزجت برحسب نرخ برش را بدست آوردند و مشاهده کردند که با افزایش نرخ برش لزجت کاهش مییابد. بنابراین، آنها گزارش کردند که افت فشار برای این نانوسیالات به طور قابل توجهی در جریان لایه ای افزایش مییابد. به هر حال، زمانی که دبی جریان افزایش یابد افت فشار نانوسیال به سیال پایه نزدیک می شود.

رازی و اخوان [2] افت فشار و انتقال گرما نانوسیال روغن پایه-اکسید مس در داخل لوله تخت با شرایط مرزی شار ثابت برای جریان

<sup>&</sup>lt;sup>®</sup> نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: amiroloomi@iauyazd.ac.ir تایغ دریافت: ۹۵/۰۹/۱۰ نویسید میسینده

آرام بررسی کردهاند. غلظت جرمی نانوسیال کمتر از ۲ درصد بود. آنها مشاهده کردند که افت فشار جریان با افزایش غلظت نانوذرات افزایش مییابد. آنها همچنین نتیجه گرفتند تخت کردن لوله روش موثری در افزایش انتقال گرما نسبت به اضافه کردن نانوذرات به روغن پایه میباشد.

نقوی و همکاران [3] در پژوهش تجربی خود به بررسی افت فشار نانوسیال روغن انتقال گرما -MWCNT در لولههای تخت و دایرهای پرداختند. آنها به این نتایج رسیدند که تغییرات پارامتر افت فشار با عدد رینولدز برای تمامی نانوسیالات تقریبا یکسان است. در مورد لولههای مستطیلی نیز تغییرات پارامتر افت فشار به همین منوال است و برای تمامی سیالات مورد مطالعه نسبتاً یکسان به دست میآید همچنین، آنها نشان دادند که پارامتر افت فشار در لولههای مختلف با افزایش نسبت ابعادی لوله به شدت افزایش مییابد.

اخوان بهابادی و همکاران [4] در یک تحقیق تجربی به مطالعه انتقال گرما و افت فشار جریان آشفته نانوسیال (آب-MWCNT) در یک لوله مسی که داخل آن سیم مارپیچ (لوله کویل دار) میباشد، تحت شار گرمایی ثابت پرداختند. مشاهدات آنها نشان می دهد که در بالاترین عدد رینولدز و در داخل لوله کویل دار با بالاترین قطر سیم، به طور متوسط ۸۵ درصد افزایش در ضریب انتقال گرما و ۴۷۵ درصد افت فشار وجود خواهد داشت.

همچنین وانگ و همکاران [5] نشان دادند که آثار لایه لایگی سطح تماس مولکولهای مایع و خوشه شدن نانوذرات باعث فراهم آمدن مسیرهایی برای انتقال گرما سریع میشود. آنها در بررسیهای خود با توجه به خوشهای شدن نانوذرات در داخل سوسپانسیون و همین طور کنش متقابل نانوذرات، مدلهای نظری را برای پیشبینی رسانایی گرمایی مؤثر نانوسیال در غلظتهای پایین پیشنهاد کردند.

## ۲- مشخصات روغن و نانوذره

# ۲-۱- مشخصات روغن

روغن استفاده شده در این تحقیق، روغن (HT-B) محصول شرکت بهران میباشد.

#### ۲-۲- مشخصات نانوذره

خواص MWCNT که توسط تولید کنندهی آن اندازه گیری شده است به قرار زیر میباشد.

- مساحت سطح ویژه (BET): 270 m2/gr
  - طول : (میکرومتر) 10 µm
    - قطر : 10-30 nm
  - رسانایی گرمایی : W/mK

#### ۳- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر مسئله شامل معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی میباشد که با توجه به فراگیر بودن آنها، ذکر نشده است.

با توجه به تفاوت جوابهای حل عددی با نتایج تجربی [3] در شبیه سازی دو فازی، از شبیه سازی تکفاز برای حل مسائل استفاده

گردیده است. لذا خصوصیات نانوسیال به صورت udf در نرم افزار Fluent وارد شده است و از روابط زیر، استفاده شده است.

#### ۳-۱- چگالی نانوسیال

چگالی نانوسیال معمولا از طریق رابطه پاک و چو [6] بدست میآید:

$$\rho_{nf} = \phi \rho_p + (1 - \phi) \rho_f \tag{1}$$

 $ho_f$  که در آن  $\phi$  درصد جرمی نانوذرات،  $ho_p$  چگالی نانوذرات و  $ho_f$  و جگالی سیال پایه است.

## ۳-۲- گرمای ویژه

کاظمی [۷] رابطه زیر را جهت محاسبه گرمای ویژه نانوسیال روغن انتقال گرما – MWCNT در بازه حرارتی ۲۵ تا ۵°۵۰ پیشنهاد میدهد.

 $C_{Pnf} = \left(14.62\varphi^3 + 13.38\varphi^2 - 4.952\varphi + 1.88\right)e^{0.0015T}$  (7)

که  $\phi$  در این رابطه درصد جرمی نانوذرات در سیال پایه و T دمای سیال پایه بر حسب سلسیوس می اشد.

#### ۳-۳- ویسکوزیته سینماتیکی

کاظمی [۷] رابطه زیر را جهت محاسبه لزجت سینماتیکی نانوسیال روغن انتقال حرارت-MWCNT در بازه دمایی ۴۰ تا ۲۰۰۰۵ پیشنهاد میدهد.

$$\frac{\nu_{nf}}{\nu_f} = \left(-2.1\varphi^2 - 0.55\varphi + 0.98\right) T^{\left(1.85\varphi^2 + 0.125\varphi + 0.018\right)} \tag{7}$$

که  $\phi$  در این رابطه درصد جرمی نانوذرات در سیال پایه، T دمای سیال پایه بر حسب سلسیوس و  $v_{ extsf{F}}$  لزجت سینماتیکی سیال پایه میباشد.

#### ۳–۴– رسانایی گرمایی

کاظمی [۷] در تحقیقات خود به بررسی رسانایی گرمایی نانوسیال روغن انتقال گرما – MWCNT در بازه دمایی ۲۰ تا ۲۰°۷ می پردازد که رابطه آن در بالا آمده است.

$$\frac{K_{nf}}{K_{f}} = (0.066\varphi + 0.958)e^{0.002T}$$
 (\*)

که  $\phi$  در این رابطه درصد جرمی نانوذرات در سیال پایه، T دمای سیال پایه بر حسب سلسیوس و  $K_{\mathsf{F}}$  رسانایی گرمایی سیال پایه میباشد.

#### ۳–۵– معادله فشار

در این تحقیق از قسمت اول معادله دارسی-ویباخ استفاده شده است که در زیر قابل مشاهده است.

$$\frac{\Delta p}{v^{2}} = \frac{32 \rho l}{d^{3}} R e$$
 (a)

که Re عدد رینولدز، L طول لوله، p چگالی سیال، b قطر هیدرولیکی، P اختلاف فشار و v لزجت سینماتیکی میباشد.

#### ۳-۶- معادله گراتز

معادله گراتز به شرح زیر میباشد (GZ)  $=L/(D^*Re^*Pr)$  (۶) که L طول لوله، D قطر هیدرولیکی، Re عدد رینولدز و Pr عدد پرانتل میباشد.

#### ۴- هندسه و شرایط مرزی

شکل ۱ و جدول ۱ لولههای مورد آزمایش را با ابعاد آنها و قطر هیدرولیکی آنها نشان میدهد. لازم به ذکر است که سطح مقطع تمامی لولههای غیر دایروی برابر با همان سطح مقطع لوله دایروی با قطر داخلی ۱۴ میلیمتر برابر میباشد. در ضمن طول لولهها ۶۰۰ میلیمتر و جنس آنها مس میباشد.



شکل ۱- مقاطع مورد استفاده در آزمایش

جدول۱- ابعاد مقاطع مورد آزمایش(*mm*)

نسبت ابعادی (AR)	عرض مقطع (W)	ارتفاع مقطع (h)	قطر هيدروليک ى
2	17.5	8.7	11.7
8	35.1	4.4	7.8

در این مطالعه شرایط مرزی به شرح زیر در نظر گرفته شده است. لازم به یادآوری است که با توجه به سرعت کم در ورودی لولهها جریان به صورت پایا و آرام فرض شده است.

- شرایط ورودی
  دما: ۵°۳۵
- <u>شرایط دیواره</u>
  جنس دیواره: مس
  دما (ثابت): ۵°۵۵
  ضخامت دیواره: ۲mm

### ۵- حل عددی

در شبکه بندی لوله دایرهای از حالت دو بعدی و لولههای مستطیلی از حالت سه بعدی استفاده شده است و همچنین در هر دو نوع لوله از قسمت Mesh Edge و از نوع Successive Ratio مورد استفاده قرار گرفته شد.

بهینه کردن تعداد مشهای ایجاد شده در انجام مسائل عددی از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا مشهای درشت در جواب تاثیرگذار میباشد و مشهای ریز به تلاش محاسباتی بیشتر میانجامد. جدول ۲، استقلال حل از شبکه را بررسی می نماید.

جدول ۲-استقلال حل از شبکه								
نوع لوله	تعداد شبکه	سرعت	غلظت	دمای سیال خروجی (°C)	شبکه استفاده شده			
AR=8	413000 756000 1452000	0.7 0.7 0.7	0.1 0.1 0.1	58.7 58.86 58.86	756000			
AR=2	435000	0.09	0.2	51.31				
	714000	0.09	0.2	51.37	714000			
	1452000	0.09	0.2	51.37				
CIRCLE	2500	0.06	0.2	58.7				
	6400	0.06	0.2	58.86	6400			
	8500	0.06	0.2	58.86				

گام بعدی حل عددی با استفاده از نرم افزار Fluent میباشد که از فرمول بندی تفکیکی و روش مجزا سازی مرتبه دوم استفاده شده و ارتباط میان فشار و سرعت از طریق الگوریتم SIMPLE برقرار شده است. مبنای همگرایی جواب ها، میزان باقیمانده نسبی <sup>6–1</sup>0 گرفته شده است.

## ۶- نتايج

برای اطمینان از صحت دادههای حاصل شده از حل عددی نیاز به مقایسه و ارزیابی نتایج میباشد. به منظور اعتبار سنجی نتایج کسب شده، آنها را با نتایج حاصل از تحقیق تجربی نقوی و همکاران [3] مقایسه میکنیم. نتایح اعتبار سنجی را میتوان در شکل ۲ بررسی نمود.

نوآوری این تحقیق، بررسی عددی تحقیق تجربی نقوی و همکاران می باشد.



کل ۲- پارامتر افت فشار نسبت به KE در لوله با (AK=2) *و علظت* ۰/۲ درصد

نتایج جریان روغن انتقال گرمای خالص و نانوسیال درون لوله دایروی و لولههای مستطیلی در شکل های ۳ تا ۶ ارائه میشود.



کل ۲۰ پراشتر ایک کشار برای بروی ناوسیان ۲۰، دارشنا برایی الولههای متفاوت بر حسب Re

در شکل ۳ دیده می شود که پارامتر افت فشار با افزایش عدد رینولدز افزایش می یابد و روند این افزایش با افزایش نسبت ابعادی لوله، افزایش چشمگیری دارد. علت افزایش این افت فشار، کاهش قطر هیدرولیکی و تغییر شکل از حالت دایرهای می باشد.



شکل ۴- پارامتر افت فشار برای سیال پایه و نانوسیالات در لولهی دایروی بر حسب Re

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود پارامتر افت فشار با افزایش عدد رینولدز افزایش مییابد و همچنین می توان فهمید که در لوله دایرهای از حدود عدد رینولدز ۴۰۰ به بعد، تاثیر نانوسیال، حس می-شود. لذا از سرعت (m/s) ۱ به بعد تاثیر نانو سیال مشاهده می شود. درنتیجه برای سرعت های پایین می توان از اثر نانوذرات صرفنظر کرد.



شکل ۵- تغییرات ضریب جابجایی با معکوس عدد گراتز در جریان سیال پایه و نانوسیالات در لولهی دایروی

در شکل ۵ دیده می شود، ضریب انتقال گرمای جابجایی با افزایش عدد گراتز افزایش می یابد و نانوسیال با غلظت ۰/۲٪ در اعداد گراتز

بالاتر عموماً کارایی بهتری دارند و موجب افزایش بیشتری در ضریب جابجایی میشوند که دلیل عمدهی افزایش ضریب جابجایی را میتوان به استفاده از سیالی با رسانش بیشتر نسبت داد. همچنین مشاهده می-شود که در اعداد گراتز کوچکتر افزودن نانوذرات تاثیری در افزایش ضریب جابجایی ندارد که این نتیجه هم به طور تقریبی در معادله سیدر و تیت هم قابل مشاهده است.



شکل ۶- تغییرات ضریب جابجایی با معکوس عدد گراتز برای نانوسیال ۱/۱ درصد جرمی در لولههای مختلف

در شکل ۶ مشاهده میشود که با افزایش میزان نسبت ابعادی لوله ضریب جابجایی به خوبی افزایش مییابد.

علت افزایش انتقال گرما در لولههای مستطیلی نسبت به لولههای گرد این است که مغز جریان به دیوارهها نزدیکتر میشود. به این ترتیب حتی در جریانهای انرژی لایهای باید فاصلهی کمتری را طی کند تا به مرکز جریان دست یابد.

# ۷- نتیجه گیری

- مشاهده میشود که علاوه بر لزجت سیال، نسبت
  ابعادی لوله هم بر افت فشار تاثیر زیادی می گذارد.
- با افزایش نسبت ابعادی لوله، پارامتر افت فشار به شدت افزایش می ابد.
- در تمامی لولهها در اعداد گراتز بالاتر با افزایش غلظت نانوذرات در روغن انتقال گرما، میزان افزایش ضریب جابجایی انتقال گرما به مراتب بالاتر است. این در حالی است که در اعداد گراتز پایین تر نانوسیالات برتری مشهودی نسبت به سیال پایه ندارند.
- مشاهده می شود که با افزایش میزان نسبت ابعادی لوله ضریب جابجایی به خوبی افزایش می یابد.

#### ا- مراجع

[1] Ko G.H, Lee K., Kim D.S., Kim C., Sohn Y. and Choi M., An experimental study on the pressure drop of nanofluids containing carbon nanotubes in a horizontal tube, Wear, Vol. 265, pp.422–428, 2008.

[2] Razi P., Akhavan-Behabad, M.A., Saeedinia M., Pressure drop and thermal characteristics of CuO-base oil nanofluid laminar flow in flattened tubes under constant heat flux, Int. Communication in Heat and Mass Transfer, Vol. 38(7), PP 964-971, 2011.

[3] Naghavi M.R., Akhavan-Behabadi M.A., Pakdaman M. F., Experimental Investigation on Heat Transfer and Pressure Drop of CNT-Base Oil Nano-Fluid Flow in Rectangular Channels محسن نوريان اردكانى، سيد امير عباس علومى و محمد حسن زارع ميرک آباد

under Constant Wall Temperature, Advanced Materials Research, Vols 622-623, pp. 806-810, Dec. 2012

[4] Akhavan-Behabadi M.A., Shahidi Mohamad., Aligoodarz, M.R., An experimental study on heat transfer and pressure drop of MWCNT–water nano-fluid inside horizontal coiled wire inserted tube, International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 63, PP. 62-72, April 2015.

[5] Wang X., Xu X., Choi S. U. S., Thermal conductivity of nanoparticles-fluid mixture, J. Thermophys. Heat Transfer, Vol. 13, No.4., pp. 474-480, 1999.

[6] Pak B. and Cho Y., Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, Experimental Heat Transfer, Vol. 11 (2), pp. 151–170, 1998.

[۷] کاظمی، محمد حسن.، بررسی تجربی انتقال حرارت و افت فشار

جریان نانوسیال در لوله مارپیچ میکروفین دار، پایان نامه کارشناسی

ارشد مهندسی مکانیک، اخوان بهابادی، محمدعلی (استاد راهنما)،

کوثری، فرشاد (استاد مشاور)، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۹۰.