

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

# بررسی تجربی خواص رئولوژیکی و انتقال حرارت جابجایی ترکیبی نانوسیال در لوله حلقوی هم مرکز

کوروش جواهرده

گروه مکانیک

دانشگاه گیلان

رشت، ایران

حسین آبرومند<sup>1\*</sup>، صادق آبرومند<sup>2</sup>

کارشناس ارشد مهندسی مکانیک

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان،

تاکستان، ایران

h.aberoumand@gmail.com

واژه‌های کلیدی — نانوسیال، انتقال حرارت جابجایی ترکیبی،  
نانوذره، لوله حلقوی هم مرکز

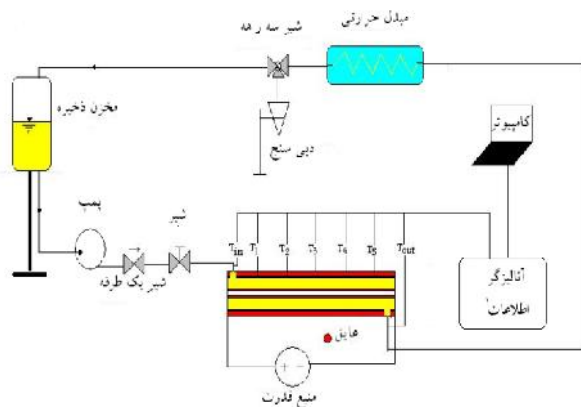
## ۱. مقدمه

امروزه شکی نیست که نانوسیالات که از تعلیق همگن نانوذرات در مایعات بدست می آیند، توجه زیادی از محققان در زمینه انتقال گرما از جهت افزایش انتقال حرارت، به ویژه هدایت حرارتی موثر آن، که بطور قابل توجهی بیشتر از هدایت حرارتی سیال پایه است، را به خود جلب کرده است. مبحث انتقال حرارت به جریان سیال در لوله های حلقوی و در کل بین فضای لوله ها بسیار مهم و حائز اهمیت می باشد. از آنجایی که جریان سیال درون فضای حلقوی میتواند با سطح هر دو لوله مبادله انتقال حرارت انجام دهد و هر یک از دو سطح میتوانند دارای شرایط مرزی متفاوت باشند، لذا این مسئله از لحاظ علوم حرارتی دارای اهمیت و پیچیدگی خاص خود می باشد. با اعمال شرایط مرزی روی لوله ها به طور دلخواه می توان به درک بهتری از انتقال حرارت دست یافت.

نوید بزرگان و همکاران [۱] به بررسی کاربرد نانوسیال اتیلن گلیکول-اکسید آلومینیوم به عنوان سیال خنک کننده مبدل حرارتی دو لوله ای پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که برای سه نمونه نانواکسید های آلومینیومی AR، AK و AF که دارای سطح، شکل و اندازه متفاوت هستند، بدلیل اینکه سطح اکسید آلومینیوم AR آبدوست و AF آبگریز است، افزایش انتقال حرارت در نانوسیال AK بیشتر از AR است و بیشترین افزایش انتقال

چکیده — در این مطالعه به بررسی آزمایشگاهی خواص رئولوژیکی و انتقال حرارت جابجایی ترکیبی نانوسیال (نقره-روغن ویژه انتقال حرارت محصول شرکت نفت بهران) در یک لوله مسی حلقوی هم مرکز با شرط مرزی شار ثابت پرداخته ایم. آزمایشها در غلظت های جرمی مختلف نانوذره نقره، ۰/۱۲٪، ۰/۳۶٪ و ۰/۷۲٪ انجام شد. توان گرمایی مورد نیاز توسط المنت حرارتی که روی سطح خارجی لوله بیرونی نصب شده است، تامین می شود و قطر بیرونی لوله خارجی ۲۵/۴ میلیمتر در نظر گرفته شد. همچنین نانوسیال از روش انفجار سیم که روش نوینی در عرصه تولید نانوسیال است، ساخته شده است. در این بررسی، تغییرات عدد بی بعد ناسلت و همچنین ضریب انتقال حرارت جابجایی بر حسب عدد رینولدز و عدد ریچاردسون در نسبت قطرهای مختلف  $0/5$  و  $0/75$  بصورت آزمایشگاهی مطالعه شد. محدوده عدد رینولدز برای جابجایی ترکیبی در این تحقیق، از ۱۴ تا ۱۶۷ محاسبه گردید. همچنین در این مطالعه مشاهده شد که با افزایش غلظت جرمی نانوذرات نقره در سیال پایه غیر نیوتونی روغن ویژه انتقال حرارت از ۰٪ وزنی تا ۰/۷۲٪ وزنی ضریب انتقال حرارت جابجایی برای نسبت قطر های ۰/۵ و ۰/۷۵ با افزایش عدد رینولدز به ترتیب حدود ۳۹/۵٪ و ۲۷/۴٪ در محدوده جابجایی ترکیبی افزایش یافت. همچنین مشاهده شد که ضریب انتقال حرارت و عدد نوسلت با افزایش عدد ریچاردسون کاهش می یابند.

مثل عدد رینولدز، عدد ریچاردسون و تغییر نسبت قطر کوچک به قطر بزرگ (تغییر قطر هیدرولیکی) به تحلیل انتقال حرارت پرداختیم. همچنین در ابتدا به بررسی خواص رئولوژیکی مثل ضریب هدایت حرارتی و ویسکوزیته نانوسیال روغن انتقال حرارت - نقره می پردازیم.



شکل ۱- سیستم آزمایشگاهی با کلیه تجهیزات بکار گرفته شده.

## ۲. روش تهیه نانوسیال

نانوسیال مورد آزمایش در این مطالعه از روش انفجار الکتریکی سیم که روشی نوین در ساخت نانوسیال است، ساخته شده است. روش کار دستگاه PNC1K به صورتی است که با قرارگیری الکترودها در محیط مایع و انفجار الکتریکی، همزمان عمل تولید و توزیع نانو پودر صورت می پذیرد (شکل ۲). لازم به ذکر است که در این فرایند از انواع فازهای مایع شامل آب دیونیزه شده<sup>۱</sup>، روغن، گلیسرین، الکل، استون، اتیلن گلیکول و آب اکسیژنه<sup>۲</sup> استفاده می شود. در استفاده از مایع انفجاری تنها یک محدودیت وجود دارد و آن عدم الکترولیت بودن مایع است. لازم به توضیح است که قابلیت ویژه دیگری در این دستگاه وجود دارد و آن امکان افزودن پایدار کننده به مایع است. به این ترتیب نانوسیال تولید شده توزیع مناسب اولیه خود را برای مدت بسیار طولانی حفظ می کند. از میان کلیه روشهای موجود در زمینه تولید نانو ذرات فلزی، روش انفجار الکتریکی اقتصادی ترین و صنعتی ترین روش موجود است. یکی از بزرگترین مزایای این روش قابلیت تولید نانوپودرهای فلزی و اکسیدی و نانوکلوئید فلزی از طیف وسیعی از فلزات می باشد. در واقع هر فلزی را که بتوان از آن سیم نازک تهیه نمود، امکان تولید نانو ذرات از آن فلز وجود خواهد داشت. [7]

<sup>1</sup> Deionized water  
<sup>2</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

حرارت در نانوسیال AF به علت شکل نانوذره میله ای و در نتیجه داشتن ضریب هدایت حرارتی بالاتر سیال پایه، مشاهده شد.

پویان رازی و همکاران [۲] به بررسی آزمایشگاهی افت فشار و مشخصات گرمایی نانوسیال اکسید مس-روغن درون لوله مسطح (پهن شده) پرداختند و نتیجه گرفتند که در یک لوله مسطح و با شرایط جریان یکسان افزایش قابل توجهی در ضریب انتقال حرارت برای نانوسیال در مقایسه با سیال پایه وجود دارد. که برای نانوسیال با غلظت ۲٪ وزنی برای لوله های پهن شده با ارتفاعهای داخلی ۶/۳، ۷/۵ و ۸/۳ میلیمتر، به ترتیب حدود ۲۶/۴٪، ۲۰/۵ و ۱۶/۸٪ افزایش در انتقال حرارت مشاهده شد.

هاشمی و اخوان بهابادی [۳] به بررسی آزمایشگاهی انتقال حرارت و افت فشار نانوسیال اکسید مس -روغن درون لوله ماریچ پردها پرداختند و مشاهده کردند که در غلظت ۲٪ وزنی نانوسیال، افزایش ۱۸/۵٪ در انتقال حرارت نسبت به لوله مستقیم رخ می دهد.

ایمان پشتکار و بهزاد قاسمی [۴] به بررسی عددی اثر نانوذرات بر انتقال حرارت جابجایی توام (ترکیبی) در کانل افقی دارای منبع گرم پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که استفاده از نانوسیال موجب افزایش انتقال حرارت از منبع می شود و همچنین با افزایش عدد ریچاردسون انتقال حرارت از سطوح جلویی و عقبی افزایش می یابد، ولی تاثیر چندانی بر سطوح بالایی منبع ندارد. دلیل آن این است که افزایش عدد ریچاردسون در مکانهایی که سرعت سیال کم است، بخوبی ظاهر می شود.

منصور طالبی و مهدی شریفی [۵] به بررسی آزمایشگاهی انتقال حرارت جابجایی درون لوله های هم مرکز با شار گرمایی متغیر کسینوسی پرداختند و نشان دادند که بیشترین دما در وسط لوله می باشد و همچنین به این نکته اشاره کردند که با افزایش عدد رینولدز حداکثر دمای سطح به دمای متوسط سطح نزدیک می شود. همچنین بیان کردند که عدد ناسلت با افزایش عدد رینولدز بیشتر میشود.

قربانی و همکاران [۶] به بررسی انتقال حرارت جابجایی ترکیبی در یک مبدل حرارتی با لوله های ماریچ پردها پرداختند و نشان دادند که ضریب انتقال حرارت بخش پوسته، وقتی گام ماریچها افزایش می یابد، ۲۳/۵٪ بیشتر می شود و بطور کلی نرخ انتقال حرارت بیشتر می شود.

در این کار ما بر اساس طرح شماتیک شکل ۱ به بررسی آزمایشگاهی انتقال حرارت جابجایی ترکیبی جریان لایه ای درون لوله حلقوی هم مرکز با شرط مرزی شار حرارتی ثابت پرداختیم و با تغییر پارامترهای مشخصی

حرارتی نانوذرات نسبت به سیال پایه است. این شکل همچنین بیانگر میزان حداکثر اختلاف بین نتایج آزمایشگاهی بدست آمده و مقادیر پیش بینی شده توسط روابط پیشنهادی است. این اختلاف برای نانوسیال با غلظت ۰/۷۲٪ برابر ۲۳٪ و ۱۸٪ به ترتیب برای روابط ماکسول<sup>۳</sup> و توریان<sup>۴</sup> است. این اختلاف به این دلیل است که هدایت حرارتی تنها به غلظت نانوذرات بستگی ندارد بلکه به پارامترهای دیگری مثل اندازه ذرات، شکل ذرات، سطح ذرات موجود در نانوسیال و دمای سیال دارد که این موارد در این روابط پیشنهادی لحاظ نشده است. رابطه. پیشنهادی فکور پاکدامن، اختلاف جزئی در حدود ۳٪ با نتایج آزمایشگاهی دارد که دلیل احتمالی شباهت سیال پایه با این تحقیق است و همچنین پارامترهای بیشتری را در رابطه خود تاثیر داده است.



شکل ۲- دستگاه PNC1K

## ۲.۱. خواص ترموفیزیکی نانوسیال و سیال پایه

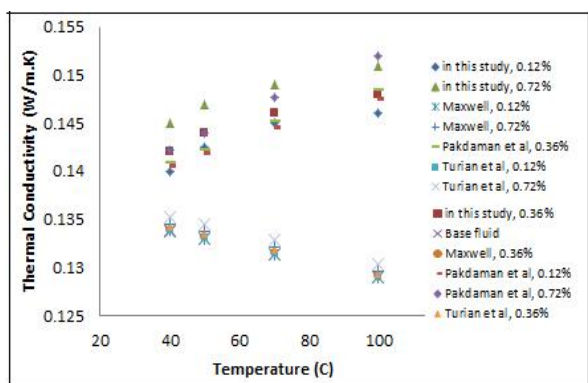
در این تحقیق، بدلیل اینکه نمی توانستیم بطور کامل روی روابط موجود در دیگر مقاله ها برای پیشبینی خواص نانوسیالات تکیه کنیم، تصمیم به اندازه گیری خواص بصورت آزمایشگاهی گرفتیم.

### ۲.۱.۱. اندازه گیری هدایت حرارتی

برای محاسبه هدایت حرارتی، چندین رابطه توسط محققان پیشنهاد شده است. جدول ۱ خلاصه ای از روابط پیشنهادی را نشان می دهد. ولی ما به منظور اندازه گیری ضریب هدایت حرارتی نانوسیال روغن انتقال حرارت - نقره از دستگاه KD2 استفاده کردیم.

این دستگاه بوسیله یک سنسور که شامل المنت گرمکن و ترمیستور می باشد، ضریب هدایت حرارتی را محاسبه می کند. وقتی شروع به اندازه گیری می نمایم دستگاه ۳۰ ثانیه برای پایدار شدن دما منتظر می ماند، سپس برای رسیدن به دمای مشخص به مدت ۳۰ ثانیه گرمکن درون سوزن که مقاومت مشخصی دارد، روشن می شود. یک میکروپروسسور توان گرمایی به کارگرفته شده را محاسبه می کند. ترمیستور تغییرات دما را به مدت ۳۰ ثانیه اندازه گیری می کند. در انتهای خواندن، دستگاه هدایت حرارتی را با استفاده از تغییر در دما بر حسب زمان محاسبه می کند.

حداکثر خطای این دستگاه ۵٪ بود. مقادیر اندازه گیری شده برای هدایت حرارتی و همچنین مقادیر محاسبه شده توسط روابط موجود در مقالات در شکل 3 آورده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است هیچکدام از روابط موجود قادر به پیشبینی هدایت حرارتی نانوسیال روغن انتقال حرارت- نقره نیستند. روند افزایشی این خاصیت از نانوسیال که عکس روند سیال پایه است گواه این مطلب است. این روند افزایشی بدلیل ضعیف شدن نیروی چسبندگی سیال و آزادتر شدن نانوذرات در دماهای بالاتر بالک سیال است. همچنین با افزایش غلظت نانوذرات، مقدار هدایت حرارتی افزایش می یابد که این امر به علت بزرگتر بودن هدایت



شکل ۳. هدایت حرارتی سیال پایه و نانوسیال و مقایسه آنها با روابط پیشنهادی

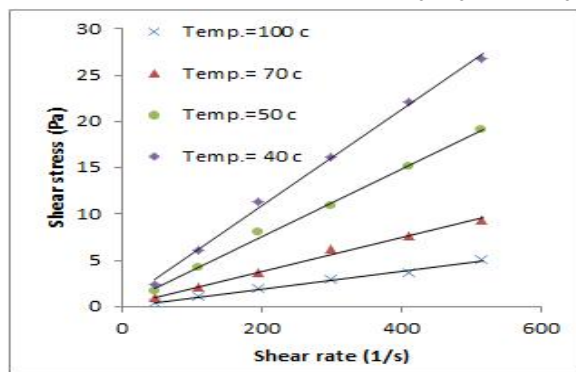
مدل	رابطه پیشنهادی <sup>(۶)</sup>
Maxwell [8]	$\frac{K}{K_0}$
Turian [9]	
Fakoor Pakdaman et al [10]	$\frac{K}{K_0} = 1 + 304$

### ۲.۱.۲. اندازه گیری ویسکوزیته

اولین قدم در بررسی خواص رئولوژی نانوسیالات، مشخص نمودن اینست که نانوسیال دارای خواص نیوتنی است یا غیر نیوتنی. بدین منظور باید مشخص کرد که آیا تنش برشی بصورت خطی با نرخ برش افزایش می یابد یا خیر. در صورت خطی بودن، سیال به صورت نیوتنی دسته بندی می شود

$$\dot{\gamma} = \sim \tau \quad (1)$$

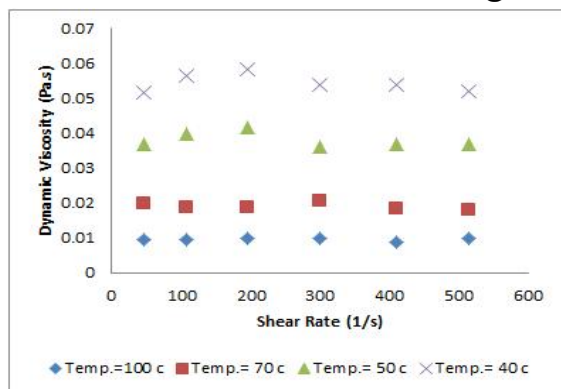
<sup>3</sup> Maxwell  
<sup>4</sup> Turian



شکل ۴. تغییرات تنش برشی بر حسب نرخ برش برای نانوسیال ۰.۳۶٪ کسر

#### جرمی

در قدم بعدی، ارتباط بین ویسکوزیته و نرخ برشی برای بررسی رفتار نانوسیال بررسی می شود. شکل ۵ ویسکوزیته دینامیکی بر حسب نرخ برشی را برای نانوسیال ۰.۳۶ درصد جرمی روغن انتقال حرارت- نقره در دماهای مختلف نشان می دهد. از این شکل برمی آید که ویسکوزیته دینامیکی تقریباً مستقل از نرخ برشی است که رفتار نیوتنی نانوسیال را نیز نشان می دهد.



شکل ۵. ارتباط بین ویسکوزیته دینامیکی با نرخ برش نانوسیال ۰.۳۶٪ کسر

#### جرمی

تغییرات ویسکوزیته ی اندازه گیری شده ی سیال پایه و نانوسیال با غلظت های مختلف در دماهای متفاوت در شکل ۶ آورده شده است. دما دارای مقادیر ۴۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰°C و غلظت جرمی نانوسیال ۰.۱۲، ۰.۳۶ و ۰.۷۲ درصد است. همان طور که در شکل دیده می شود، ویسکوزیته ی سینماتیکی همه ی نمونه ها روندی نزولی با افزایش دما داشته و به طور لگاریتمی کاهش می یابد. شکل ۶ نشان می دهد که در پائین ترین دما یعنی ۴۰°C، ویسکوزیته نانوسیال با بالاترین غلظت تقریباً ۶۵٪ بیشتر از مقدار مشابه برای روغن خالص است. در دماهای بین ۴۰ تا ۱۰۰°C، ویسکوزیته نانوسیال به سرعت با افزایش دما کاهش می یابد. با افزایش بیشتر دمای سیال، شیب کاهش ویسکوزیته بر حسب دما کاسته می شود. در شکل ۷ نیز تغییرات ویسکوزیته ی سینماتیکی سیال پایه و نانوسیال بر حسب درصد وزنی

که تنش برشی، نرخ برش و  $\mu$  ویسکوزیته دینامیکی سیال نیوتنی می باشد. شکل ۴ بیانگر تغییرات تنش برشی بر حسب نرخ برش برای نانوسیال با غلظت وزنی ۰.۳۶٪ است. بطور واضح در این شکل مشخص است که این تغییرات بصورت خطی در حال افزایش است. این امر بدلیل داشتن خواص نیوتنی نانوسیال می باشد. از این می توان نتیجه گرفت که دیگر نانوسیال مورد استفاده در این مطالعه که غلظت وزنی کمتر از ۰.۳۶٪ دارد نیز نیوتنی است. همانطور که در قسمت هدایت حرارتی اشاره شد، بعلت اینکه در اغلب روابط پیشنهادی در مقالات خواصی مانند اندازه ذرات، شکل و سطح ذرات و حتی در بعضی روابط، دما نیز در نظر گرفته نشده است و تا کنون روابطی که به صورت عمومی برای تمام نانوسیالات قابل استفاده باشد ارائه نشده است، ما در این قسمت نیز برای اندازه گیری ویسکوزیته بصورت آزمایشگاهی اقدام نمودیم. برای بررسی رفتار ویسکوزیته ی دینامیکی نانوسیال، نمونه هایی جهت تست از هر غلظت و همچنین از خود روغن پایه (بدون نانوذرات) تهیه و آزمایشات مربوطه توسط دستگاه ویسکومتر دینامیکی<sup>۵</sup> در دماهای مختلف روی نمونه ها انجام شد. دستگاه ویسکومتر بروکفیلد شامل حمام آب برای تنظیم دمای سیال می باشد. اندازه گیری ویسکوزیته ی نانوسیال از دمای ۱۰۰°C آغاز شد و تا دمای ۴۰°C کاهش یافت. میله ی گردان<sup>۶</sup> با سیالات استاندارد بروکفیلد کالیبره شد و محدوده ی اندازه گیری ویسکوزیته ی آن ۱/۵ تا ۳۰۰۰۰ سانتی پواز<sup>۷</sup> می باشد. تمامی اندازه گیری های ویسکوزیته در شرایط کاملاً پایدار انجام گرفته است. این دستگاه با استفاده از سرعت چرخش میله ی گردان و گشتاور وارده و ضرائبی که بستگی به نوع میله-ی گردان دارد، مقدار ویسکوزیته ی دینامیکی سیال را نشان می دهد. تنش برشی و نرخ برشی نیز از حاصلضرب این ضرائب در سرعت چرخش میله ی گردان و گشتاور محاسبه می شوند.

Brookfield DV-II+ Pro Programmable Viscometer  
6 Spindle

واحدهای رایج برای ویسکوزیته دینامیکی به قرار زیر می باشد:<sup>۷</sup>

$1 N \cdot s / m^2 = 1 Pa \cdot s = 1 kg / m \cdot s = 10 p(Poise) = 10 dyne \cdot s / cm^2 = 10 g / cm \cdot s = 1000 cP$   
همچنین ویسکوزیته سینماتیکی (ویسکوزیته ای که در آن اثر هیچ نیرویی دخیل

نمی باشد) از تقسیم ویسکوزیته دینامیکی بر چگالی سیال حاصل می شود

که در زیر به واحدهای رایج آن اشاره می شود:  $\rho = \dots / \dots$

$$1 m^2 / s = 10^4 St = 10^6 cSt$$

میلیمتر، 12/7 میلیمتر و 19/05 میلیمتر می- باشد. جنس لوله ها بخاطر هدایت حرارتی بالا از مس ساخته شده است. بر روی لوله ی بیرونی سیم المنت ۲۰۵ وات متصل به جریان مستقیم با گامهای یکسان به طول یک متر نصب شده است و دو طرف لوله توسط دو بخش کاملاً عایق به طول هر کدام ۲۰ سانتیمتر پوشیده شده است. روی قسمت مورد آزمایش توسط دو عایق حرارتی کا فلاکس و پشم شیشه به ضخامت مناسب برای حداقل کردن اتلاف گرما به بیرون پوشانده شده است. دو سنسور دمای PT 100 برای اندازه گیری سیال ورودی و خروجی در دو طرف تست سکشن درون لوله نصب شده اند و روی تست سکشن به فاصله های یکسان، پنج سنسور PT 100 برای اندازه گیری دماهای سطح در نقاط مختلف سطح نصب شده اند. همه ۷ سنسور به آنالیزگر اطلاعات USB 4716 متصل میشوند. USB 4716، اطلاعات را هر دو ثانیه ثبت میکند.

#### ۴. تحلیل ها

محاسبات و آنالیزهای انجام شده برای اندازه گیری انتقال حرارت با بررسی تغییرات عدد ناسلت محلی و ضریب انتقال حرارت محلی بدست میآیند. ولی در ابتدا باید مشخص شود سیال مورد آزمایش از لحاظ هیدرودینامیکی و حرارتی در ناحیه ورودی است یا کاملاً توسعه یافته؟ [۱۱]

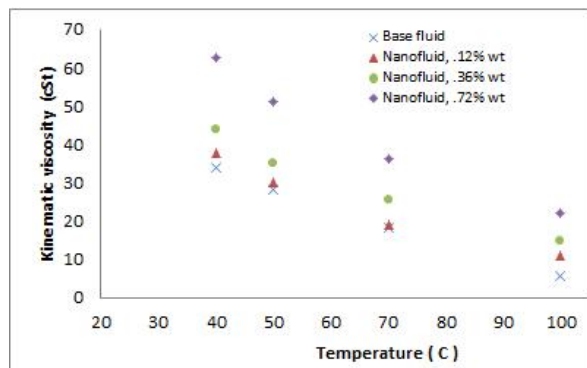
$$\frac{X_{fd,h}}{D_h} = 0.05 \times Re \quad (2)$$

$$\frac{X_{fd,t}}{D_h} = 0.05 \times Re \times Pr \quad (3)$$

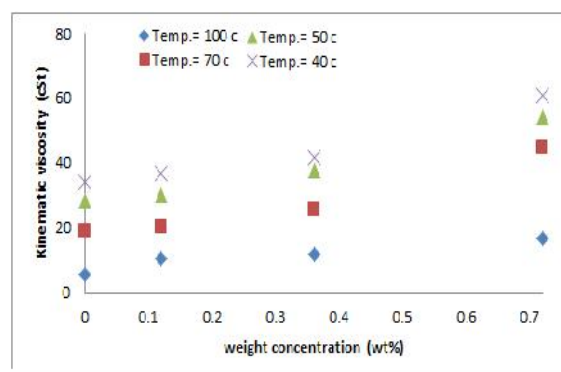
که در آنجا  $X_{fd,h}$  طول ورودی هیدرودینامیکی و  $X_{fd,t}$  طول ورودی گرمایی است. با توجه به محاسبات معلوم شد که سیال ها از لحاظ هیدرودینامیکی در ناحیه کاملاً توسعه یافته و از لحاظ گرمایی در ناحیه ورودی می باشند.

$$\frac{dT_b}{dx} = \frac{q''_p}{\dot{m}C_p} = \frac{p}{\dot{m}C_p} h(T_s - T_b) \quad (4)$$

نانوذرات در دماهای مختلف آورده شده است. داده‌ها نشان می‌دهند که تغییرات ویسکوزیته با افزایش درصد وزنی نانوذرات افزایش می‌یابد به طوری که شیب این افزایش در دماهای بالاتر رو به کاهش می‌گذارد. دلیل این کاهش را می‌توان اثر افزایش دما بر روی سست شدن نیروهای بین ذره یا بین مولکولی دانست.



شکل ۶. تغییرات ویسکوزیته سینماتیکی بر حسب دما برای سیال پایه و نانوسیال ها



شکل ۷. تغییرات ویسکوزیته سینماتیکی بر حسب غلظت جرمی

#### ۳. شرح دستگاه آزمایش

شکل ۱ سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده را توضیح میدهد. این سیستم شامل یک مخزن، یک پمپ، بخش مورد آزمایش، المنتهای حرارتی، آنالیزگر اطلاعات USB 4716، سنسورهای دمای PT 100 با دقت اندازه گیری 0/1 درجه سانتیگراد، مبدل حرارتی، شیر تنظیم دبی، شیر بای پاس و لوله های رابط تشکیل شده است. سیال از درون مخزن که در سطح بالاتری نسبت به پمپ قرار دارد، به پمپ سرازیر میشود. پمپ مورد استفاده (مدل Calpeda)، سه سرعته میباشد و میتواند روی سه توان ۷۷، ۱۱۶ و ۱۳۶ وات تنظیم شود و دبی های مناسب را برای آزمایش برآحتی فراهم میکند. بخش مورد آزمایش لوله حلقوی به طول 1/45 متر و لوله بیرونی دارای قطر داخلی 25/4 میلیمتر و لوله های داخلی با قطر داخلی 6/35

یافته ارزیابی گردید. جهت مقایسه ی نتایج به دست آمده با روابط موجود، از معادله زیر استفاده گردید. [ ]

$$q'' = q_{conv} \times (P.L) \quad (5)$$

$$Nu_x = \left[ \frac{1}{Nu_\infty} - \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\exp(-\chi_m^2 X^*)}{\chi_m^4 A_m} \right]^{-1} \left( \frac{\tilde{s}}{\tilde{m}} \right)^{-0.14} \quad (16)$$

از طرفی داریم:

در رابطه بالا  $Nu_\infty = 4.36$  میباشد.  $\tilde{s}$  و  $\tilde{m}$ ، ویسکوزیته سیال در دماهای سطح و بالک می باشند.  $A_m$  و  $X_m$  در جدول (۱) نشان داده شده است.

$$q = \dot{m}.C_p.(T_{mo} - T_{mi}) \quad (6)$$

با انتگرالگیری از  $x=0$  و برای شار حرارتی ثابت در سطح داریم:

$$\text{همچنین } X^* = \frac{2x}{D} \text{ Re.Pr}$$

$$T_m(x) = T_{mi}(x) + \frac{q''px}{\dot{m}C_p} \quad (7)$$

جابجایی و عدد ناسلت محلی را در مکانهای مختلف تست سکشن پیدا کرد و با نتیجه حاصله از آزمایش مقایسه کرد.

$$q'' = h_x(T_{sx} - T_{mx}) \quad (8)$$

شکل ۸ نتایج حاصل از این مطالعه برای سیال پایه و لوله ی صاف افقی را در مقایسه با سایر روابط موجود نشان می دهد. حداکثر اختلاف بین مقادیر به دست آمده برای عدد نوسلت با مقادیر به دست آمده از رابطه ی (۱۵) حدود ۷/۲٪ برآورد گردید بنابراین با توجه به تطابق قابل قبول بین نتایج این مطالعه با سایر روابط موجود، از صحت اطلاعات به دست آمده از طریق دستگاه آزمایش می توان مطمئن بود.

به این ترتیب می توان ضریب متوسط انتقال حرارت جابجایی را از طریق معادله ی (۷) به دست آورد. ضمناً خواص سیال در دمای میانگین محاسبه می گردد.

$$T_m = \frac{\left( \frac{T_{b,m} + T_{b,o}}{2} \right) + \sum_{1}^n T(s)n}{2n} \quad (9)$$

که  $n$  برابر تعداد نقاط اندازه گیری برای دمای سطح میباشد.

$$D_h = D_o - D_i \quad (10)$$

اعداد بی بعد استفاده شده در این مطالعه به صورت زیر می باشند:

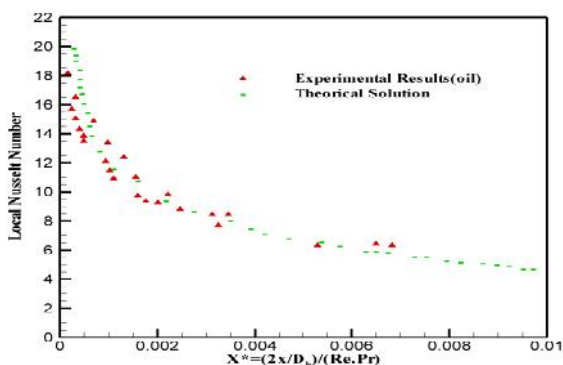
$$Re = \frac{\bar{V}d_h}{\nu} \quad (11)$$

$$Nu = \frac{h.d_h}{k} \quad (12)$$

$$Ri = \frac{Gr}{Re^2} \quad (13)$$

$$Gr = \frac{\rho \cdot g \cdot S \cdot q'' D_h^4}{k \cdot \tau^2} \quad (14)$$

$$Pr = \frac{\tau \cdot C_p}{k} \quad (15)$$

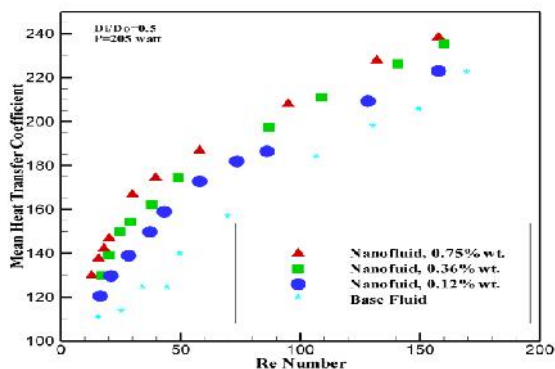


شکل ۸ مقایسه ی نتایج تجربی این مطالعه برای سیال پایه در لوله صاف افقی با مقادیر بدست آمده از سایر مطالعات

## ۵. بررسی دقت و تائید دستگاه آزمایش

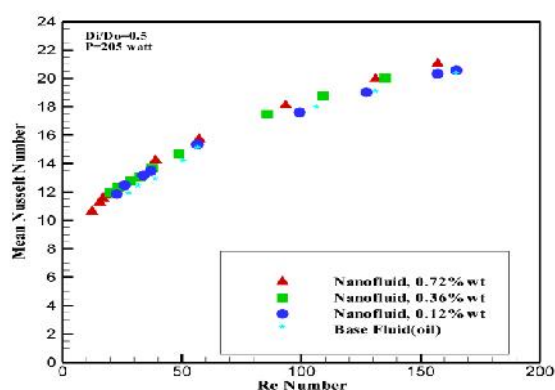
جهت بررسی صحت و دقت عملکرد دستگاه آزمایش، قبل از انجام آزمایشات روی نانوسیالات و لوله ی حلقوی هم مرز، روغن انتقال حرارت خالص به عنوان سیال پایه در داخل لوله ی مستقیم مورد آزمایش قرار گرفت. با توجه به ابعاد هندسی لوله ی آزمایش، سیال (روغن) بدلیل داشتن پرانتل بالا از نظر حرارتی در حال توسعه و از نظر هیدرودینامیکی توسعه

جدول ۱ مقادیر  $A_m$  و  $X_m^2$  [11]



m	$A_m$	$X_m^2$
1	۰/۰۰۰۷۶۳	۲۵/۶۸
2	۰/۰۰۲۰۵۳	۸۳/۸۶
3	۰/۰۰۰۹۰۳	۱۷۴/۳
4	۰/۰۰۰۴۹۱	۲۹۶/۵
5	۰/۰۰۰۳۰۷	۴۵۰/۹

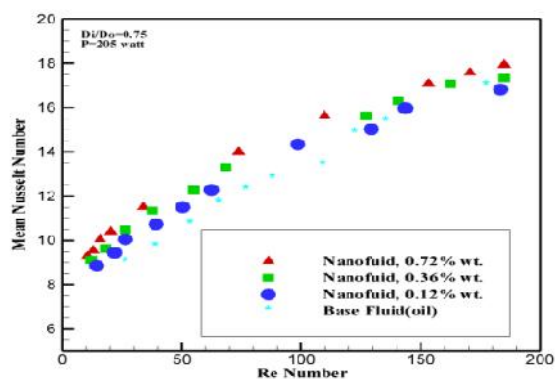
شکل ۹ تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی با عدد رینولدز در نسبتهای وزنی مختلف



### ۵.۱. بررسی اثر تغییر نسبت قطرها بر انتقال حرارت نانوسیال

شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان دهنده تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط و عدد ناسلت متوسط با افزایش عدد رینولدز در نسبت قطر ۰/۵ و توان گرمایی ۲۰۵ وات را نشان می‌دهند. با توجه به نمودار با افزایش عدد رینولدز ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط افزایش یافته که به دلیل افزایش حرکات براونی و سرعت متوسط سیال است. همچنین مشاهده میشود که با افزایش غلظت از ۰٪ تا ۰/۷۵٪، ضریب انتقال حرارت در رینولدز ۳۹/۵، حدود ۲۳٪ افزایش می‌یابد. اضافه کردن نانوذرات باعث افزایش ضریب هدایت حرارتی نانوسیال میشود و این افزایش و همچنین حرکت نامنظم نانوذرات باعث اختلال در لایه مرزی شده و از آنجایی که این اختلال در ناحیه ورودی بیشتر وجود دارد، لذا باعث افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی در این ناحیه میشود.

شکل ۱۰ تغییرات عدد ناسلت با عدد رینولدز در نسبتهای وزنی مختلف

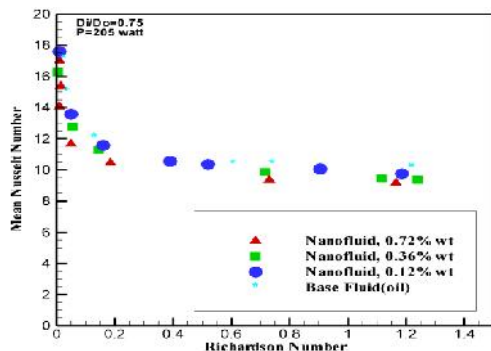


شکل‌های ۱۱ و ۱۲، افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط و عدد ناسلت متوسط را با افزایش عدد رینولدز نشان می‌دهد. مشاهده میشود که در نسبت قطر ۰/۷۵ و توان حرارتی ۲۰۵ وات ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط و عدد ناسلت متوسط با افزایش عدد رینولدز و همچنین با افزایش غلظت نانوسیال افزایش می‌یابد. با افزایش در عدد رینولدز تا ۲۷/۴، حدود ۱۳/۸۸٪ افزایش در ضریب انتقال حرارت جابجایی برای غلظت ۰/۷۵٪ در مقایسه با غلظت ۰/۰٪ مشاهده شد.



شکل ۱۳. تغییرات عدد ناسلت متوسط بر حسب عدد ریچاردسون برای نسبت

قطر 0/5



شکل ۱۴. تغییرات عدد ناسلت متوسط بر حسب عدد ریچاردسون برای نسبت

قطر 0/75

مشاهده می شود که با افزایش نسبت قطر ها یعنی با کاهش قطر هیدرولیکی عدد ناسلت و ضریب انتقال حرارت جابجایی برای عدد ریچاردسون برابر با ۱، کاهش می یابد. دلیل این کاهش این است که با کاهش قطر هیدرولیکی عدد گراشسف کاهش یافته و در نتیجه عدد رینولدز برای رسیدن به عدد ریچاردسون یک نیز باید کم شود و ضریب انتقال حرارت جابجایی و همچنین عدد ناسلت کم میشود..

## ۶. کاربرد نانوسیال در صنعت برق و نیروگاهها

در ساخت و بهره برداری از کلیه نیروگاهها مراحل طی می شود که این مراحل شامل مطالعه و برنامه ریزی، طراحی، ساخت و نصب تجهیزات است.

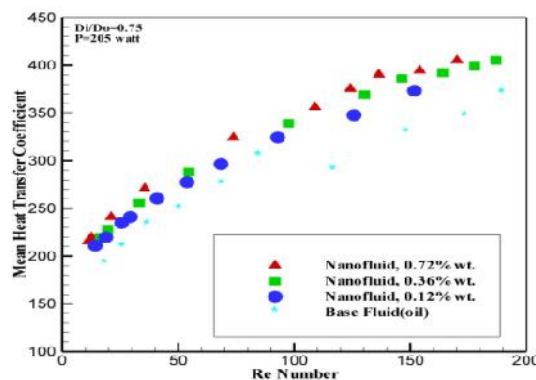
در مراحل اولیه متولیان صنعت برق با انجام مطالعات بار و برنامه ریزی شبکه برق سراسری با در نظر گرفتن عوامل گوناگون از جمله مطالعات جمعیتی، نیازهای آینده، پیش بینی حداکثر بار و شدت بار در سیستم، نیازهای انتقال، میزان تولید آینده را تشخیص و سپس نیازهای منطقه ای و جایگاه نیروگاهها را در سطح کشور تعیین می کنند.

### ۶.۱. اقدامات بهینه سازی

نیروگاه حرارتی جهت تولید انرژی الکتریکی بکار می رود که در عمل پره های توربین بخار توسط فشار زیاد بخار آب، به حرکت در آمده و ژنراتور را که با توربین کوپل شده است، به چرخش در می آورد. در نتیجه ژنراتور انرژی الکتریکی تولید می کند. نیروگاه حرارتی به مقدار زیادی آب نیاز دارد. در نتیجه در محلهایی که آب به فراوانی یافت می شود، ترجیحا از

شکل ۱۱. تغییرات عدد ناسلت متوسط با افزایش عدد رینولدز در نسبتهای وزنی

مختلف



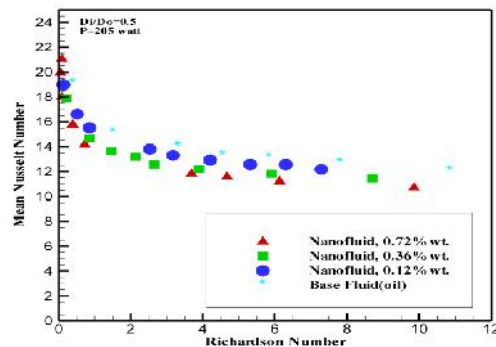
شکل ۱۲. تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط با افزایش عدد

رینولدز در نسبتهای وزنی مختلف

## ۵.۲. انتقال حرارت در محدوده جابجایی

### ترکیبی

حال به بررسی انتقال حرارت در محدوده جابجایی ترکیبی می پردازیم. برای نسبت قطرهای 0/5 و 0/75 و توان گرمایی ۲۰۵ وات، عدد ناسلت بر حسب اعداد ریچاردسون در محدوده ۰ تا ۱۰ برای نسبت قطر 0/5 (شکل ۱۳) و اعداد ریچاردسون ۰ تا 1/5 برای نسبت قطر 0/75 (شکل ۱۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۳، در محدوده جابجایی ترکیبی با افزایش عدد ریچاردسون، عدد ناسلت بدلیل افزایش نسبت جابجایی طبیعی به جابجایی اجباری، کاهش میابد. همچنین با افزایش غلظت نانوسیال از ۰٪ تا 0/75 عدد ناسلت کاهش می یابد. دلیل این کاهش این است که عدد گراشسف با افزایش غلظت نانوذرات کاهش یافته و در نتیجه عدد رینولدز برای قرار گرفتن انتقال حرارت در محدوده جابجایی ترکیبی کاهش می یابد که باعث کاهش عدد ناسلت متوسط میشود.



افزایش دما به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. به علاوه معلوم شد که ویسکوزیته به صورت با افزایش درصد بطور قابل ملاحظه ای بطور افزایش می‌یابد.

ضریب هدایت حرارتی روغن انتقال حرارت - نقره به صورت غیر خطی با افزایش غلظت نانوسیال و افزایش دما افزایش پیدا می‌کند. بیشترین مقدار افزایش هدایت حرارتی ۱۷٪ می‌باشد که مربوط به نانوسیال با غلظت ۰/۷۲ درصد جرمی در دمای ۱۰۰ درجه می‌باشد. همچنین نرخ افزایش ضریب هدایت حرارتی در غلظت‌های پائین بیشتر از غلظت‌های بالا می‌باشد ولی در سیال پایه این کمیت با افزایش دما کاهش می‌یابد.

همچنین مشاهده شده است که ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت با افزایش عدد رینولدز افزایش یافتند و همچنین با افزایش غلظت نانوذرات ضریب انتقال حرارت جابجایی برای نسبت قطر کوچک به قطر بزرگ ۰/۵ برای عدد رینولدز ۳۹/۵ حدود ۲۳٪ و برای نسبت قطر کوچک به قطر بزرگ ۰/۷۵ این ضریب حدود ۱۳/۸۸٪ برای عدد رینولدز ۲۷/۴ افزایش یافته است. با کاهش قطر هیدرولیکی، به علت افزایش شار حرارتی واحد حجم و همچنین کاهش عدد گراشهف محدوده جابجایی ترکیبی به اعداد رینولدز کمتر منتقل می‌شود که منجر به کاهش عدد ناسلت و ضریب انتقال حرارت جابجایی می‌شود.

نانوسیال به عنوان خنک کننده یا به عبارت دیگر به عنوان سیالی که باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود، می‌تواند با بکار رفتن در توربین‌ها باعث خنک کاری هر چه بهتر این توربین‌ها شوند و در نتیجه موجب افزایش راندمان و تولید برق بیشتر می‌شود.

#### ۱- فهرست علائم

$h$  ضریب انتقال حرارت ( $w/m^2k$ )

$P$  محیط ( $m$ )

$L$  متر ( $m$ )

$D$  قطر ( $m$ )

$T$  دما ( $k$ )

$q$  نرخ انتقال حرارت ( $w$ )

$\dot{m}$  دبی جرمی ( $kg/s$ )

$q''$  شار حرارتی ( $w/m^2$ )

$C_p$  ظرفیت گرمایی ویژه ( $j/kg.k$ )

این نوع نیروگاه استفاده می‌شود. چون انرژی الکتریکی را به روشهای دیگری، مثل انرژی آب در پشت سدها (توربین آبی)، انرژی باد (توربین بادی)، انرژی سوخت (توربین گازی) و انرژی اتمی هم می‌توان تهیه کرد. سوخت نیروگاه حرارتی شامل، مازوت، فروت و یا گازوئیل طبیعی است.

در اینجا بررسی کلی اقدامات بهینه سازی براساس اجزاء پروسه تولید و با نگاه افزایش راندمان پرداخته شده است. بسته به نوع نیروگاه حرارتی (بخاری، گازی، سیکل ترکیبی) اجزاء پروسه تولید کمی با یکدیگر تفاوت می‌کنند اما نکات قابل توجهی در طراحی، ساخت و بهره‌برداری هر یک جهت افزایش راندمان نیروگاه قابل ملاحظه است. توان گرفته شده از توربین گازی معمولاً به محور ژنراتور و کمپرسور منتقل می‌شود. حدود یک سوم این توان تبدیل به انرژی الکتریکی در ژنراتور می‌شود و بقیه جهت چرخاندن محور کمپرسور و تأمین هوای فشرده جهت توربین بکار می‌رود. به همین خاطر راندمان توربین‌های گازی پایین و حدود ۲۷٪ هستند. با افزایش درجه حرارت توربین‌ها نیاز به سیستم سرمایش پیدا می‌کند. تنش‌های حرارتی در پره‌های متحرک توربین به وسیله سرعت زیاد چرخشی، توزیع حرارت در سطوح مقطع پره‌ها، نیروی ضربانی و استاتیک ایجاد می‌شود. همچنین تنش‌های حرارتی دیگری در هنگام راه‌اندازی، خاموش کردن و تغییر بار نیروگاه صورت می‌گیرد. در عمل برای کاهش خستگی و فرسودگی پره‌ها، درجه حرارت آنها باید زیر ۹۰۰ درجه سانتیگراد باشد. افزایش دمای موتور موجب صدمه به پره‌های توربین می‌شود بنابراین نیاز است تکنولوژی خنک کاری پره‌ها هرچه بیشتر ارتقا یابد. نانوسیال به عنوان خنک کننده یا به عبارت دیگر به عنوان سیالی که باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود، می‌تواند با بکار رفتن در توربین‌ها باعث خنک کاری هر چه بهتر این توربین‌ها شوند و در نتیجه موجب افزایش راندمان و تولید برق بیشتر می‌شود.

#### ۷. نتیجه گیری

انتقال حرارت جابجایی ترکیبی نانوسیال غیر نیوتونی با سیال پایه روغن و نانوذرات جامد نقره درون لوله حلقوی هم مرکز با شرط مرزی شار ثابت بصورت آزمایشگاهی بررسی شد.

نانوسیال روغن انتقال حرارت - نقره برای غلظت‌های ۰/۱۲٪ و ۰/۳۶٪ رفتار نیوتنی از خود نشان داد و در غلظت ۰/۷۲٪ رفتاری غیر نیوتنی را بروز داد. همچنین دما تأثیر زیادی بر ویسکوزیته ی نانوسیال می‌گذارد و با

## علائم یونانی

 $\rho$  چگالی ( $\text{kg/m}^3$ ) $\beta$  ضریب نفوذ حرارتی ( $1/\text{K}$ ) $\mu$  ویسکوزیته دینامیکی ( $\text{N.s/m}^2$ ) $\nu$  ویسکوزیته سینماتیکی ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

## زیر نویس

 $h$  هیدرولیکی $o$  خروجی $i$  ورودی $m$  متوسط $B$  بالک

## ۲- مراجع

- [1] N. Bozorgan, F. Panahizadeh, N. Bozorgan, Investigating the using of  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{EG}$  nanofluids as coolants in a double-tube heat exchanger, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 11, No. 3, pp. 75-84, 2011. (In Persian)
- [2] P. Razi, M.A. AkhavanBehabadi, M.Saeedinia, Pressure drop and thermal characteristics of  $\text{CuO}$ -base oil nanofluid laminar flow in flattened tubes under constant heat flux, *International Communications in Heat and Mass Transfer* Vol. 38, pp.964-971, 2011.
- [3] S.M. Hashemi, M.A. AkhavanBehabadi, An empirical study on heat transfer and pressure drop characteristics of  $\text{CuO}$ -base oil nanofluid flow in a horizontal helically coiled tube under constant heat flux, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 39, pp. 144-151, 2012.
- [4] I. Pishkar, B. Ghasemi, Effect of nanoparticles on mixed convection heat transfer in a horizontal channel with heat source, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 11, No. 2, pp. 95-108, 2012. (In Persian)
- [5] M.Talebi, M.Sharifi, Experimental Investigation Of Convective Heat Transfer In Concentric Annuli With Cosine Heat Flux, *In the 19th Annual Conference on Mechanical Engineering-ISME*, Shiraz, Iran, 2012.
- [6] N.Ghorbani, H.Taherian, M.Gorji, H. Mirgolbabaee, Experimental study of mixed convection heat transfer in vertical helically coiled tube heat exchangers, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 34, pp. 900-905, 2010.
- [7] Zhu, H., Lin, Y. and Yin, Y., 2004. "A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids," *Journal of Colloid Interface Science*, 227, pp. 100-103.
- [8] J.C. Maxwell, 1881. A Treatise on Electricity and Magnetism, Second ed., Clarendon Press, Oxford, UK.
- [9] Turian, R.M., Sung, D.J., Hsu, F.L., 1991. "Thermal Conductivity of Granular Coals, Coal-Water Mixtures and Multi-Solid/Liquid Suspensions," *Fuel* 70, 1157-1172.
- [10] Fakoor, Pakdaman, M., Akhavan-Behabadi, M.A., and Razi, P., 2012. "An experimental investigation on thermo-physical properties and overall performance of MWCNT/heat transfer oil nanofluid flow inside vertical helically coiled tubes," *Experimental Thermal and Fluid Science* 40, pp.103-111.

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

توجه: بررسی مقاله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

PROPOSAL  
پروپوزال

توجه: پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

ISI  
Scopus

توجه: آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو