به نام خداوند بخشنده مهربان

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش

تبدیل انرژی

عنوان پایان نامه:

بررسی تجربی انتقال حرارت جابجایی اجباری نانوسیال در یک مبدل گرمایی جریان فواره ای

استادان راهنما:

دکتر تورج یوسفی

دکتر حبیب ا... صفرزاده

استاد مشاور:

دکتر فرزاد ویسی

نگارش :

آرمان یوسفی نوحدانی

تیرماه ۱۳۹۰

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

نام دانشجو :آرمان یوسفی نوحدانی

تحت عنوان

عنوان پایان نامه

بررسی تجربی انتقال حرارت جابجایی اجباری نانوسیال در یک مبدل گرمایی جریان فواره ای

در تاریخ ۱۳۹۰/۰۴/۲۲ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما	دکتر تورج یوسفی با مرتبه علمی استادیار	امضاء
۲- استاد راهنما	دکتر حبیب ا... صفرزاده با مرتبه علمی استادیار	امضاء
۳- استاد مشاور	دکتر فرزاد ویسی با مرتبه علمی استادیار	امضاء
۴- استاد داور داخل گروه	دکتر شهرام شریف نیا با مرتبه علمی استادیار	امضاء
۵- استاد داور خارج گروه	دکتر محسن گودرزی با مرتبه علمی استادیار	امضاء

در اینجا برآنم که از زحمات صادقانه و بیدریغ استاد گرانقدر جناب آقای دکتر یوسفی که در راه نیل به این هدف بسیار مرا راهنمایی و مساعدت نمودند کمال تشکر و قدردانی را بنمایم.

تقدیم به

پدر، مادر ، خانواده

و همسر عزیزم

که در تمامی مراحل این پایان نامه همراه من بود و وجودش باعث دلگرمی

چکیده

مسئله انتقال گرما و روشهای انتقال آن در موارد زیادی بویژه در صنعت و مسایل پژوهشی بسیار حائز اهمیت می باشد. در مواردی که نیاز به انتقال گرمای سریع و زیاد مد نظر باشد روش انتقال گرمای جابجایی اجباری دارای کاربرد فراوان می باشد. روشهای انتقال گرمای جابجایی اجباری بوسیله سیال خنک کاری آب، هوا، روغن، اتیلن گلایکول و غیره انجام می گیرد. از نمونه های پرکاربرد این نوع انتقال گرما می توان به کاربرد آن در صنعت تزریق پلاستیک جهت خنک کردن قالب و مخزن روغن، در صنایع کاغذسازی، صنایع شیشه سازی، صنایع فولاد و در صنعت الکترونیک و بویژه در سوپرکامپیوترهای آینده و نیز بسیاری از صنایع دیگر که یادآوری آنها دراینجا نیاز به قلم فرسایی بسیار دارد، اشاره نمود. اما روش موثرتری برای انتقال گرمای جابجایی اجباری وجود دارد و آن روش انتقال گرمای جابجایی اجباری بوسیله برخورد جت صفحه ای با سطوحی که باید خنک شوند می باشد. این نوع روش خنک کاری بطور گسترده ای در المانهایی که در معرض دمای بالا و یا در جایی که شار گرمایی بالاست بکاربرده می شوند. سیال خنک کاری در میزان انتقال گرمای جابجایی اجباری بسیار موثر می باشد. در چند سال اخیر روش نوینی به تمام روشهای انتقال گرمای جابجایی اجباری اضافه شده که آن کاربرد نانوپودرهای اکسید فلزات با رسانایی بالا نظیر اکسیدمس، اکسید آلومینیوم و غیره می باشد. در این پایانامه انتقال حرارت جابجایی اجباری که یکی از روشهای موثر در انتقال گرما می باشد در برخورد جت صفحه ای با سطوح داخلی یک لوله بوسیله سیال آب و نانوسیال آب– Al_2O_3 بصورت تجربی بررسی شده است. در این بررسی اثرات عدد رینولدز براساس شعاع معادل هیدرولیکی برای سیال آب و نانوسیال آب– Al_2O_3 بررسی و با هم مقایسه شده اند. اعداد رینولدز در گستره ۱۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ تغییرکرده است. شار حرارتی روی سطح لوله بصورت ثابت و در حدود W/m^2 ۲۶۰۰۰ در نظر گرفته شده و دبی سیال نیز بین ۳ تا lit/min ۵ تغییرکرده است. اما نانوسیال بکار رفته دارای درصدهای وزنی ۰/۰۲، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد وزنی بوده است. نتایج بدست آمده نشان دادند که افزودن نانوپودر به سیال پایه باعث افزایش میزان ضریب انتقال گرمای جابجایی می شود. این افزایش در درصد های وزنی مختلف، متفاوت بوده است. از ۰/۰۲ درصد وزنی تا ۰/۱ درصد وزنی همواره این روند افزایشی بوده و در ۰/۱۵ درصد وزنی اگرچه میزان ضریب انتقال گرمای جابجایی افزایش داشته ولی درصد این افزایش بسیار کمتر از ۰/۱ درصد وزنی نانوسیال بوده و در ۰/۲ درصد وزنی نانوسیال ضریب انتقال گرمای جابجایی بصورت ناگهانی کاهش می یابد و میزان افزایش ضریب انتقال گرما در حد نانوسیال ۰/۰۵ درصد وزنی بوده است. اما نکته جالب توجه در این بررسی آنست که با افزایش عدد رینولدز در همه آزمایشها هم آب و هم نانوسیال آب–Al_2O_3 میزان ضریب انتقال گرمای جابجایی نیز افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: جت صفحه ای، انتقال حرارت درون لوله، انتقال حرارت جابجایی اجباری

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: تاریخچه ۱

۱-۱- کارهای انجام شده ۲

فصل دوم: ساخت دستگاه آزمایش و چیدمان آزمون ۱۱

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- دستگاه آزمایش ۱۳

۲-۲-۱- جت صفحه ای ۱۳

۲-۲-۲- لوله های ورودی آب سرد ۱۴

۲-۲-۳- لوله داغ ۱۴

۲-۲-۴-درپوش ها ۱۵

۲-۲-۵- لوله های خروجی آب گرم ۱۶

۲-۲-۶- هیتر ۱۷

۲-۲-۷- عایق ۱۸

۲-۲-۸- ترموکوپلها ۱۹

۲-۳- پمپ ۲۰

۲-۴- مبدل گرمایی ۲۱

۲-۵- دبی سنج ۲۲

۲-۶- شیلنگها و شیرهای دستی ۲۴

۲-۷- مخزن ۲۴

۲-۸- دیمر و مولتی متر ۲۶

۲-۹- سه راهی ۲۶

۲-۱۰- کامپیوتر و دیتا لاگر ۲۷

۲-۱۱- نحوه چیدمان آزمون ۲۷

فصل سوم: تاریخچه نانوسیالات و روش تهیه نانوسیال آب-Al_2O_3 ۲۹

۳-۱- تاریخچه نانوسیالات ۳۰

۳-۲- روش های متداول برای افزایش انتقال گرما ۳۱

۳-۲-۱- سوسپانسیون های مایع- جامد متداول و محدودیتهایشان ۳۱

۳-۲-۲- خنک کاری میکروکانال و محدودیت های آن ۳۱

۳-۳- مبانی نانوسیالات ۳۳

۳-۳-۱- مینیاتورسازی و نانوفناوری ۳۴
۳-۳-۲- پیدایش نانوسیالات ۳۴

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۴- گسترش مفهوم نانوسیالات ۳۶
۳-۵- تهیه نانوسیالات ۳۸
۳-۵-۱- پتانسیل زیتا ۳۹
۳-۶- فرمولاسیون و ویژگی و تهیه نانوسیالات آب-TiO_2 ..... ۴۱
۳-۷- تعیین سرفکتنت مناسب و درصد وزنی بهینه آن و همچنین مقدار pH بهینه برای تهیه نانوسیالات آب-Al_2O_3 ..... ۴۵
۳-۷-۱- روش تهیه نانوسیال آب-Al_2O_3 ..... ۴۶
۳-۷-۲- تاثیرpH برپایداری و رسانندگی گرمایی سوسپانسیونهای نانوآلومینا ۴۸
۳-۷-۳- تاثیرغلظت سدیم دادکیل بنزن سولفونات بر پایداری و رسانندگی گرمایی سوسپانسیونهای نانوآلومینا ۵۲
۳-۷-۴- تاثیر درصد وزنی نانوذره بررسانندگی گرمایی سوسپانسیونهای نانو آلومینا ۵۴
۳-۷-۵- cmc و تاثیر آن در پخش سوسپانسیون ۵۵
۳-۷-۶- روش تولید نانوسیال آب-Al_2O_3 با ۰/۱ درصد وزنی ۵۷
۳-۷-۷- پروتکل برای تهیه تقریبا ۱/۵ لیترنانوسیال آب-Al_2O_3 با ۰/۱ درصد وزنی ۵۹
۳-۸- ویژگیهای ترموفیزیکی نانوسیالات ۶۰
۳-۸-۱- مدلسازی رسانندگی گرمایی نانوسیال ۶۰
۳-۸-۲- اثرات پارامترهای مختلف بررسانندگی گرمایی موثر نانوسیالات ۶۷
۳-۸-۳- روابط تجربی برای یافتن نقش دما و اندازه نانوذره بر افزایش رسانندگی گرمایی موثر نانوسیال آب $-Al_2O_3$ ۶۹
۳-۸-۴- چگالی نانوسیالات ۷۶
۳-۸-۵- گرمای ویژه نانوسیالات ۷۶
۳-۸-۶- لزجت دینامیکی نانوسیالات ۷۷
۳-۹- نحوه آماده نمودن نانوسیال آب-AL_2O_3 ..... ۷۷
۳-۹-۱- لوازم مورد نیازجهت آماده نمودن نانوسیال ۷۷
۳-۹-۲- تهیه نانوسیال با درصدهای وزنی ۰/۰۲، ۰/۰۵، ۰/۱ ، ۰/۱۵ و ۰/۲ ..... ۷۸
۳-۹-۳- نانوسیالات آب-Al_2O_3 تولید شده با درصدهای جرمی مختلف دیگر ۸۱
فصل چهارم: نحوه انجام آزمون و نتایج آزمایش با آب ۸۳
۴-۱- روش آزمایش ۸۴
۴-۲- نتایج آزمایش و تحلیل داده ها ۸۵

۴-۳- تحلیل خطا و عدم قطعیت نتایج..... ۹۲
فصل پنجم: بررسی نتایج آزمایش با نانوسیال آب-Al_2O_3 و بحث ونتیجه گیری..... ۹۶

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۵-۱- نتایج آزمایش و تحلیل داده ها..... ۹۷
۵-۲- نتایج آزمایش و تحلیل داده ها با درصد وزنی ۰/۰۲ درصد..... ۹۷
۵-۲-۱- نتایج آزمایش و تحلیل داده های درصدهای وزنی ۰/۰۵ ، ۰/۱ ، ۰/۱۵ و ۰/۲
.....
۱۰۵
۵-۳- مقایسه نتایج نانوسیال
.....
۱۰۹
۵-۳-۱- مقایسه ضریب متوسط انتقال حرارت جابجایی نانوسیال با درصدهای گوناگون و آب در یک رینولدز ثابت
.....
۱۱۰
۵-۳-۲- مقایسه ضریب میانگین انتقال حرارت جابجایی
.....
۱۱۱
۵-۴- بحث ونتیجه گیری
.....
۱۱۲

منابع و ماخذ

.....
۱۱۴
پیوست
.....
۱۱۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- رسانندگی گرمایی مواد مختلف ۳۷

جدول ۳-۲- مقایسه مقادیر cmc در دماهای مختلف بدست آمده از روشهای گوناگون..... ۵۶

جدول ۳-۳- ویژگیهای ذرات نانوسیالات (T=300K)..... ۶۶

جدول ۳-۴- جرمهای مورد نیاز برای تهیه نانوسیال با درصدهای وزنی مختلف ۸۲

جدول ۴-۱- جدول داده های آزمایش با آب دیونیزه شده ۸۶

جدول ۴-۲- جدول مربوط به مقادیر رابطه ۴-۲ ..... ۸۷

جدول ۴-۳- جدول مربوط به مقادیر مساحت خالص..... ۸۷

جدول ۴-۴- جدول نتایج بدست آمده از روابط آزمایش ۸۸

جدول ۴-۵- جدول مربوط به روابط ۴-۸ و ۴-۹ ..... ۸۹

جدول ۴-۶- جدول نتایج مربوط به عدد رینولدز و μ..... ۸۹

جدول ۴-۷- جدول ویژگیهای آب ۹۰

جدول ۴-۸- جدول نتایج مربوط به ضریب انتقال گرمای محلی..... ۹۰

جدول ۵-۱- جدول داده های آزمایش برای نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی آب- Al_2O_3 ..... ۹۷

جدول ۵-۲- جدول مربوط به سیال پایه(آب)..... ۹۸
جدول ۵-۳- جدول مربوط به نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی آب- Al_2O_3 ..... ۹۹
جدول ۵-۴- جدول مربوط به ظرفیت گرمای ویژه $(C_{p,nf})$ نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی آب- Al_2O_3
.....
۱۰۰
جدول ۵-۵- جدول مربوط به دمای محلی نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی آب- Al_2O_3
.....
۱۰۰
جدول ۵-۶- جدول مربوط به مقادیر مساحت خالص
.....
۱۰۱
جدول ۵-۷- جدول مربوط به منبع گرمایی در آزمایش مربوط به نانوسیال
۰/۰۲ درصد وزنی آب- Al_2O_3
.....
۱۰۲
جدول ۵-۸- ضرایب انتقال گرمای جابجایی برای نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی آب- Al_2O_3
.....
۱۰۲
جدول ۵-۹- جدول مربوط به روابط ۵-۱۳ و ۵-۱۴
.....
۱۰۳
جدول ۵-۱۰- جدول مربوط به ویسکوزیته و عدد رینولدز نانوسیال
۰/۰۲ درصد وزنی آب- Al_2O_3
.....
۱۰۴
جدول ۵-۱۱- ضرایب محلی انتقال گرمای جابجایی برای نانوسیال
۰/۰۵ درصد وزنی آب- Al_2O_3
.....
۱۰۵
جدول ۵-۱۲- ضرایب محلی انتقال گرمای جابجایی برای نانوسیال

۰/۱ درصد وزنی آب- Al_2O_3
.....
۱۰۶
جدول ۵-۱۳- ضرایب محلی انتقال گرمای جابجایی برای نانوسیال
۰/۱۵ درصد وزنی آب- Al_2O_3
.....
۱۰۷
جدول ۵-۱۴- ضرایب محلی انتقال گرمای جابجایی برای نانوسیال
۰/۲ درصد وزنی آب- Al_2O_3
.....
۱۰۸
جدول ۵-۱۵- ضرایب انتقال حرارت متوسط برحسب اعدادرینولدز
.....
۱۱۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- تصویر شماتیک دستگاه ساخته شده توسط وانگ و همکارانش ۲
شکل ۱-۲- اجزا دستگاه ساخته شده توسط وانگ و همکارانش ۳
شکل ۱-۳- آرایه ای از جتهای صفحه ای ۳
شکل ۱-۴- نمودار شار گرمایی- فاصله پولویدال ۴
شکل ۱-۵- شکل شماتیک آزمایش حیدر اران و همکارانش ۵
شکل ۱-۶- نمودار اعداد ناسلت در رینولدزمختلف ۵
شکل ۱-۷- شکل شماتیک آزمایش ترخوف و همکارانش ۶
شکل۱-۸- نمودارهای ضریب انتقال گرمای محلی برای پارامترهای مختلف جریان و حفره ۶
شکل ۱-۹- شکل شماتیک دستگاه آزمایش جئون یونگ یانگ و همکارانش ۷
شکل ۱-۱۰- شکلهای مختلف نازل دستگاه آزمایش جئون یونگ یانگ و همکارانش ۸
شکل ۱-۱۱- تغییرات سرعت میانگین بین دو سطح برای شکلهای گوناگون نازل در سرعت
میانگین زمانی در خروجی مرکز نازل برابر با ۴۰m /s ۸
شکل ۱-۱۲- تغییرات نوسانات سرعت بین دو سطح برای شکلهای گوناگون نازل در سرعت
میانگین زمانی در خروجی مرکز نازل برابر با ۴۰m /s ۸
شکل ۱-۱۳- نتایج انتقال گرما برای شکلهای گوناگون نازل ۹
شکل ۱-۱۴- پارامترهای ویژه هندسه جریان ۱۰
شکل۲-۱- تصویر چیدمان آزمایش ۱۲
شکل۲-۲- جت صفحه ای ۱۳
شکل۲-۳- لوله انتقال آب سرد ۱۴

شکل۲-۴- لوله گرم ۱۵
شکل۲-۵- درپوش لوله گرم ۱۵
شکل۲-۶- لوله های خروجی آب گرم ۱۶
شکل۲-۷- شکل شماتیک از دستگاه آزمایش در دوحالت باز و بسته ۱۶
شکل۲-۸- شکل شماتیک هیتر پیچیده شده به دور لوله گرم ۱۷
شکل۲-۹- نحوه ی عایق بندی دستگاه آزمایش ۱۸
شکل۲-۱۰- نمایش ترموکوپلهای دستگاه آزمایش ۱۹
شکل۲-۱۱- تصویر پمپ با مسیرهای آن ۲۰
شکل۲-۱۲- تصویر مبدل گرمایی ۲۲
شکل۲-۱۳- تصویر دبی سنج ۲۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۲-۱۴- شمای کلی از مسیر شلنگها و شیرهای دستی ۲۴
شکل۲-۱۵- شمای کلی از مخزن ۲۵
شکل۲-۱۶- تصویر دو نوع سه راهی ۲۶
شکل۲-۱۷- چیدمان بهینه آزمایش ۲۷
شکل۲-۱۸- شکل شماتیک دستگاه آزمایش ۲۸
شکل۳-۱- تصویر TEM نانوذرات TiO_2 ۴۳
شکل۳-۲- پتانسیل زیتای نانوذرات TiO_2 ۴۴
شکل۳-۳- اندازه ذره متوسط بصورت تابعی از زمان فرآیند برش بالا ۴۴
شکل۳-۴- ساختار شیمیایی SDBS 46
شکل۳-۵- تصویر TEM نانوذراتAl_2O_3 ۴۷
شکل۳-۶- توزیع ذره سوسپانسیون های آب- Al_2O_3 ۴۷
شکل۳-۷- اثرpH بر پتانسیل زیتا و آبزربنسی سوسپانسیون های آب- Al_2O_3
با پخش کننده هایSDBS ۴۸
شکل۳-۸- پتانسیلهای بین ذره DLVO محاسبه شده بین ذرات آلومینا در pH=۳ ۵۰
شکل۳-۹- پتانسیلهای بین ذره DLVO محاسبه شده بین ذرات آلومینا در pH=۸ ۵۱
شکل۳-۱۰- اثر pH بر رسانندگی گرمایی سوسپانسیون های آب- Al_2O_3
با پخش کننده SDBS ۵۱
شکل۳-۱۱- اثر غلظت SDBS بر آبزربنسی و پتانسیل زیتا(pH=۸) ۵۳
شکل۳-۱۲- اثر غلظت SDBS بر رسانندگی گرمایی سوسپانسیون های آب- Al_2O_3 ۵۴

شکل۳-۱۳- نسبت رسانندگی گرمایی سوسپانسیون های آب- Al_2O_3
بصورت تابعی از درصد وزنی ذره ۵۵
شکل۳-۱۴- تصویر بسته ۵۰۰ گرمی نانوذره Al_2O_3 ..... ۵۷
شکل۳-۱۵- تصویر دستگاه آلتراسونیک به همراه بشر ۲ لیتری و ظرف
محتوی مخلوط آب و یخ ۵۸
شکل۳-۱۶- تاثیر نسبت رسانندگی گرمایی نانوذرات بر رسانندگی گرمایی نانوسیالات ۶۸
شکل۳-۱۷- تاثیر قطر نانوذره بر رسانندگی گرمایی نانوسیالات ۶۹
شکل۳-۱۸- داده های آزمایشگاهی رسانندگی گرمایی وابسته به دما
و پیش بینی های معادله ۲-۳۱ و مدل ماکسول ۶۹
شکل۳-۱۹- مقایسه رابطه تجربی با داده های آزمایشگاهی برای

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

رسانندگی گرمایی نانوسیال Al_2O_3 ..... ۷۰
شکل ۳-۲۰- وابستگی دمایی افزایش رسانندگی گرمایی سه نانوسیال Al_2O_3 مختلف
با اندازه های نانوذره مختلف و غلظتهای گوناگون ۷۲
شکل ۳-۲۱- رابطه بین سرعت براونین و دمای نانوسیال برای اندازه های مختلف نانوذره برای
نانوسیالات Al_2O_3 با درصد حجمی یک درصد ۷۳
شکل ۳-۲۲- مقایسه رابطه تجربی معادله۳-۴۴ با داده های آزمایشگاهی از مقالات دیگر ۷۳
شکل۳-۲۳- توزیع های $k_{eff(M)}/k_f$ و k_{eff}/k_f دربرابر φ برای نانوسیال آب-Al_2O_3
درقطرنانوذره ودماهای مختلف ۷۴
شکل۳-۲۴- توزیع های $\mu_{eff(B)}/\mu_f$ و μ_{eff}/μ_f دربرابر φ برای
نانوسیالات با پایه آب درقطرهای مختلف نانوذره ۷۶
شکل ۴-۱- سیکل بسته برای آزمایش ۸۴
شکل ۴-۲- جهت زاویه θ ۸۷
شکل۴-۳- نمودار ضریب محلی انتقال گرمای جابجایی آب
بر حسب θ در عدد رینولدز $Re=11571$ ۹۱
شکل۴-۴- نمودار ضرایب انتقال گرمای جابجایی محلی آب
بر حسب θ در اعداد رینولدزگوناگون ۹۱
شکل۴-۵- نمودار ضرایب متوسط انتقال گرمای جابجایی آب در اعداد رینولدزگوناگون ۹۲
شکل۵-۲- نمودار ضریب محلی انتقال گرمای جابجایی نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی

آب-Al_2O_3 بر حسب θ در عدد رینولدز Re=10851

۱۰۴

شکل۵-۳- نمودار ضرایب محلی انتقال گرمای جابجایی نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی آب-Al_2O_3، بر حسب θ در اعداد رینولدز گوناگون

۱۰۵

شکل۵-۴- نمودار ضرایب محلی انتقال گرمای جابجایی نانوسیال ۰/۰۵ درصد وزنی آب-Al_2O_3، بر حسب θ در اعداد رینولدز گوناگون

۱۰۶

شکل۵-۵- نمودار ضرایب محلی انتقال گرمای جابجایی نانوسیال ۰/۱ درصد وزنی آب-Al_2O_3، بر حسب θ در اعداد رینولدز گوناگون

۱۰۷

شکل۵-۶- نمودار ضرایب محلی انتقال گرمای جابجایی نانوسیال ۰/۱۵ درصد وزنی آب-Al_2O_3، بر حسب θ در اعداد رینولدز گوناگون

۱۰۸

شکل۵-۷- نمودار ضرایب محلی انتقال گرمای جابجایی نانوسیال ۰/۲ درصد وزنی آب-Al_2O_3، بر حسب θ در اعداد رینولدز گوناگون

۱۰۹

شکل۵-۸- نمودار ضرایب انتقال گرمای جابجایی نانوسیال و آب بر حسب Re

۱۱۰

شکل ۵-۹- مقایسه ضرایب متوسط انتقال حرارت آب و نانوسیالات با درصدهای مختلف

۱۱۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۱۰- مقایسه ضرایب محلی انتقال حرارت آب و نانوسیال ۰/۱۵ درصد وزنی

۱۱۳

کوتاه نوشت ها

تعاریف

نما

دها

ارتفاع حفره (m) ..... Δ

مساحت سطح (m^2) ..... S

قطر نازل (m) ..... d_o

قطر (m) ..... D

دبی (lit/min) ..... $\dot{m}$

توان هیتر (W) ..... Q

ظرفیت گرمای ویژه آب (j/kg.k) ..... C_p

اختلاف دما(K) ..... ΔT

ضریب هدایت (W/m.k) ..... k

ضریب انتقال گرمای جابجایی $(w/m^2.k)$ ..... h

شعاع (mm) ..... r

ضخامت عایق(mm) ..... t

تلرانس خطا ..... dT

مساحت (m^2) ..... A

طول (m) L

دما $(°C)$ ..... T

عدد ناسلت ..... Nu

عدد رینولدز ..... Re

ضریب گرانش زمین(m/s^2) ..... g

سرعت(m/s) ..... u

تلرانس خطای دبی سنج

....

$d\dot{m}$

حجم (m^3) V

توان (w) ..... P

جریان (A) I

ولتاژ (v) V

خطای اندازه گیری جریان ..... dI

خطای اندازه گیری ولتاژ ..... dV