دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی
گروه مکانیک

پایان نامه

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی

عنوان:

مطالعه تجربی اثر نانوسیال اکسید منیزیم-آب روی انتقال و کاهش فشار در جریان توربولانت

استاد راهنما:
دکتر علی اکبر عباسیان آرانی

توسط:
محمد رضایی

شهریور ۱۳۹۲

تقدیم به :

تمامی پویندگان علم و معرفت

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که به ما توفیق کسب علم و معرفت عطا فرمود. در این‌جا برخود لازم می‌دانم تا از زحمات تمام کسانی که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت یاری نموده‌اند تشکر نمایم.

از استاد گرامی جناب آقای دکتر علی اکبر عباسیان آرانی که راهنمایی اینجانب را در انجام این پایان‌نامه برعهده داشتند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم. همچنین از جناب آقای مهندس همت که با راهنمایی‌های خود مرا مورد لطف قرار داده‌اند نیز تشکر می‌نمایم.

از تشریک مساعی آقای دکتر قنبرعلی شیخ زاده و آقای دکتر حسین خراسانی زاده به عنوان اساتید داور که این پایان‌نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند تشکر و تقدیر می‌نمایم. از نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه که قبول زحمت نموده‌اند نیز سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده

در این پروژه به اندازه‌گیری تجربی رسانایی حرارتی و ویسکوزیته نانوسیال آب-اکسید منیزیم و ارائه مدل‌های حاکم بر آن‌ها و بررسی تجربی اثر آن بر انتقال حرارت و افت فشار در جریان مغشوش پرداخته شده است. بدین منظور از نانوذره با قطر ۴۰ نانومتر و کسرهای حجمی بین ۰/۵٪ و ۲٪ استفاده شده است. در ابتدا از ویسکومتر بروکفیلد (Brookfield type) برای اندازه‌گیری ویسکوزیته و از دستگاه KD2 برای اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی در کسرهای حجمی مختلف استفاده شدند و سپس مدل‌هایی برای هر کدام از آن‌ها ارائه شدند. همچنین مقایسه‌ای بین مدل‌های ارائه شده با مدل‌های موجود انجام شده است. برای بررسی تغییرات ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی، عدد ناسلت متوسط، ضریب اصطکاک، افت فشار نانوسیال و ضریب عملکرد حرارتی از یک مبدل دو لوله‌ای هم مرکز که دو جریان با جهت مخالف در آن ایجاد می‌شود استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش کسر حجمی نانوذرات و عدد رینولدز ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی، عدد ناسلت متوسط و افت فشار افزایش می‌یابند و این افزایش در رینولدزهای بالاتر، بیشتر می‌باشد. نسبت عدد ناسلت متوسط نانوسیال به عدد ناسلت سیال پایه و همچنین نسبت افت فشار نانوسیال به افت فشار سیال پایه با افزایش کسر حجمی افزایش می‌یابند. در بعضی از کسرهای حجمی نانوسیال با اضافه کردن نانوذرات و بالابردن کسر حجمی و همچنین در بعضی از اعداد رینولدز ضریب اصطکاک، نسبت ضریب اصطکاک در کسرهای حجمی مختلف نانوسیال به ضریب اصطکاک در جریان سیال پایه و ضریب عملکرد حرارتی کاهش یافته‌اند اما در کسرهای حجمی دیگر روند افزایشی دارند. در هر کسر حجمی با افزایش عدد رینولدز ضریب اصطکاک کاهش یافته اما نسبت عدد ناسلت متوسط نانوسیال به عدد ناسلت سیال پایه، نسبت ضریب اصطکاک در کسرهای حجمی مختلف نانوسیال به ضریب اصطکاک در جریان سیال پایه و ضریب عملکرد حرارتی، هم روند افزایشی و هم روند کاهشی دارند.

کلمات کلیدی : مطالعه تجربی، نانوسیال اکسید منیزیم-آب، عدد ناسلت، افت فشار، جریان توربولانت

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه ۱

پیشگفتار..... ۲

۱-۱ هدف، موضوع و روش انجام تحقیق..... ۳

۱-۲ مروری بر فصل‌های بعدی..... ۳

فصل دوم- مقدمه‌ای بر نانوسیال ۵

مقدمه..... ۶

۲-۱ کاربرد نانوسیال در زمینه انتقال حرارت..... ۸

۲-۲ نحوه تولید نانوسیال..... ۹

۲-۲-۱ روش دو مرحله‌ای..... ۱۱

۲-۲-۲ روش تک مرحله‌ای..... ۱۱

۲-۲-۳ روش‌های دیگر ساخت نانوسیال..... ۱۲

۲-۳ پایداری نانوسیال..... ۱۲

۲-۳-۱ تغییر دهنده‌های خواص سطحی..... ۱۴

۲-۳-۲ کنترل میزان اسیدیته (pH) ۱۵

۲-۳-۳ ارتعاشات مافوق صوت..... ۱۵

۲-۴ سنجش پایداری..... ۱۶

۲-۴-۱ طیف نورسنجی UV-Vis ۱۷

۲-۴-۲سنجش پتانسیل زتا..... ۱۷

۲-۴-۳ عکس برداری از مقدار رسوب کرده..... ۱۷

۲-۴-۴ میکروسکوپ عبور الکترونی (TEM) و میکروسکوپ اسکن الکترونی (SEM) ۱۷

فصل سوم- روابط مربوط به خواص نانوسیال..... ۱۹

مقدمه..... ۲۰

۳-۱ چگالی..... ۲۰

۳-۲ ظرفیت حرارتی ویژه ۲۱

۳-۳ لزجت دینامیکی..... ۲۱

۳-۳-۱ روش‌های اندازه‌گیری لزجت دینامیکی..... ۲۲

۳- ۳- ۱- ۱ ویسکومترهای استاندارد آزمایشگاهی برای مایعات..... ۲۲

۳- ۳- ۱- ۱- ۱ ویسکومترهای دورانی (Rotational Viscometers) ۲۳

۳-۳-۲ مدل‌های موجود برای محاسبه لزجت دینامیکی..... ۲۵

۳-۴ رسانایی حرارتی..... ۲۷

۳-۴-۱ روش‌های اندازه‌گیری رسانایی حرارتی..... ۲۷

۳- ۴ - ۱- ۱ روش‌های آزمایشگاهی..... ۲۷

۳- ۴- ۱- ۱- ۱ روش سیم حرارتی گذرا (THW) ۲۷
۳- ۴- ۱- ۱- ۲ روش صفحات موازی..... ۳۰
۳- ۴- ۱- ۱- ۳ دستگاه KD2 ..... ۳۰
۳- ۴- ۱- ۲ روش‌های تئوری اندازه‌گیری رسانایی حرارتی ۳۲
۳- ۴- ۱- ۲- ۱ روش متداول..... ۳۲
۳- ۴- ۱- ۲- ۲ روش متداول اصلاح شده..... ۳۴
۳- ۴-۲ مدل‌های موجود برای محاسبه رسانایی حرارتی..... ۳۵

فصل چهارم- مطالعات تجربی بر روی انتقال حرارت، رسانایی حرارتی و ویسکوزیته نانوسیال.....۴۸

مقدمه ۴۹
۴-۱ مطالعات تجربی ۴۹
۴-۱-۱ مطالعات انجام شده در زمینه انتقال حرارت (عدد ناسلت متوسط و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی) و افت فشار نانوسیال..... ۵۰
۴-۱-۲ مطالعات انجام شده در زمینه رسانایی حرارتی و انتقال حرارت نانوسیال..... ۶۸
۴- ۱- ۲- ۱ کسر حجمی نانوذرات ۶۸
۴- ۱- ۲- ۲ توده‌ای شدن نانوذرات..... ۶۹
۴- ۱- ۲- ۳ حرکت براونی نانوذرات ۷۰
۴- ۱- ۲- ۴ شکل نانوذرات..... ۷۱
۴- ۱- ۲- ۵ اندازه و مساحت ویژه نانوذرات..... ۷۲
۴- ۱- ۲- ۶ دما ۷۳
۴- ۱- ۲- ۷ لایه سیال روی سطح نانوذرات..... ۷۵
۴- ۱- ۲- ۸ مقاومت سطح جامد-مایع..... ۷۶
۴- ۱- ۲- ۹ ترموفورسیس..... ۷۶
۴- ۱- ۲- ۱۰ اثر پارامترهای دیگر..... ۷۶
۴-۱-۳ مطالعات انجام شده در زمینه ویسکوزیته نانوسیال..... ۷۷

فصل پنجم- معرفی دستگاه آزمایش و روابط مورد نیاز..... ۸۱

مقدمه..... ۸۲
۵-۱ دستگاه آزمایش..... ۸۳
۵-۱-۱ ویسکومتر بروکفیلد (Brookfield type) ..... ۸۳ .
۵-۱-۲ دستگاه اندازه‌گیری رسانایی حرارتی KD2 ..... ۸۳
۵-۱-۳ مبدل حرارتی ۸۳
۵-۱-۳-۱ چرخه نانوسیال ۸۴
۵-۱-۳-۲ چرخه آب داغ ۸۸
۵-۱-۳-۳ چرخه آب سرد..... ۸۹
۵-۱-۳-۴ واحد سنجش دما ۹۰
۵-۱-۳-۵ واحد اندازه‌گیری افت فشار..... ۹۱
۵-۲ اندازه‌گیری دبی..... ۹۱

۵-۳ تنظیم‌ها ۹۲
۵- ۳-۱ تنظیم دماسنج ۹۲
۵- ۳-۲ تنظیم دبی سنج ۹۲
۵- ۳-۳ تنظیم دستگاه ۹۳
۵-۴ آماده سازی نانوسیال ۹۳
۵-۵ اسیدیته نانوسیال ۹۵
۵-۶ روابط بکار رفته ۹۶
۵- ۶-۱ خواص نانوسیال ۹۶
۵- ۶-۱-۱ چگالی ۹۶
۵- ۶-۱-۲ ظرفیت حرارتی ویژه ۹۶
۵- ۶-۱-۳ لزجت دینامیکی ۹۷
۵- ۶-۱-۴ رسانایی حرارتی ۹۷
۵- ۶-۲ خواص آب مقطر ۹۸
۵-۶-۳ خواص اکسید منیزیم ۹۸
۵- ۶-۴ عدد ناسلت ۹۹
۵- ۶-۴-۱ عدد ناسلت سیال پایه ۹۹
۵- ۶-۴-۲ عدد ناسلت متوسط نانوسیال ۱۰۳
۵- ۶-۵ ضریب اصطکاک ۱۰۵
۵- ۶-۵-۱ ضریب اصطکاک در جریان سیال پایه ۱۰۵
۵- ۶-۵-۲ ضریب اصطکاک در جریان نانوسیال ۱۰۵
۵-۷ خطاها ۱۰۶
۵-۸ عدم قطعیت ۱۰۷
۵- ۸-۱ عدم قطعیت دبی نانوسیال ۱۰۸
۵- ۸-۲ عدم قطعیت دبی آب داغ ۱۰۸
۵- ۸-۳ عدم قطعیت دبی جرمی آب و نانوسیال ۱۰۸
۵- ۸-۴ عدم قطعیت ضریب اصطکاک ۱۰۹
۵- ۸-۵ عدم قطعیت افت فشار ۱۰۹
۵- ۸-۶ عدم قطعیت عدد رینولدز ۱۰۹
۵- ۸-۷ عدم قطعیت عدد ناسلت ۱۱۰

فصل ششم- نتایج ۱۱۳

مقدمه ۱۱۴
۶-۱ ارزیابی نتایج ۱۱۵
۶- ۱-۱ عدد ناسلت متوسط ۱۱۵
۶- ۱-۲ محاسبه ضریب اصطکاک ۱۱۶
۶-۲ تکرارپذیری ۱۱۷
۶-۳ توزیع دما ۱۱۷
۶-۴ عدد ناسلت متوسط ۱۱۸

۶-۵ ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی ۱۲۳
۶-۶ ضریب اصطکاک ۱۲۵
۶-۷ افت فشار ۱۲۹
۶-۸ ضریب عملکرد حرارتی ۱۳۳
۶-۹ مقایسه بین مدل های مختلف ویسکوزیته با مدل تجربی ارائه شده ۱۳۴
۶-۱۰ مقایسه بین مدل‌های مختلف رسانایی حرارتی با مدل تجربی ارائه شده ۱۳۴
۶-۱۱ مقایسه بین مدل‌های مختلف عدد ناسلت سیال پایه با مدل تجربی ارائه شده ۱۳۵
۶-۱۲ مقایسه بین مدل‌های مختلف ضریب اصطکاک در جریان سیال پایه با مدل تجربی ارائه شده ۱۳۶
۶-۱۳ مقایسه با نتایج دیگر محققین ۱۳۷
۶-۱۴ جمع بندی ۱۳۷
۶-۱۵ پیشنهادات ۱۳۹

مراجع ۱۴۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۳-۱) : ویسکومتر بروکفیلد (Brookfield-type) ۲۴
شکل (۳-۲) : شکل شماتیک روش سیم حرارتی گذرا برای محاسبه رسانایی حرارتی ۲۸
شکل (۳-۳) : دستگاه KD2 ..... ۳۲
شکل (۵-۱) : شکل شماتیک دستگاه آزمایش ۸۳
شکل (۵-۲) : دو نما از دستگاه آزمایش..... ۸۴
شکل (۵-۳) : کنترل کننده‌های دما و تجهیزات اندازه‌گیری و نمایش دما ۹۰
شکل (۵-۴) : شکل هندسی مانومتر جیوه‌ای ۹۱
شکل (۵-۵) : عکس TEM نانوذره اکسید منیزیم (۴۰ نانومتر) ۹۴
شکل (۵-۶) : نمونه‌های نانوسیال با کسرهای حجمی ۰/۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪ به ترتیب از چپ به راست..... ۹۵
شکل (۵-۷) : نمایی از دستگاه سنجش اسیدیته (pH meter) ۹۶
شکل (۵-۸) : نحوه ورود و خروج جریان به قسمت آزمایش ۱۰۴
شکل (۶-۱) : عدد ناسلت متوسط محاسبه شده در جریان آب مقطر با روابط مختلف..... ۱۱۶
شکل (۶-۲) : ضریب اصطکاک محاسبه شده در جریان آب مقطر با روابط مختلف..... ۱۱۶
شکل (۶-۳) : عدد ناسلت متوسط برای نانوسیال با کسر حجمی ۰/۰۲ در تکرارهای مختلف..... ۱۱۷
شکل (۶-۴) : دمای نقاط مختلف سطح لوله میانی، (الف) φ= ٪۰/۵ ، (ب) φ=٪۲ ..... ۱۱۸
شکل (۶-۵) : عدد ناسلت متوسط برحسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف..... ۱۱۸
شکل (۶-۶) : برازش منحنی بر نتایج تجربی عدد ناسلت سیال پایه ۱۱۹
شکل (۶-۷) : کمترین و بیشترین درصد افزایش عدد ناسلت متوسط نانوسیال نسبت به عدد ناسلت سیال پایه در کسرهای حجمی مختلف، (الف) : φ=٪۰/۵، (ب) :φ=٪۱، (پ) : φ=٪۱/۵ ، (ت) : φ=٪۲ ..... ۱۲۰
شکل (۶-۸) : کمترین و بیشترین درصد اختلاف عدد ناسلت نانوسیال با عدد ناسلت محاسبه شده سیال پایه از روابط مختلف، (الف) : قنیلینسکی [۱۵۳]، (ب) : مایگا [۱۵۸]، (پ) : پک و چو [۱۵۹]، (ت) : دیتوس بولتر [۱۵۲] ۱۲۱
شکل (۶-۹) : عدد ناسلت متوسط برحسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف همراه با عدم قطعیت ۱۲۲
شکل (۶-۱۰) : مقایسه نسبت عدد ناسلت متوسط نانوسیال به عدد ناسلت محاسبه شده سیال پایه از روابط مختلف برحسب عدد رینولدز و در کسرهای حجمی متفاوت، (الف) : رابطه تجربی، (ب) : دیتوس و بولتر [۱۵۲]، (پ) : مایگا [۱۵۸]، (ت) : پک و چو [۱۵۹]..... ۱۲۳
شکل (۶-۱۱) : ضریب انتقال حرات جابه‌جایی برحسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف..... ۱۲۴
شکل (۶-۱۲) : ضریب انتقال حرات جابه‌جایی برحسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف به همراه عدم قطعیت..... ۱۲۴
شکل (۶-۱۳) : ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف..... ۱۲۵
شکل (۶-۱۴) : برازش منحنی بر نتایج تجربی ضریب اصطکاک در جریان سیال پایه..... ۱۲۶
شکل (۶-۱۵) : کمترین و بیشترین درصد کاهش و یا افزایش ضریب اصطکاک در جریان نانوسیال نسبت به ضریب اصطکاک در جریان سیال پایه در کسرهای حجمی مختلف..... ۱۲۷
شکل (۶-۱۶) : ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف به همراه عدم قطعیت ۱۲۸

شکل (۶-۱۷) : نسبت ضریب اصطکاک در جریان نانوسیال به ضریب اصطکاک در جریان سیال پایه بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف..... ۱۲۹
شکل (۶-۱۸) : افت فشار بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف..... ۱۳۰
شکل (۶-۱۹) : برازش منحنی بر نتایج تجربی افت فشار سیال پایه..... ۱۳۰
شکل (۶-۲۰) : کمترین و بیشترین درصد کاهش و یا افزایش افت فشار نانوسیال نسبت به افت فشار سیال پایه در کسرهای حجمی مختلف..... ۱۳۱
شکل (۶-۲۱) : افت فشار بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف به همراه عدم قطعیت..... ۱۳۲
شکل (۶-۲۲) : نسبت افت فشار نانوسیال به افت فشار سیال پایه بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف..... ۱۳۳
شکل (۶-۲۳) : ضریب عملکرد حرارتی بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف..... ۱۳۳
شکل (۶-۲۴) : مقایسه بین مدل‌های مختلف ویسکوزیته با مدل تجربی ارائه شده ۱۳۴
شکل (۶-۲۵) : مقایسه بین مدل‌های مختلف رسانایی حرارتی با مدل تجربی ارائه شده..... ۱۳۵
شکل (۶-۲۶) : مقایسه بین مدل‌های مختلف عدد ناسلت سیال پایه با مدل تجربی ارائه شده ۱۳۶
شکل (۶-۲۷) : مقایسه بین مدل‌های مختلف ضریب اصطکاک در جریان سیال پایه با مدل تجربی ارائه شده..... ۱۳۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱) : مشخصات برخی نانوذرات و سیالات [۳] ۱۰
جدول (۳-۱) : انواع مدل‌های موجود برای محاسبه ویسکوزیته نانوسیال ۲۵
جدول (۳-۲) : پژوهش‌های انجام شده برای اندازه‌گیری تجربی رسانایی حرارتی نانوسیال ۳۳
جدول (۳-۳) : انواع مدل‌های موجود برای محاسبه رسانایی حرارتی نانوسیال ۳۵
جدول (۵-۱) : مشخصات نانوذره اکسید منیزیم با قطر ۴۰ نانومتر [۱۸۲] ۹۵
جدول (۵-۲) : خواص حرارتی و ترموفیزیکی آب مقطر [۱۵۱] ۹۸
جدول (۵-۳) : خواص حرارتی و ترموفیزیکی اکسید منیزیم [۱۸۲] ۹۸
جدول (۵-۴) : روابط موجود برای محاسبه عدد ناسلت سیال پایه ۹۹
جدول (۵-۵) : روابط موجود برای محاسبه ضریب اصطکاک در جریان سیال پایه ۱۰۶
جدول (۵-۶) : حداکثر عدم قطعیت محاسبه شده پارامترهای مختلف ۱۱۲

فهرست علائم و اختصارات (Aberviation)

حروف یونانی

α	پخش حرارتی، (m^2/s)
μ	لزجت دینامیکی، (kg/ms)
ρ	چگالی، (kg/m^3)
φ	کسرحجمی
δ	عدم قطعیت
η	ضریب عملکرد حرارتی

زیرنویس‌ها

f	سیال
nf	نانوسیال
p	نانوذرات
in	ورودی
out	خروجی
w	مربوط به آب داغ
m	متوسط

A_p	سطح جانبی لوله، (m^2)
c_p	ظرفیت حرارتی ویژه، ($J/Kg\ K$)
d_p	قطر نانوذرات، (nm)
d_i	قطر داخلی لوله، (m)
D_i	قطر بیرونی لوله، (m)
f	ضریب اصطکاک
g	شتاب گرانش زمین، (m/s^2)
h	ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی ، ($W/m^2\ K$)
k	رسانایی حرارتی، ($W/m\ K$)
L	طول قسمت آزمایش، (m)
$L_۱$	اختلاف ارتفاع دو ستون جیوه، (m)
$L_۲$	طول لوله مربوط به اندازه‌گیری افت فشار، (m)
$\dot{m}$	دبی جرمی، (Kg/s)
Nu	عدد ناسلت
P	فشار، (pa)
ΔP	افت فشار، (pa)
Pr	عدد پرانتل، (υ/α)
Q	دبی حجمی،(m^3/s)
$\dot{Q}$	نرخ انتقال حرارت، (W)
Re	عدد رینولدز
t	زمان، (s)
$\overline{T}_w$	میانگین دماهای جداره لوله، (K)
u	سرعت، (m/s)
V	درصد تغییرات عامل مشخص نانوسیال نسبت به سیال پایه

فصل اول

مقدمه

پیشگفتار

با توجه به این‌که مطالعات زیادی در زمینه انتقال حررات و افت فشار نانوسیال انجام شده‌اند اما تاکنون مطالعات کمی بر روی انتقال حرارت و افت فشار نانوسیال اکسید منیزیم با سیال پایه آب انجام شده است و همچنین در مطالعات انجام شده از مبدل حرارتی دولوله‌ای هم مرکز با دو جهت جریان مخالف کمتر استفاده شده است اما در کار حاضر اثر این نانوسیال بر انتقال حرارت و افت فشار در جریان مغشوش در یک مبدل حرارتی دو لوله‌ای هم مرکز با دو جهت جریان مخالف بررسی می‌شود. در اکثر مطالعات انجام شده برای محاسبه رسانایی حرارتی و ویسکوزیته نانوسیال از روابط موجود استفاده کرده‌اند اما در این تحقیق به صورت تجربی اندازه‌گیری شدند. در این فصل هدف و موضوع تحقیق و روش انجام آن به طور کامل شرح داده می‌شود و به مروری بر فصل‌های ارائه شده پرداخته می‌شود.

۱–۱ هدف، موضوع و روش انجام تحقیق

در این پروژه هدف بررسی تجربی اثر نانوسیال اکسید منیزیم-آب بر انتقال حرارت و افت فشار در جریان مغشوش می‌باشد بدین منظور از نانوذره با قطر ۴۰ نانومتر و کسرهای حجمی ۰/۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪ استفاده شده است. در ابتدا مطالعات تجربی انجام شده در این زمینه مورد بررسی قرار گرفتند و بعد از آماده سازی نانوسیال با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد و دستگاه KD2 به ترتیب ویسکوزیته و رسانایی حرارتی به صورت تجربی اندازه‌گیری شدند و مدل‌هایی برای هر کدام از آن‌ها ارائه شدند. برای بررسی انتقال حرارت و افت فشار از یک مبدل حرارتی دو لوله‌ای هم مرکز که دو جریان با جهت مخالف در آن ایجاد می‌شود استفاده شد و چون هدف بررسی انتقال حرارت در جریان مغشوش بود اعداد رینولدز بین ۶۰۰۰ تا ۳۲۰۰۰ درنظرگرفته شدند. لازم به ذکر است که قبل از انجام آزمایش با نانوسیال برای مطمئن شدن از صحت عملکرد دستگاه ابتدا آزمایش‌هایی با آب مقطر انجام شدند و نتایج تجربی عدد ناسلت و ضریب اصطکاک آن با نتایج حاصل از روابط مختلف مقایسه شدند و بعد از مشاهده مطابقت نتایج با هم آزمایش با نانوسیال انجام شد.

در این پروژه تغییرات عدد ناسلت متوسط، ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی، افت فشار و ضریب اصطکاک در جریان نانوسیال و ضریب عملکرد حرارتی آن با افزایش کسر حجمی و عدد رینولدز مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه نتایج حاصل از مدل‌های ارائه شده برای رسانایی حرارتی و ویسکوزیته نانوسیال با نتایج حاصل از روابط موجود مقایسه شدند.

۱–۲ مروری بر فصل‌های بعدی

کاربرد نانوسیال در زمینه انتقال حرارت و روش‌های آماده سازی و پایدارسازی آن در فصل ۲ به طور کامل ارائه خواهند شد. در فصل ۳ به بررسی روابط موجود برای محاسبه خواص حرارتی و ترموفیزیکی نانوسیال پرداخته شده و مناسب‌ترین آن‌ها انتخاب می‌شوند و روش‌های

اندازه‌گیری رسانایی حرارتی و ویسکوزیته نانوسیال بیان می‌شود. مطالعات زیادی توسط محققین در زمینه انتقال حرارت و افت فشار نانوسیال انجام شده است که در فصل ۴ بیشتر به بررسی مطالعاتی که در مورد انتقال حرارت و افت فشار نانوسیال درون مبدل‌های لوله‌ای انجام شده‌اند پرداخته می‌شود. در فصل ۵ دستگاه آزمایش که یک مبدل حرارتی دولوله‌ای با دو جهت جریان مخالف است معرفی خواهد شد و بعد از معرفی قسمت‌های مختلف دستگاه روابط به کاررفته برای محاسبه خواص حرارتی و ترموفیزیکی نانوسیال ارائه خواهند شد. البته لازم به ذکر است که در این فصل روابط ارائه شده برای محاسبه رسانایی حرارتی و ویسکوزیته نانوسیال معرفی خواهند شد. در فصل ۶ نتایج مربوط به آزمایش با نانوسیال اکسید منیزیم-آب حاوی نانوذرات با قطر ۴۰ نانومتر و در کسرهای حجمی ۰/۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪ و در بازه اعداد رینولدز ۶۰۰۰ تا ۳۲۰۰۰ و دبی ۵ لیتر بر دقیقه و دمای آب ۵۵ درجه سلسیوس ارائه می‌شوند. در ابتدا ارزیابی نتایج و سپس نتایج عدد ناسلت متوسط، ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی، ضریب اصطکاک و افت فشار نانوسیال و ضریب عملکرد حرارتی بر حسب عدد رینولدز ارائه خواهد شد و در ادامه به بررسی اثر عدد رینولدز و کسر حجمی نانوذرات بر عدد ناسلت متوسط، ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی، افت فشار و ضریب اصطکاک و ضریب عملکرد حرارتی پرداخته می‌شود و تاثیر عدم قطعیت بر نتایج هم ارائه می‌شوند. در ادامه به مقایسه بین نتایج حاصل از مدل‌های ارائه شده برای رسانایی حرارتی و ویسکوزیته با نتایج حاصل از مدل‌های دیگر پرداخته می‌شود.

فصل دوم
مقدمه‌ای بر نانوسیال

مقدمه

تاریخ پیدایش نانو به دهه ۱۹۵۰ برمی‌گردد به طوری که فناوری نانو توسط ریچارد فاینمن، در سال ۱۹۵۹ معرفی شد و از ترکیب سه رشته فیزیک اتمی، شیمی و الکترونیک شکل گرفت. نانوفناوری در علوم مختلفی از جمله فیزیک، شیمی، انرژی‌های نو، هوانوردی، نساجی، پالایشگاهی، غذایی، پزشکی و غیره به‌کار می‌رود. یکی از کاربردهای مهم نانوفناوری در زمینه انرژی، ایجاد سیالاتی برای افزایش نرخ انتقال حرارت و افزایش بازده حرارتی می‌باشد. به‌گونه‌ای که برخی به نوعی سعی در معرفی یک نوع جدید از سیالات با خواص حرارتی بهبود یافته دارند. سیستم‌های خنک‌کننده، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های کارخانه‌ها و صنایعی مانند میکروالکترونیک و هر جایی است که به نوعی با انتقال گرما روبرو است. با پیشرفت فناوری، استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده پیشرفته و بهینه، در صنایعی مانند میکروالکترونیک که در مقیاس‌های کمتر از صد نانومتر عملیات‌های سریع و حجیم با سرعت‌های بسیار بالا (چند گیگا هرتز) اتفاق می‌افتد و استفاده از موتورهایی با توان و بار گرمایی بالا اهمیت بسزایی پیدا می کند. بهینه‌سازی سیستم‌های انتقال گرمای موجود، در اکثر مواقع به وسیله افزایش سطح آن‌ها صورت می‌گیرد که همواره باعث افزایش حجم و اندازه این دستگاه‌ها می‌شود لذا برای غلبه بر این مشکل، به خنک‌کننده‌های جدید و موثر نیاز است. از نانوذرات جامد در کاربردهای

سرمایشی برای بهبود خواص حرارتی سیالاتی چون خنک‌کننده‌ها با هدایت حرارتی بالا، روغن‌های روانکاری، سیالات هیدرولیکی و سیالاتی برای برش فلزات استفاده می‌شود. معلق کردن ذرات جامد بسیار کوچک در سیالات مرسوم یکی از روش‌های نه چندان جدید به منظور بهبود کارایی حرارتی سیال می‌باشد. نانوپودرها در مقایسه با ذرات با اندازه میکرون، سطح ویژه بیشتری دارند، مومنتوم ذرات بسیار کم است و قابلیت حرکت و جابه‌جایی بالایی دارند. به همین دلیل به طور کلی خواص متفاوتی به وجود می‌آورند که نه تنها انتقال حرارت را افزایش می‌دهند، بلکه پایداری سوسپانسیون‌ها را بهبود می‌بخشند. در مطالعات اولیه هر چند افزودن ذرات جامد در اندازه و ابعاد میلی‌متر و میکرومتر منجر به افزایش غیرعادی خواص حرارتی سیال، همانند رسانایی حرارتی می‌شد، اما مشکلاتی همچون پایداری ضعیف، فرسایش[1] تجهیزات و خطوط انتقال، بسته شدن[2] خطوط لوله و افت فشار بسیار بالا را ایجاد می‌کرد [۱]. اندکی بیش از یک دهه پیش با توسعه سریع نانوفناوری، ذراتی در مقیاس نانومتر (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) ساخته شدند و به‌جای ذرات با ابعاد میکرومتر در سیالات مختلف به‌کار گرفته شدند. نانوسیال به عنوان یک ایده نو برای انتقال حرارت در سیالات مطرح شد. این مقوله طرح جدیدی است، اگرچه ایده سوسپانسیون‌های جامد-مایع پیش از این نیز وجود داشتند. با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات جامد معلق در سیال، رسانایی حرارتی بالاتر، پایداری بهتر و افت فشار کمتری نسبت به سیال حاوی ذرات با ابعاد میلی‌متر و میکرومتر مشاهده شد. البته تهیه نانوسیال پایدار با توجه به نیروهای جاذبه وان‌دروالسی بزرگ میان نانوذرات معلق، تکنولوژی و دانش فنی خاص خود را می‌طلبد. برای پایدار نمودن نانوسیال باید رفتار شیمیایی و فیزیکی نانوسیال جهت‌دهی شود. به عنوان مثال از افزاینده‌های سطحی استفاده می‌شود. اصلاح سطوح

[1] Erosion
[2] clogging