دانشکده مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه دکتری

در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

عنوان:

مطالعه انتقال گرما و هیدرودینامیک جریان در کانال مینیاتوری حاوی سیال پایه و نانوسیال در حضور میدان الکتریکی

استاد راهنما:

پروفسور اسماعیل اسماعیل زاده

استاد مشاور:

پروفسورحبیب امین‌فر

پژوهشگر :

فرهاد صادق مغانلو

تقدیر و تشکر:

حمد و سپاس خداوند حکیم و مهربان را که عنایاتش در همه حال یاورم بوده و یگانه امید و حامی پنهان و پیدایم وجود نازنین اوست.

بر خورد وظیفه می‌دانم از زحمات و حمایت‌های بی‌شمار پدر، مادر و خواهران مهربانم در تمامی مراحل زندگیم تقدیر و تشکر نموده و بهترین آرزوها را تقدیمشان نمایم.

کلمات در تقدیر از استاد بزرگوارم جناب آقای پروفسور اسماعیل اسماعیل زاده قاصرند ولی هر چند ناچیز اما نهایت سپاس و تشکرم را تقدیمشان می‌نمایم.

از زحمات استاد گرانقدرم جناب آقای پروفسور حبیب امین‌فر در رشد و تعالی علمی و شخصیتی‌ام سپاسگزارم.

از زحمات و همراهی‌های خالصانه برادر عزیزم مهندس امین شمس خرمی که در تمامی مراحل انجام پایان‌نامه همراه و یاور اینجانب بودند و سختی‌های این راه را بر من آسان نمودند نهایت تشکرو قدردانی را دارم.

لازم می‌دانم تشکرات خود را تقدیم حمایت‌های خالصانه و بی‌توقع دوستان بزرگوارم جناب آقای جمال طلوع اصغری و آقای مهندس حقی از واحد ساخت و تولید که ساخت قسمت‌های حساس تجهیزات آزمایشگاهی بر عهده ایشان بود نمایم.

از زحمات دوست گرانقدرم آقای مهندس عباسی در آزمایشگاه مکانیک سیالات در طول انجام آزمایشات تقدیر و تشکر ویژه دارم.

از تلاش‌ها و حمایت‌های دوست بزرگوارم جناب آقای محمد سلیمان پور نهایت تشکر و سپاس را دارم.

از تمامی دوستان عزیز دوره دکتری، هم اتاقی‌های گرانقدر و نیز تمامی عزیزانی که به نحوی نقشی در موفقیت اینجانب داشتند ممنون و متشکر هستم.

در نهایت تشکر ویژه خود را تقدیم جناب آقای دکتر سید فرامرز رنجبر می‌نمایم که در طول چندین سال آشناییمان، در هر موفقیتم نقش موثر و در لحظات سخت همراهی دلسوز برایم بودند.

همچنین از زحمات اساتید بزرگوار جناب آقای محمد حسن سعیدی از دانشگاه صنعتی شریف و خانم دکتر سیما باهری اسلامی که زحمت داوری این پایان‌نامه را برعهده داشتند قدردانی می‌نمایم.

تقدیم به

طلوع سفید یک جوانه

رویش یک زندگی

عروج یک انسان

نام خانوادگی: صادق مغانلو **نام:** فرهاد

عنوان پایان نامه:

مطالعه انتقال گرما و هیدرودینامیک جریان در کانال مینیاتوری حاوی سیال پایه و نانوسیال در حضور میدان الکتریکی

استاد راهنما: دکتر اسماعیل اسماعیل زاده

استاد مشاور: دکتر حبیب امین‌فر

مقطع تحصیلی: دکتری **رشته:** مهندسی مکانیک **گرایش:** تبدیل انرژی **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: فنی مهندسی مکانیک **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۹۳/۹/۶ **تعداد صفحه: ۱۲۲**

کلمات کلیدی: جریان ورقه‌ای ،بهبود انتقال گرما، کانال مینیاتوری، الکتروهیدرودینامیک، نانوسیال

چکیده

در کار حاضر اثرات ترکیب دو روش غیر فعال بهره‌گیری از کانال‌های مینیاتوری و نانوسیال با روش فعال استفاده ازمیدان الکتریکی روی بهبود انتقال گرما بررسی شده است. کانال مینیاتوری از مزیت قطر هیدرولیکی کاهش یافته بهره می‌گیرد. با کاهش قطر هیدرولیکی، نسبت سطح انتقال گرما به حجم سیال احاطه شده افزایش می‌یابد در نتیجه میزان انتقال گرما بهبود می‌یابد. افزودن نانوذرات به سیال پایه سبب بهبود خواص انتقال گرمایی سیال می‌شود. اعمال میدان الکتریکی یک روش فعال است که با ایجاد جریان‌های ثانوی سبب تخریب لایه مرزی می‌شود و میزان انتقال گرما بیشتر می‌گردد. هندسه استفاده شده یک کانال مربعی به ضلع ۵ میلی‌متر و به طول ۵۰ میلی‌متر می‌باشد که از یک وجه گرم می‌شود. هندسه الکترودها از نوع سیم و صفحه می‌باشد. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که در تمامی ولتاژهای اعمالی، با افزایش عدد رینولدز و بیشتر شدن درصد حجمی نانوذرات میزان انتقال گرما افزایش می‌یابد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در درصدهای پایین ولتاژ اعمالی تغییر چندانی در انتقال گرمای سطح مشاهده نمی‌شود اما بعد از یک ولتاژ بحرانی دمای سطح، افت شدید نشان می‌دهد. در این ناحیه تزریق یون بر مومنتوم سیال غالب می‌شود و پیدایش جریان‌های ثانوی سبب تخریب لایه مرزی می‌گردد. به ازای درصد حجمی ۰/۵٪ نانوذرات، به هم چسبیدگی شدید ذرات اتفاق افتاد. به دلیل کوچکی حجم کانال‌های مینیاتوری و حضور میدان الکتریکی و نیز به خاطر خطرات ناشی از اتصال کوتاه مدار الکتریکی، آزمایشات تا درصد حجمی ۰/۳٪ انجام پذیرفت. اساس کار حاضر بررسی تجربی است اما به خاطر اشراف بهتر بر مسئله از روش عددی المان محدود برای مقایسه نتایج تجربی و عددی استفاده شده است. با افزایش ولتاژ اعمالی و افزودن درصد حجمی نانوذرات، اختلاف نتایج عددی و تجربی بیشتر می‌شود. مقایسه نتایج تجربی وعددی نشان می‌دهد که با افزودن درصد حجمی نانوذرات، حتی در ولتاژهای پایین اختلاف زیادی بین نتایج تجربی و عددی مشاهده می‌شود.

فهرست مطالب

۱ مقدمه و پیشینه پژوهش ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ پیشینه پژوهش کانال‌های مینیاتوری ۳

۱-۳ پیشینه پژوهش الکتروهیدرودینامیک ۵

۱-۴ پیشینه پژوهش نانوسیال‌ها ۸

۱-۴-۱ هدایت گرمایی نانو سیال ۸

۱-۴-۲ پیشینه جابجایی نانوسیال ۱۰

۱-۵ پیشینه پژوهش کارهای ترکیبی ۱۱

۱-۶ جمع بندی پایه های نظری و پیشینه پژوهش ۱۴

۲ مبانی و روش‌ها ۱۷

۲-۱ مفاهیم اولیه در انتقال گرما ۱۷

۲-۲ روش‌های افزایش انتقال گرما ۱۸

۲-۲-۱ روش فعال ۱۸

۲-۲-۲ روش غیر فعال ۱۹

۲-۲-۳ معیارهای ارزیابی عملکرد ۲۳

۲-۳ کانال‌های مینیاتوری ۲۳

۲-۳-۱ نیاز به کانال های مینیاتوری ۲۳

۲-۳-۲ اصول کلی حاکم بر کانال‌های مینیاتوری ۲۴

۲-۳-۳ طبقه بندی کانال‌ها ۲۷

۲-۳-۴ طبقه بندی معادلات حاکم در کانال های مینیاتوری ۲۸

۲-۴ الکتروهیدرودینامیک ۳۰

۲-۴-۱ مبانی الکتروهیدرودینامیک ۳۰

۲-۴-۲ مزایای استفاده از الکتروهیدرودینامیک [۸۴] ۳۰

۲-۴-۳ معایب استفاده از روش الکتروهیدرودینامیک ۳۱

۲-۴-۴ کاربردهای الکتروهیدرودینامیک[۸۵،۷۶] ۳۱
۲-۴-۵ مفاهیم اولیه در الکتروهیدرودینامیک ۳۱
۲-۴-۶ نیروهای موثر در پدیده الکتروهیدرودینامیک ۳۵
۲-۴-۷ پمپ الکتروهیدرودینامیک ۳۷
۲-۵ نانوسیال‌ها ۳۸
۲-۵-۱ مبانی نانوسیال‌ها ۳۸
۲-۵-۲ اهمیت نانوسیال ۴۰
۲-۵-۳ انواع نانوذرات[۹۹،۱۰۰] ۴۰
۲-۵-۴ انواع سیالات مورد استفاده ۴۰
۲-۵-۵ روش‌های تولید نانوذرات[۹۹و۱۰۱] ۴۰
۲-۵-۶ پخش کردن نانو ذرات در مایعات ۴۰
۲-۵-۷ ضریب هدایت گرمایی نانو سیال‌ها ۴۱
۲-۵-۸ انتقال گرمای جابجایی نانوسیال‌ها ۴۴
۲-۵-۹ لزجت نانوسیال‌ها ۴۵
۲-۶ ذرات در حضور میدان الکتریکی ۴۵
۲-۶-۱ مقدمه ۴۵
۲-۶-۲ نیروی اعمالی به ذره دی‌الکتریک ۴۶
۲-۶-۳ دی الکتروفورسیس ۴۷
۲-۶-۴ اندرکنش بین ذرات در حضور میدان الکتریکی ۴۹
۲-۷ بررسی تجربی ۵۴
۲-۷-۱ سیال کارکن و نانوذرات استفاده شده ۵۵
۲-۷-۲ سکوی اصلی آزمایشات هیدرودینامیک و انتقال گرما ۵۷
۲-۷-۳ تجهیزات اندازه گیری ۶۱
۲-۷-۴ روش انجام آزمایش ۶۲
۲-۷-۵ تجهیزات مربوط به تصویر برداری از حرکت ذرات ۶۲

۲-۷-۶ عدم قطعیت ۶۴
۲-۸ بررسی عددی ۶۶
۲-۸-۱ مقدمه ۶۶
۲-۸-۲ معادلات حاکم ۶۶
۲-۸-۳ معرفی هندسه و شبکه بندی ۶۷
۲-۸-۴ شرایط مرزی ۶۸
۲-۸-۵ روش حل ۶۹
فصل سوم ۷۰
بیان نتایج ۷۰
۳ بیان نتایج ۷۱
۳-۱ نتایج تجربی ۷۱
۳-۱-۱ نتایج سیال پایه ۷۱
۳-۱-۲ نتایج با نانو سیال ۷۷
۳-۲ نتایج عددی ۸۸
۳-۳ جمع بندی ۹۷
منابع و مراجع ۹۸

فهرست جداول

جدول ۲-۱: دسته بندی کانال‌ها از دیدگاه کاندلیکار و گراند[۸۱] ۲۷
جدول ۲-۲ ضرایب هدایت گرمایی برخی مواد جامد و آب [۹۷] ۳۹
جدول ۲-۳ خواص ترموفیزیکی سیال پایه ۵۵
جدول ۲-۴ خواص ترموفیزیکی نانوذره آلومینا ۵۵
جدول ۲-۵ عدم قطعیت پارامترها و متغیرها ۶۵
جدول ۲-۶ عدم قطعیت تجهیزات استفاده شده ۶۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱سطوح پوشش داده شده، الف) نمای شماتیک از سطح ب) تصویر واقعی از سطح[۷۷]..... ۲۰
شـکل ۲-۲: الف) زبری ایجاد شده در خود لوله برای جریان‌های تک‌فاز و دوفاز ب) سطوح زیر برای بهبود جوشش هسته‌ای ج) سیم پیچ برای ایجاد اغتشاش درجریان [۷۶]..... ۲۰
شکل ۲-۳ نمونه ای از پره‌های استفاده شده در صنعت[۷۶]..... ۲۱
شکل ۲-۴ نمایی میکروسکوپی از میکروکانال..... ۲۲
شکل ۲-۵ تصویر TEM از نانوذرات..... ۲۳
شکل ۲-۶: تغییرات ضریب جابجایی اجباری برای آب و هوا بر حسب قطر هیدرولیک [۷۸]..... ۲۵
شکل ۲-۷: تغییرات فشار با کاهش قطر هیدرولیکی مجرا[۷۸]..... ۲۶
شکل ۲-۸ : بازه قطر مجراهای استفاده شده در کاربردهای مختلف[۷۹]..... ۲۶
شکل ۲-۹ طول مشخصه برای در نظر گرفتن ابعاد مولکولی[۸۲]..... ۲۸
شکل ۲-۱۰: فرآیند تشکیل دو قطبی در یک مولکول خنثی و در حضور میدان الکتریکی..... ۳۲
شکل ۲-۱۱ : تشکیل دو قطبی در یک خازن..... ۳۳
شکل ۲-۱۲: نیروی کولمب[۹۳]..... ۳۵
شکل ۲-۱۳ دی الکتروفورتیک الف) تغییرات ضریب گذردهی الکتریکی ب) اثرات میدان غیر یکنواخت..... ۳۶
شکل ۲-۱۴: پدیده استخراج مایع..... ۳۶
شـکل ۲-۱۵:بررسـی اثر ابعاد ذره بین کار لی وهمکاران[۱۰۲] با ماسـودا و همکاران[۱۰۱] ومقایسـه با نتایج کلاسیک همیلتون کراسر..... ۴۱
شکل ۲-۱۶:بررسی اثر درصد حجمی در دماهای متفاوت[۱۰۴]..... ۴۲
شـکل ۲-۱۷: بهبود ضریب هدایت گرمایی نانوسیال با ذرات مس برای سه نوع ذرات تازه، قدیمی و مخلوط شده در اسید[۱۰۸،۱۰۹]..... ۴۳
شکل ۲-۱۸:دو قطبی در میدان الکتریکی..... ۴۶
شکل ۲-۱۹: میدان الکتریکی غیر یکنواخت حاصل از سیم و صفحه تخت..... ۴۷
شـکل ۲-۲۰:توزیع میدان الکتریکی حول دو ذره با رسانندگی الکتریکی متفاوت الف) قطبیدگی ذره کمتر از سیال اطراف ب) قطبیدگی ذره بیشتر از سیال اطراف..... ۴۸
شکل ۲-۲۱ : تجمع بار در سطح مشترک الف)قطبش پذیری ذره بیشتر از سیال اطرافب)قـطـبش پـذیری ذره کمتر از سیال اطراف..... ۴۹
شکل ۲-۲۲ جهت گیری دو دوقطبی مجاور د رحضور هم در میدان الکتریکی..... ۴۹
شـکل ۲-۲۳: توزیع میدان الکتریکی با حضـور دو ذره الف) قطبش پذیری ذره بیشـتر از سـیال اطراف است ب) قطبش پذیری ذره کمتر از سیال اطراف است..... ۵۰
شـکل ۲-۲۴ توزیع میدان الکتریکی حول دو ذره غیر همجنس در میدان الکتریکی الف حالت پایدار ب) حالت

ناپایدار..... ۵۲
شکل ۲-۲۵ به هم چسبیدگی ذرات در حضور میدان الکتریکی به صورت زیجیره ذرات..... ۵۳
شـکل ۲-۲۶ شمای کلی هندسه تحت بررسی الف طرح واره کلی مجرا عبوری جریان و ابعاد مربوطه ب- محل قرار گیری فشار سنج‌ها و ترموکوپل‌ها..... ۵۴
شکل ۲-۲۷ تصویر XRD نانوسیالات استفاده شده..... ۵۶
شکل ۲-۲۸ تصویر TEM نانوسیالات استفاده شده..... ۵۶
شکل ۲-۲۹ سیال کارکن الف-تصویر سیال پایه ب-نانوسیال پایدار به ازای درصد حجمی ۰/۳٪..... ۵۷
شـکل ۲-۳۰: سکوی ساخته شده برای آزمایش الف) عکس از تجهیزات ساخته شده ب) طرح واره گرافیکی ساخته شده..... ۵۸
شـکل ۲-۳۱ طرح سـه بعدی از عایق‌ها، هیتر و سـرپوش پلاکسی‌گلاس و نحوه مونتاژ قطعات (۱- پیچ مونتاژ، ۲- صفحه شفاف پلاکسی گلاس، ۳-هیتر، ۴- عایق)..... ۵۹
شکل ۲-۳۲ الف) ساختار هیتر استفاده شده ب) هندسه مورد استفاده..... ۶۰
شـکل ۲-۳۳ وسـیله سـاخته شده جهت فیلمبرداری از رفتار ذرات الف- تصویر وسیله ساخته شده ب- طرحواره وسیله تصویر برداری..... ۶۳
شکل ۲-۳۴ هندسه فضای حل سه بعدی در روش حل عددی..... ۶۷
شکل ۲-۳۵ شبکه استفاده شده برای حل عددی..... ۶۸
شکل ۳-۱ مقایسه نتایج تجربی کار حاضر با داده کلاسیک مربوط ه ضریب اصطکاک..... ۷۲
شکل ۳-۲ مقایسه نتیجه عددی کار حاضر با نتایج کار کلاسیک برای گرمایش از چهار وجه..... ۷۳
شکل ۳-۳ مقایسه نتایج کار عددی بدست آمده با نتایج تجربی برای عدد نوسل برای گرمایش از یک وجه..... ۷۳
شکل ۳-۴ تغییرات دمای متوسط سطح به ازای رینولدزهای مختلف و ولتاژهای متفاوت..... ۷۴
شکل ۳-۵ اثر اعمال میدان الکتریکی رو افت فشار..... ۷۵
شکل ۳-۶ تغییر عدد نوسل نسبت به تغییر ولتاژ و به ازای رینولدزهای مختلف..... ۷۶
شکل ۳-۷ تغییرات ضریب ارزیابی عملکرد به ازای رینولدزهای مختلف و ولتاژهای متفاوت..... ۷۷
شکل ۳-۸تغییرات نمودار ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز برای ۴ درصد حجمی ذکر شده را در حالت بدون اعمال میدان الکتریکی..... ۷۸
شـکل ۳-۹ تغییرات ضریب انتقال گرمای جابجایی بر حسب عدد رینولدز برای درصدهای حجمی مختلف نانوسیال ۷۹
شـکل ۳-۱۰ تغییرات افت فشـار به ازای ولتاژهای مختلف و درصدهای حجمی متفاوت در رینولدزهای الف-۵، ب-۱۶، ج-۳۲ در ولتاژهای مختلف..... ۸۱
شکل ۳-۱۱ تغییرات دمای سطح به ازای ولتاژهای مختلف و درصدهای حجمی متفاوت در رینولدزهای الف-۵، ب-۱۶، ج-۳۲..... ۸۲

شکل ۳-۱۲ تغییرات ضریب کنوکسیون به ازای ولتاژهای مختلف و درصدهای حجمی متفاوت در رینولدزهای الف-۵، ب- ۱۶، ج-۳۲..... ۸۳
شکل ۳-۱۳ ذرات معلق در سیال در ولتاژهای الف-۳ کیلوولت ب-۶ کیلو ولت ج- ۹ کیلو ولت..... ۸۵
شکل ۳-۱۴ به هم‌چسبیدگی ذرات نانو در حضور میدان الکتریکی..... ۸۷
شکل ۳-۱۵ جریان‌های ثانوی در مجرای کانال به ازای ولتاژ اعمالی ۱۲ کیلو ولت در سیم ولتاژ بالا برای سیال پایه ۸۸
شکل ۳-۱۶ خطوط توزیع الف- توزیع چگالی بار الکتریکی ب- خطوط پتانسیل الکتریکی به ازای ولتاژ ۱۲ کیلوولت برای سیال پایه..... ۸۹
شکل ۳-۱۷ مقایسه افت فشار روش عددی و نتایج تجربی برای اعداد رینولدز الف-۷ ب-۱۴ ج-۳۳..... ۹۰
شکل ۳-۱۸ مقایسه افت ضریب انتقال گرمای جابجایی روش عددی و نتایج تجربی برای اعداد رینولدز الف-۷ ب-۱۴ ج-۳۳..... ۹۱
شکل ۳-۱۹ مقایسه نتایج تجربی و عددی ضریب انتقال گرمای جابجایی برای درصدهای حجمی الف-۰، ب-۰/۱، ج-۰/۲ ، د-۰/۳ درصد حجمی..... ۹۲
شکل ۳-۲۰ مقایسه نتایج تجربی و عددی ضریب انتقال گرمای جابجایی برای درصد حجمی ۰/۱ در اعداد رینولدز الف-۷، ب-۱۴ ، ج-۳۳..... ۹۳
شکل ۳-۲۱ مقایسه نتایج تجربی و عددی ضریب انتقال گرمای جابجایی برای درصد حجمی ۰/۲ در اعداد رینولدز الف-۷، ب-۱۴ ، ج-۳۳..... ۹۴
شکل ۳-۲۲ مقایسه نتایج تجربی و عددی ضریب انتقال گرمای جابجایی برای درصد حجمی ۰/۳ در اعداد رینولدز الف-۷، ب-۱۴ ،..... ۹۵

فهرست علایم

A	سطح تبادل گرما $[m^2]$
c_p	ظرفیت گرمایی ویژه $[J/kg.K]$
D_h	قطر هیدرولیکی $[m]$
D_e	بردار جابجایی الکتریکی $[V/m]$
E	شدت میدان الکتریکی $[V/m]$
F	فاراد
F_q	نیروی بین دو بار الکتریکی [N]
f	ضریب اصطکاک $[-]$
f_e	نیروی حجمی الکتریک $[N/m^3]$
f_s	ضریب اصطکاک بدون اعمال روش افزایش گرما$[-]$
G	سرعت جرمی $[kg/(m^2.s)]$
h	ضریب انتقال گرمای جابجایی $[W/m^2K]$
I	جریان الکتریکی [A]
j	ضریب کلبرن$[-]$
j_s	ضریب اصطکاک بدون اعمال روش افزایش گرما$[-]$
k	ضریب هدایت گرمایی $[W/m.K]$
K_n	عدد نادسن $[-]$
K_e	موبیلیتی الکتریکی سیال $[m^2/(V.s)]$
L	طول مشخصه [m]
l_{sv}	طول مشخصه حجم کنترل [m]
M	گشتاور دو قطبی [m.C]
$\dot{m}$	دبی جرمی $[kg/s]$
Nu	عدد نوسل $[-]$
P	چگالی پلاریزاسیون $[V/m]$
Po	عدد پوازوی $[-]$
Pr	عدد پرانتل $[-]$
q	بار الکتریکی [C]
$\dot{Q}$	نرخ انتقال گرما $[W]$
$\dot{q}$	شار گرمایی $[W/m^2]$
Re	عدد رینولدز $[-]$
St	عدد استانتون $[-]$

T	دما $[℃]$
U	پتانسیل الکتریکی $[V]$
u	سرعت در راستای محور طولی $[m/s]$
v	سرعت در راستای y $[m/s]$
w	سرعت در راستای z

نمادها

ΔP	افت فشار$[Pa]$
α	پخشندگی گرمایی $[m^2/s]$
β	نسبت ضخامت نانولایه به قطر ذره $[-]$
φ	درصد حجمی $[-]$
ε	ضریب گذردهی الکتریکی $[-]$
τ	زمان رهایش بار
σ	ضریب هدایت الکتریکی$[S/m]$
η	بازده بهبود انتقال گرما $[-]$
μ	لزجت دینامیکی $[Pa.s]$
χ	حساسیت الکتریکی $[-]$
μ_{bf}	لزجت دینامیکی سیال پایه $[Pa.s]$
μ_{nf}	لزجت دینامیکی نانوسیال $[Pa.s]$
ρ	چگالی $[kg/m^3]$
ρ_e	چگالی بار الکتریکی $[C/m^3]$
ρ_{nf}	چگالی نانوسیال $[kg/m^3]$
ρ_p	چگالی نانوذره $[kg/m^3]$

زیرنویس ها

o	حالت بدون اعمال میدان الکتریکی
b	بالک
in	ورودی
out	خروجی

فصل اول

مقدمه و پیشینه پژوهش

۱ مقدمه و پیشینه پژوهش

۱-۱ مقدمه

رشد روز افزون تکنولوژی و افزایش جمعیت افراد روی زمین و نیز تغییر سبک زندگی بشر امروزه، مصرف منابع انرژی را با سرعت بسیار بالایی افزایش داده است. مصرف انرژی همراه با تخریب منابع زیست محیطی و نیز تامین منابع مورد نیازهمراه است. آلودگی‌های زیست محیطی و نیز کاهش روز افزون منابع موجود محققان را به فکر استفاده از منابع مختلف انرژی انداخته است اما از آنجا که این منابع جدید هنوز به اندازه منابع کنونی قابل استفاده،از قبیل نفت و سوخت‌های فسیلی توجیه اقتصادی ندارند صرفه جویی در مصرف منابع انرژی موجود امری اجتناب ناپذیراست. اصلاح الگوی مصرف و نیز افزایش بازده تجهیزات تولید شده راه‌کارهای اساسی جهت غلبه بر مشکلات مربوط به کمبود منابع انرژی و نیز حفاظت محیط زیست می‌باشد. بحث‌های مربوط به اصلاح الگوی مصرف در حیطه رشته‌های علوم انسانی است و آنچه بیشتر مورد توجه مهندسین است افزایش کارآیی ماشین‌آلات تولیدی است. دستگاه‌های مختلف متناسب با عملکردشان مقداری گرما تولید می‌کنند که این گرما باید به نحوی دفع شود. گاه میزان این گرمای تولیدی به حدی بالاست که اگر به نحو مناسبی از سیستم خارج نشود سبب آسیب جدی و خلل در عملکرد سیستم خواهد شد. با رشد روز افزون علم و نیز تغییرات در صنعت و سبک زندگی تجهیزاتی تولید می‌شوند که میزان شار گرمای تولیدی در آنها بسیار بالاست.

پس از کنفرانس معروف ریچارد فاین‌من، فیزیکدان برنده جایزه نوبل در سال ۱۹۵۹ و بیان مفهوم میکروماشین‌ها[۱] جهت‌گیری‌های گسترده‌ای در راستای مینیاتورسازی قطعات تولیدی انجام گرفت. توجه به مینیاتورسازی از چند حیث قابل اهمیت است. یکی از بابت اینکه با کوچکتر شدن ابعاد، هزینه مواد تمام شده کمتر می‌شود، از طرف دیگر کوچکتر شدن قطعات، مصرف انرژی برای تولید این قطعات را نیز کاهش می‌دهد. موضوع دیگر اینکه با توسعه روش‌های جدید ساخت تجهیزات کوچک،میل به سوی ساخت میکرو ماشین‌ها و نانوماشین‌ها افزایش یافته است. این موضوع در ساخت تجهیزات مربوط به الکترونیک، علوم هوا-فضا و علوم نظامی و علوم زیستی اهمیت فوق‌العاده‌ای یافته است.

کوچکتر شدن قطعات تولیدی لزوم یافتن راه‌های جدید جهت خنک‌کاری این قطعات را ایجاب می‌کند، زیرا ازطرفی کوچکتر شدن حجم متناسب است با افزایش شار گرمایی و نیز از طرفی حتی در شارهای پایین گرمایی، روش‌های معمول به خاطر کوچکی فضا جوابگو نیستند. از این رو لازم است تا روش‌های جدید انتقال گرما معرفی شوند.

روش‌های بهبود انتقال گرما به دو دسته کلی روش‌های فعال و روش‌های غیر فعال طبقه بندی می‌شوند. در روش فعال با اعمال انرژی خارجی میزان انتقال گرما افزایش می‌یابد اما در روش غیرفعال با تغییراتی در هندسه کانال و یا تغییراتی در خواص سیال کارکن میزان انتقال گرما افزایش می‌یابد. یکی از روش‌های غیر فعال کارآمد بهبود انتقال

گرما، مینیاتورسازی مبدل‌های گرمایی است. این امر سبب کاهش قطر هیدرولیکی و متناظر با آن افزایش سطح تبادل گرما شده درنتیجه میزان جذب گرما را افزایش می‌دهد.

تاکرمن و پیز[۲] با ساخت اولین میکروکانال برروی مدارات مجتمع سیلیکونی توانستند شارگرمایی بسیار بالایی را از سطح گرم جذب کنند. از آن زمان تاکنون تحقیقات گسترده‌ای برای ساخت و آزمایش میکروکانال‌ها انجام گرفته است. میکروکانال‌ها در کنار تبادل حجم بسیار بالای گرما یک مشکل بسیار بزرگ داشتند و آن افزایش بسیار زیاد افت فشار بود. مینی‌کانال‌ها از مزیت کانال‌های مینیاتوری بهره می‌برند و نیز افت فشارشان خیلی کمتر از میکروکانال‌هاست اگرچه میزان جذب گرمایشان به اندازه میکروکانال‌ها نیست ولی اگر بتوان یکی از روش‌های فعال یا غیر فعال را با مینی‌کانال‌ها ترکیب نمود میزان جذب گرما بیشتر هم می‌شود.

یک مشکل اساسی در زمینه بهبود انتقال گرما این است که سیال عامل مورد استفاده عموما دارای خواص انتقال گرمایی ضعیفی هستند. سیالات معمول مورد استفاده که شامل آب و ترکیبات آلی و روغن‌ها می‌شود ضرایب هدایت گرمایی بسیار کمتری نسبت به جامدات دارند بنابراین به نظر می‌رسد ترکیب ذرات جامد در سیالات مورد استفاده، خواص گرمایی سیالات را افزایش دهد. با بهره گیری از همین ایده، نانوسیال‌ها معرفی شدند که عبارتند از مخلوط کردن ذرات با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر در سیال پایه. این امر سبب بهبود ضریب هدایت گرمایی سیالات می‌گردد و از طرفی با توجه به مکانیزم‌های دیگری که با افزودن ذرات نانو بوجود می‌آید خواص انتقال گرمایی سیال بهتر می‌شود.

یکی دیگر از روش‌های بهبود انتقال گرما استفاده از روش فعال اعمال میدان الکتریکی است. میدان الکتریکی اثر خود را به صورت نیروی حجمی خارجی نشان داده در نتیجه اعمال مومنتوم اضافی به سیال و بوجود آمدن جریان‌های ثانوی در سیال میزان انتقال گرما افزایش می‌یابد.

تحقیقات زیادی در مورد کانال‌های مینیاتوری، اعمال میدان الکتریکی و نانوسیال‌ها صورت گرفته است که در قسمت مرور ادبیات فن بدان‌ها خواهیم پرداخت. اما ترکیب روش‌های مورد نظر به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است مخصوصا اثرات میدان الکتریکی روی نانوسیال‌ها. اثر میدان الکتریکی روی سیال خالص با آن‌که به مدت زمان طولانی مورد بحث و بررسی بوده است اما هنوز مسائل زیادی هستند که ناشناخته مانده‌اند. با حضور نانوسیال در میدان الکتریکی این موضوع پیچیده‌تر نیز می‌شود. نانوسیال مخلوطی است از سیال پایه و تعداد بسیار زیادی از ذرات. وقتی این مخلوط در معرض میدان الکتریکی ولتاژ بالا قرار می‌گیرد مکانیزم‌هایی در تقابل بین میدان الکتریکی و میدان سیال مطرح می‌شود. اثرات متقابل بین ذرات، اثرات ذره روی سیال و سیال روی ذره، تزریق یون‌ها و اثرات همزمان آن روی ذرات و مولکول‌های سیال بر پیچیدگی این مسئله می‌افزاید. اعمال میدان الکتریکی، استفاده از کانال مینیاتوری و نیز استفاده از نانو سیال هر کدام به نحوی نقشی مهم در فرآیند بهبود انتقال گرما دارند و به نظر می‌رسد ترکیب این روش‌ها میزان انتقال گرما را به نحو قابل توجهی افزایش دهد اما افزودن نانو ذرات سبب تغییراتی در خواص سیال می‌شود که گاه اثر معکوس روی فرآیند انتقال گرما دارد. از این رو در کار حاضر با ترکیب دو روش

غیر فعال اســتفاده از کانال مینیاتوری و نانوســیال با روش فعال اعمال میدان الکتریکی میزان بهبود انتقال گرما و نیز تغییرات افت فشار بررسی شده است.

در فصـــل اول بـه بیـان مفـاهیم کانال‌های مینیاتوری، الکتروهیدرودینامیک و نانوســـیال‌ها پرداخته‌ایم. در بخش کـانـال‌هـای مینیاتوری چگونگی افزایش انتقال گرما با کوچکتر شـــدن قطر کانال‌ها و اثرات تغییر قطر کانال بر روی معـادلات حـاکم را بررســـی نموده‌ایم. در بـاره الکتروهیـدرودینـامیـک پس از بیان مفاهیم اولیه در مورد میدان‌های الکتریکی به بیان معادله نیروی حجمی اعمالی از طرف میدان الکتریکی بر میدان ســیال پرداخته‌ایم و عوامل موثر در بوجود آمدن اغتشـاشـات در سـیال را توضـیح داده‌ایم. بیان مفاهیم اولیه در مورد ایده نانوسیال‌ها و نیزمعرفی برخی مکانیزم‌های موجود در بهبود ضریب هدایت گرمایی و نیز ضریب انتقال گرمای جابجایی را در قسمت نانوسیال مطرح نموده‌ایم. در ادامه حضور ذره در میدان الکتریکی و نیز اندرکنش ذرات بررسی شده است.

درفصل دوم فرآیند تحقیق انجام گرفته توضیح داده شده است. مبنای کار حاضر روش تجربی است واز روش عددی نیز برای اشراف بهتر بر مسئله بهره برده شده است. در این فصل تجهیزات آزمایشگاهی طراحی وساخته شده و روش داده‌برداری بیان شده است و به فرآیند محاسبه عدم قطعیت اشاره شده است.

و در نهایت در فصـل سـوم داده‌های تجربی و عددی بدسـت آمده آورده شـده اسـت و به تحلیل نتایج بدست آمده پرداخته شده است.

۱-۲ پیشینه پژوهش کانال‌های مینیاتوری

ایده مجراهای مینیاتوری اولین بار توسـط تاکرمان و پیز [۲] درسـال ۱۹۸۱ با ساخت میکروکانال برای خنک‌کاری مدارهای مجتمع بزرگ ارائه شـد. آنها توانسـتند شـار حرارتی بسیار بالای W/cm^2 ۷۹۰ را با استفاده از میکروکانال سیلیکونی با سیال عامل آب دفع کنند. کار تاکرمان و پیز محققان بسیاری را واداشت تا در زمینه خنک کاری در بعد میکرو و نانو تحقیقات گســـترده ای انجام دهند. مورینی[۳] کارهای تجربی جریان تک‌فازی در میکروکانال‌ها را جمع بندی نمود. نتایج در مورد ضریب اصطکاک، گذار از جریان لایه‌ای به آشفته و عدد نوسل در میکروکانال‌ها مورد بحث قرار گرفت. او به این نتیجه رسـید که در بعضی از تحقیقات، نتایج ارائه شده در مورد ضریب اصطکاک و عدد نوسل با نتایج موجود در فضـای ماکروسـکوپیک متفاوت اسـت. همچنین مقالات مختلف نیز از نظر نتایج ارائه شده متفاوت از هم بودنـد. او بـه این نتیجه رســـید که عدد رینولدز بحرانی برای گذار از جریان لایه‌ای به آشـــفته در اعداد رینولدز بزرگتری اتفاق می افتد،عددرینولدز بحرانی به زبری دیوار بسـتگی دارد. او با مطالعه کارهای انجام شـده به این جمع بندی رسید :

در بحث عدد رینولدز بعضی محققان ادعا کردند که عدد نوسل در ناحیه لایه‌ای با افزایش عدد رینولدز با توان ۰/۳ تا ۰/۹۶ افزایش می‌یابد در حالی‌که برخی دیگر ادعا کردند که با افزایش عدد رینولدز، عدد نوسل کاهش می‌یابد.

در ناحیه توربولانت، رابطه دیتوس_ بولتر باید برای میکروکانال ها اصـلاح شـوند. در نهایت تغییرات ویسـکوزیته با

دما، انتقال حرارت را تحت تاثیر قرار می دهد.

او برخی مکانیزم هایی که سبب می شوند نتایج بدست آمده در میکروکانال‌ها با نتایج تئوری کلاسیک متفاوت باشند راموارد زیر دانست:

اثر رقیق شدگی، تاثیرات تراکم پذیری، اتلافات لزجی، تاثیرات الکترواسموتیک(EDL)، تغییرات خواص، تاثیر سطح کانال(زبری نسبی) و نیز برخی عدم دقت ها دانست.

ژائو و همکاران[۴] ضرایب شکل را در مینی‌کانال‌ها ومیکروکانال‌ها بررسی کردند که در آن ارتفاع مجرا از ۰/۱ تا ۱میلیمتر در نظر گرفته شد. آنها گزارش دادند که به ازای ارتفاع‌های بزرگتر از ۰/۴ میلیمتر نتایج به دست آمده با روابط کلاسیک بدست آمده برای مومنتوم و انتقال گرما به خوبی سازگاری دارد. پنگ وپترسون[۵]یک سری آزمایشات تجربی برای مطالعه رفتار هیدرودینامیکی انتقال گرمای سیال تک فازدر سینک گرمایی میکرو انجام دادند. ویلین و مودوار[۶] یک سری آزمایشات برای بررسی هیدرودینامیک و انتقال گرمای سیال تک‌فاز انجام داد و سپس نتایج تجربی خود را با نتایج عددی مقایسه کردند. نتایج عددی و تجربی دارای توافق خوبی بودند. ونگ و همکاران[۷] با بررسی هیدرودینامیکی سیال آب و روغن روانکاری در مجراهایی با سطح مقطع دایروی و مستطیلی به این نتیجه رسیدند که داده‌های بدست آمده دارای توافق خوبی با روابط کلاسیک موجود است. کاندلیکار و همکاران[۵] جریان هیدرودینامیکی و انتقال حرارتی سیالات در مینی‌کانال‌ها و میکروکانال‌ها را به صورت گسترده بررسی نمودند

ینر و همکاران[۸] به جمع بندی زیر رسیدند:

۱-انتقال حرارت جابجایی در میکروکانال‌ها متفاوت از کانال‌های معمول است و به عدد نادسن، پرانتل، برینکمن و نیز ضریب شکل مجرا بستگی دارد،

۲-انتقال حرارت جابجایی مایعات در مینی‌کانال ها ومیکروکانال‌ها در ناحیه جریان پیوسته قرار دارد بنابراین روابط ناویه-استوکس برقرار است،

۳- هندسه میکروکانال و قطر هیدرولیکی اثرات فوق العاده‌ای دارند،

۴- چون در ناحیه توربولانت افت فشار زیادی بوجود می‌آید اثرات افزایشی در انتقال حرارت ارزشش کم می‌شود. از این رو برای میکروکانال‌ها اهمیت جریان لایه‌ای بیشتر از جریان آشفته است،

۵- با فاصله گرفتن از پیوستگی یا افزایش عدد نادسن، کاهش عدد نوسل مشاهده می شود،

۶- برای جریان لایه‌ای توسعه یافته در میکروکانال عدد نوسل متناسب است با عدد رینولدز به توان ۰/۶۲ در حالی که برای جریان آشفته توسعه یافته، برای یافتن عدد نوسل، رابطه دیتوس- بولتر باید در ضریب تصحیحی که در بازه ۰/۰۰۸۰۵ تا۰/۰۲۳ قرار دارد ضرب شود.

۷- نقطه گذار جریان تابعی از شـار حرارتی دیواره و شرایط دمایی آن است زیرا تغییرات زیاد دما سبب تغییرات در خواص سـیال می‌شـود که مسـتقیما بر روی عدد رینولدز اثر می‌گذارد. بنابراین نقطه یا بازه گذار از لایه‌ای به آشـفته متاثر از دمای سیال، سرعت و مشخصات هندسی میکروکانال است،

۸- عدد پرانتل مهم اسـت زیرا مسـتقیما روی پرش دمایی دیواره اثرگذار اسـت. با افزایش عدد پرانتل، اختلاف بین دمای دیواره و سیال در دیواره کاهش می‌یابد که منجر به اعداد نوسل بزرگتر می شود،

۹- اتلافات لزجی فاکتور با اهمیتی اسـت و مخصوصا در جریان لایه‌ای اهمیتش بیشتر می شود چون گرادیان قابل ملاحظه ای وجود دارد.

بایراکتارو پیدوگو[1] [۹] اختلاف نتایج ارائه شـده در افت فشار، ضریب اصطکاک و عدد نوسل بدست آمده در مقالات ارائه شده در میکروکانال‌ها را موارد زیر دانست:

عدم قطعیت در اندازه گیری ابعاد کانال و نرخ جریان، اختلاف در زبری سـطح، اثرات گرمایشی ژول و اتلافات لزجی که برخی محققان نادیده می‌گرفتند، اثرات الکتروویسکوز که در جریان های رانشی با فشار حساب نمی‌شد

و نیز نادیده گرفتن اثرات ورودی و خروجی.

لو و نانا [۱۰] کاری تجربی برای مطالعه مایع در میکروکانال با منیفولد ذوزنقه‌ای انجام دادند. تحقیق آنهانشـان داد کـه توزیع یکنواخت جریان در کانال‌ها به صـورت قابل توجهی به شـکل منیفولد، طول و موقعیت مقاطع ورودی و خروجی ونرخ جریان ورودی بستگی دارد.

حسـن و همکاران[۱۱] تاثیر هندسـه کانال روی عملکرد میکروکانال غیر همسـو را به صورت عددی بررسی کردند. انتقال حرارت سه بعدی با در نظر گرفتن هدایت حرارتی سه بعدی در دیواره برای بررسی اثر اندازه و شکل کانال‌های میکروکانال بررسـی گردید. شـکل‌های دایره‌ای، مسـتطیلی، مثلثی و ذوزنقه‌ای بررسی گردید. مشاهده شد که کاهش حجم هر کانال یا افزایش تعداد کانال‌ها منجر به افزایش انتقال حرارت و افزایش توان پمپاژ گردید. آنها به این نتیجه رسیدند که سطح مقطع دایره‌ای بالاترین عملکرد را با در نظر گرفتن هر دو اثر انتقال حرارت و افت فشار می دهد.

۱-۳ پیشینه پژوهش الکتروهیدرودینامیک

از عمراسـتفاده از میدان الکتریکی به عنوان روش فعال برای افزایش انتقال حرارت نزدیک ۱۰۰ سـال می گذرد. اصـول عمومی افزایش انتقـال حرارت الکتروهیـدرودینامیک به ایجاد کردن یک میدان الکتریکی در محیط سـیال دی‌الکتریـک اشـاره دارد. در این روش یـک میدان الکتریکی AC یا DC با ولتاژ بالا و جریان کم در محیط سـیال

[1]Byractaro&pidogo