تاسیس 1307

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

رساله برای دریافت درجه دکتری

در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

تحلیل انتقال حرارت در میکروکانال با بکارگیری نانو سیال در رژیم جریان لغزشی

استاد راهنما

دکتر سیدمجتبی موسوی نایینیان

دکتر مهرزاد شمس

استاد مشاور

دکترگودرز احمدی

نگارش

حسین افشار

شهریور 1390

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به خانواده خوبم

پدر و مادر فداکار و مهربانم

و

همسر عزیزم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

تائیدیه هیأت داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت درجلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان **تحلیل انتقال حرارت در میکروکانال با بکارگیری نانو سیال در رژیم جریان لغزشی** توسط آقای **حسین افشار** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه دکتری در رشته **مهندسی مکانیک** گرایش **تبدیل انرژی** با رتبه خوب مورد تائید قرار می‌دهند.

۱- استاد راهنما	آقای دکتر سیدمجتبی موسوی نایینیان
۲- استاد راهنما	آقای دکتر مهرزاد شمس
۳- استاد مشاور	آقای دکتر گودرز احمدی
۳-ممتحن خارجی	آقای دکتر مجید صفار اول
۴-ممتحن خارجی	آقای دکتر محمود اشرفی زاده
۵-ممتحن داخلی	آقای دکتر مجید قاسمی
۶-ممتحن داخلی	آقای دکتر علی اشرفی زاده
۷-نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	آقای دکتر مجید عمیدپور

اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامـه : **تحلیل انتقال حرارت در میکروکانال با بکارگیری نانو سیال در رژیم جریان لغزشی**

استاد راهنما: دکتر سیدمجتبی موسوی نایینیان
نام دانشجو: حسین افشار
شماره دانشجوئی: 8411436

اینجانب حسین افشار دانشجوی دوره دکتری مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی دانشـکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شـده است. بعلاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هـیچ نـوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده اسـت و در تـدوین مـتن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

حق طبع ونشر و مالکیت نتایج

1- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

ضمنا متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

2- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

با سپاس فراوان

از راهنمایی ها، حمایت ها و کمک های ارزنده و گرانقدر اساتید راهنما جناب آقای دکتر سید مجتبی موسوی نایینیان و دکتر مهرزاد شمس

و مشاوره ها و راهنمایی های بسیار ارزنده استاد مشاور جناب آقای دکتر گودرز احمدی

چکیده:

در این تحقیق به بررسی انتقال حرارت میکروکانال در رژیم جریان لغزشی و انتقال حرارت نانوسیال در میکروکانال پرداخته شده است.

معادلات حرکت سیال بعنوان فاز پیوسته و ذرات بعنوان فاز گسسته به روش اویلری-لاگرانژی بررسی می‌گردند. معادلات فاز پیوسته با استفاده از یک کد عددی به روش SIMPLE حل شده و میدان‌های سرعت، فشار و دما بدست می‌آیند. سپس ذرات در کانال ترزیق شده و در حین عبور از کانال با سیال مبادله انرژی انجام می‌دهند. این تبادل انرژی منجر به تغییر میدان دمای سیال شده و در نتیجه نرخ انتقال حرارت کانال نیز تغییر خواهد کرد. در رژیم جریان لغزشی، تبادل اندازه حرکت و انرژی بین مولکول‌های سیال و دیواره بصورت ناقص بوده و در نتیجه سرعت و دمای سیال مجاور دیوار متفاوت از سرعت و دمای دیوار است. این امر باعث می‌شود که برای یک افت فشار ثابت، دبی جرمی جریان عبوری از میکروکانال در رژیم جریان لغزشی بیش از دبی جرمی جریان غیر لغزشی باشد. انتقال حرارت میکروکانال در جریان لغزشی بدلیل وجود پرش دمایی بین سیال مجاور دیوار و دیوار، در مقایسه با جریان غیرلغزشی کاهش می‌یابد.

پخش ذرات در کانال و انتقال حرارت میکروکانال در چند حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در مورد افزایش انتقال حرارت نانوسیالات برای همه درصدهای حجمی نانوذرات، بین محققین اختلاف نظر وجود دارد. در این رساله نشان داده شده است که این دیدگاه بصورت کلی در هر شرایطی برای نانوسیال صحیح نمی‌باشد. با توجه به هندسه جریان، سرعت جریان، نوع سیال پایه، جنس و درصد حجمی نانوذرات ممکن است افزایش یا کاهش ضرایب انتقال حرارت نانوسیال نسبت به سیال پایه وجود داشته باشد. وجود نانوذرات جامد در جریان گاز، افزایش انتقال حرارت در میکروکانال را بهمراه دارد. با استفاده از نانوذرات با درصد حجمی بسیار کم در جریان لغزشی، انتقال حرارت به مقداری بیش از جریان غیر لغزشی افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه افت فشار جریان لغزشی بسیار کمتر از جریان غیر لغزشی است لذا کاهش انتقال حرارت ناشی از اثرات رقیق‌شدگی را می‌توان با استفاده از نانوذرات جبران نمود.

واژه‌های کلیدی : میکروکانال، نانوسیال، رژیم جریان لغزشی، درخت جستجوی دودویی، جریان دوفاز

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	1
فصل اول - میکروکانالها و کاربردها	3
فصل دوم - نانوسیالات	16
2-1 نانوسیالات	17
2-2 پارامترهای موثر بر انتقال حرارت نانوسیالات	17
2-2-1 توده‌ای شدن نانوذرات	18
2-2-2 درصد حجمی	20
2-2-3 حرکت براونی	21
2-2-4 اندازه ذرات	21
2-2-5 شکل ذرات	21
2-2-6 تشکیل لایه سیال در فصل مشترک نانوذره و سیال	21
2-2-7 دما	21
2-3 خواص ترموفیزیکی نانوسیالات	22
2-3-1 ضریب هدایت حرارتی	22
2-3-2 چگالی	24
2-3-3 ظرفیت گرمایی ویژه	24
2-4 انتقال حرارت هدایت	26
2-5 انتقال حرارت جابجایی	31
فصل سوم - رژیم جریان لغزشی	35
3-1 شرط لغزش	36
3-2 پروفیل سرعت میکروکانال بر حسب ضریب همسان سازی ممنتوم مماسی	48

3-3 ضرایب همسان سازی ممنتوم مماسی و انرژی 49
3-3-1 ضریب همسان سازی ممنتوم مماسی (TMAC) 49
3-3-2 ضریب همسان سازی انرژی (EAC) 50
3-3-3 تعیین ضرایب همسان سازی 51
3-3-4 تعیین لغزش روی دیواره بر اساس تئوری جنبشی گازها 52
فصل چهارم- معادلات و روش حل عددی 58
4-1 مقدمه 59
4-2 معادلات حاکم بر فاز پیوسته 60
4-3 معادلات حاکم بر فاز گسسته 61
4-3-1 نیروی براونی 64
4-3-2 نیروی برای سافمن 65
4-4 حل عددی فاز پیوسته و نحوه محاسبه برهمکنش حرارتی دوفاز 66
4-5 الگوریتم جستجو 69
4-5-1 درخت دودویی 70
4-5-2 درخت جستجو دودویی 70
4-5-3 نحوه جستجو در درخت جستجوی دودویی 71
4-5-4 نحوه ایجاد یک درخت جستجوی دودویی 73
4-5-4-1 درج گره 73
4-5-4-2 حذف گره 75
4-6 نحوه بکارگیری درخت جستجو در تعیین پارامترهای نانوسیال 79
فصل پنجم- بررسی نتایج 82
5-1 درستی آزمایی برنامه کامپیوتری 83
5-2 بررسی انتقال حرارت ذرات و تاثیر ضرایب همسان‌سازی ممنتوم بر پخش ذرات در میکروکانال با دمای دیوار ثابت 91

5-3 بررسی حرکت نانو ذرات در جریان لغزشی داخل میکروکانال با شار حرارتی ثابت 97
5-4 بررسی انتقال حرارت نانوسیال آب- مس در میکروکانال 108
5-5 بررسی اثر نانوذرات اکسید آلومینیوم بر انتقال حرارت هوا در میکروکانال 117
5-6 بررسی پخش نانوذرات در یک میکروکانال خمیده 124
5-7 بررسی اثر نانوذرات اکسید آلومینیوم بر انتقال حرارت هوا در رژیم جریان لغزشی 128
فصل ششم- نتیجه گیری و پیشنهادات 135
6-1 نتیجه گیری 136
6-2 پیشنهادات 140
مراجع 141

فهرست شکل‌ها

شماره شکل	عنوان	صفحه
1-1	حرکت براونی ذره	10
2-1	تغییرات هدایت حرارتی نانوسیال آب- اکسید مس با زمان	18
2-2	تغییرات هدایت حرارتی نانوسیال آب- مس با زمان	19
2-3	توده‌ای شدن نانوذرات اکسید مس در آب پس از گذشت زمان	19
2-4	تغییرات هدایت حرارتی نانوسیال با دما	22
2-5	تغییرات ظرفیت گرمایی نانوسیال آب-مس بر حسب درصر حجمی نانوذرات	27
3-1	سرعت لغزشی در مرز جامد سیال	36
3-2	جریان لغزشی در یک میکروکانال	37
3-3	محدوده کاربرد سیستمهای میکرو الکترومکانیکی و نانوتکنولوژی در شرایط اتمسفری استاندارد	41
3-4	برخورد و بازگشت مولکول‌ها از دیواره جامد	50
3-5	سرعت لغزشی و محدوده غیر تعادلی نزدیک دیواره جامد	53
3-6	سطح کنترل برای محاسبه ممنتوم مماسی نزدیک دیواره	54
4-1	حرکت ذره در یک کانال	62
4-2	تغییرات ضریب تصحیح کانینگهام با عدد نادسن	62
4-3	تعیین سرعت سیال در محل ذره	64
4-4	حرکت ذره در جریان برشی	66
4-5	حرکت ذرات در بازه‌های زمانی مختلف بین حجمهای کنترل	67
4-6	فرزندان در درخت دودویی	70
4-7	درخت جستجوی دودویی	71
4-8	نحوه جستجو در درخت جستجوی دودویی	72
4-9	تشخیص عدم وجود یک عدد مشخص در درخت جستجو	72

4-10	نحوه اضافه کردن یک گره در درخت جستجوی دودویی	74
4-11	درخت جستجو با عمق n	75
4-12	حذف یک گره فاقد فرزند	76
4-13	حذف یک گره دارای یک فرزند	77
4-14	حذف یک گره دارای دو فرزند	77
4-15	نقاط شبکه محاسباتی در مجاورت ذره	80
5-1	جذر متوسط جابجایی ذرات در کانال	84
5-2	پروفیل سرعت لغزشی در ناحیه کاملا توسعه یافته	86
5-3	پروفیل سرعت لغزشی در راستای طولی در ناحیه ورودی کانال	87
5-4	پروفیل سرعت لغزشی در راستای عرضی در ناحیه ورودی کانال	87
5-5	پروفیل سرعت لغزشی توسعه یافته با اعداد نادسن مختلف	88
5-6	سرعت مرکز کانال برای عدد نادسن 0/025	90
5-7	مقایسه پروفیل دمای لغزشی در نادسن 0/05 با نتایج رنکسیزبولوت و همکاران	91
5-8	پخش ذرات با قطر مختلف در کانال (TMAC=1)	92
5-9	پخش ذرات 50 و 500 نانومتری با موقعیت‌های مختلف رها سازی در کانال (TMAC=1)	93
5-10	پخش ذرات 50 و 500 نانومتری (TMAC=0.2)	94
5-11	تغییرات نیروی برای سافمن برای ذرات 500 نانومتری	95
5-12	تغییرات دمای ذرات 50 و 100 نانومتری در کانال	96
5-13	تغییرات دمای ذرات 200 و 500 نانومتری در کانال	96
5-14	میکروکانال دو بعدی به ارتفاع 2H	98
5-15	تغییرات عدد ناسلت با ضرایب همسان سازی ممنتوم مماسی و انرژی به ازای اعداد نادسن مختلف	100
5-16	تغییرات دما داخل میکروکانال (kn=0.01)	101
5-17	توزیع دما در میکروکانال بر حسب عدد نادسن ($\sigma_v = 1, \sigma_T = 1$)	102
5-18	مسیر حرکت ذرات 50 نانومتری در اختلاف فشار 1 بار	102

5-19	مسیر حرکت ذرات 50 نانومتری در اختلاف فشار50 کیلوپاسکال	103
5-20	مسیر حرکت ذرات 50 نانومتری در اختلاف فشار40 کیلوپاسکال	103
5-21	مسیر حرکت ذرات 50 نانومتری در اختلاف فشار30 کیلوپاسکال	103
5-22	مسیر حرکت ذرات 50 نانومتری در اختلاف فشار20 کیلوپاسکال	104
5-23	مسیر حرکت ذرات 50 نانومتری در اختلاف فشار10 کیلوپاسکال	104
5-24	پخش ذرات 50 میکرونی از نقاط مختلف در میکروکانال	105
5-25	پخش ذرات 50 میکرونی از مرکز میکروکانال	105
5-26	ضریب جذب میکروکانال بر حسب اختلاف فشار	106
5-27	ضریب جذب میکروکانال بر حسب قطر ذرات	106
5-28	مسیر حرکت یک ذره 50 نانومتری در اختلاف فشار 1 بار	107
5-29	نیروی برای سافمن وارد بر ذره 50 نانومتری در اختلاف فشار 1 بار	107
5-30	نیروی براونی وارد بر ذره 50 نانومتری در اختلاف فشار 1 بار	108
5-31	توزیع سرعت و دمای میکروکانال برای عدد رینولدز 100	110
5-32	توزیع سرعت و دمای میکروکانال برای عدد رینولدز 10	111
5-33	آشکار سازی پروفیل سرعت بواسطه حرکت نانوذرات در کانال	113
5-34	ترازهای دما (کلوین) برای نانوسیال آب- مس با 2% حجمی نانوذرات	114
5-35	تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال پایه و نانوسیال با 0/5 درصد حجمی نانوذرات (Re=100)	115
5-36	تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال پایه و نانوسیال با یک درصد حجمی نانوذرات (Re=100)	115
5-37	تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال پایه و نانوسیال با دو درصد حجمی نانوذرات (Re=100)	116
5-38	تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال پایه و نانوسیال با نیم و یک درصد حجمی نانوذرات (Re=200)	117
5-39	جریان هوا در میکروکانال با دمای ثابت	118

5-40	پخش ذرات 100 نانومتری اکسید آلومینیوم در هوا	119
5-41	تغییرات ظرفیت گرمایی ویژه (kj/kg.K) مخلوط هوا- اکسید آلومینیوم بر حسب درصد حجمی ذرات	119
5-42	تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی در طول کانال برای سیال پایه و درصد حجمی نانوذرات تا 0/5 درصد	120
5-43	تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی در طول کانال تا 1 درصد حجمی نانوذرات	121
5-44	تغییرات ضریب هدایت حرارتی هوا-اکسید آلومینیوم برحسب $^{w}/_{m.K}$ با درصد حجمی نانوذرات	124
5-45	شبکه غیر سازمان یافته در میکروکانال خمیده (ابعاد بر حسب متر)	125
5-46	توزیع دما بر حسب کلوین در میکروکانال خمیده (ابعاد بر حسب متر)	125
5-47	توزیع سرعت (m/s) در میکروکانال خمیده (ابعاد بر حسب متر)	126
5-48	پخش ذرات 1 نانومتری در میکروکانال خمیده	126
5-49	پخش ذرات 100 نانومتری در میکروکانال خمیده	127
5-50	افت فشار در میکروکانال با سرعت‌های مختلف با فرض لغزش و عدم لغزش	128
5-51	توزیع دمای لغزشی و غیرلغزشی در میکروکانال	129
5-52	تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال در طول کانال با شرط لغزش و عدم لغزش	130
5-53	تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال و نانوسیال در طول کانال برای عدد رینولدز 1	131
5-54	تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال و نانوسیال در طول کانال برای عدد رینولدز 10	132
5-55	تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی هوا و نانوسیال در طول کانال	133

فهرست جدول‌ها

شماره جدول	عنوان	صفحه
2-1	چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه آب و مس	26
2-2	شرایط مطالعات آزمایشگاهی و نتایج بدست آمده برای تعیین هدایت حرارتی موثر نانوسیالات	29
2-3	شرایط مطالعات آزمایشگاهی و نتایج بدست آمده برای تعیین ضریب جابجایی حرارتی نانوسیالات	32
3-1	رژیمهای مختلف جریان برحسب عدد نادسن	40
3-2	قطر برخورد مولکولها برای گازهای مختلف	41
4-1	تغییرات ضریب تصحیح کانینگهام با قطر ذره	63
4-2	نسبت تعداد جستجو به تعداد گره‌های درخت جستجوی دودویی	78
5-1	مقایسه طول ورودی بدست آمده توسط برنامه کامپیوتری حاضر با سایر نتایج عددی و تحلیلی	83
5-2	مقایسه سرعت لغزشی بدست آمده توسط برنامه کامپیوتری حاضر با حل تحلیلی	85
5-3	مقایسه مختصات همگرایی سرعت لغزشی بدست آمده توسط برنامه کامپیوتری حاضر با حل تحلیلی	89
5-4	مقایسه طول ورودی جریان رقیق (نادسن 0/025) با نتایج باربر و امرسون	89
5-5	اثر مکانیزمهای جابجایی و تشعشعی بر انتقال حرارت ذرات	97
5-6	خواص ترموفیزیکی آب و مس	109
5-7	تغییر انتقال حرارت نانوسیال آب – مس برای درصد حجمی مختلف نانوذرات	112
5-8	تغییر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال آب - مس برای درصد حجمی مختلف نانوذرات	113
5-9	خواص ترمودینامیکی هوا و نانوذرات اکسید آلومینیوم	118
5-10	تغییر ضرایب انتقال حرارت هوا-اکسید آلومینیوم برای درصدحجمی مختلف نانوذرات	123

علائم و اختصارات

جرم	m	قطر	d
حجم	V	زمان آسایش	τ
چگالی	ρ	دما	T
ویسکوزیته	μ	ضریب پخش حرارتی سیال	D
ظرفیت گرمایی ویژه	C_p	ضریب پخش براونی	D_B
انتقال حرارت	Q	شار حرارتی	q
اختلاف دما	ΔT	سرعت در راستای محور x	u
ضریب هدایت حرارتی	k	سرعت در راستای محور y	v
ثابت بولتزمن	k_B	فشار	p
قطر برخورد مولکولها	σ_c	ضریب انتقال حرارت جابجایی	h
ضریب همسان سازی ممنتوم مماسی	σ_v	عدد پرانتل	Pr
ضریب همسان سازی انرژی	σ_T	قطر هیدرولیکی	D_h
جذر متوسط جابجایی ذرات	σ_D	درصد حجمی نانوذرات	φ
عدد نادسن	kn		
طول مشخصه	L		
فاصله پویش آزاد مولکولی	l		
بازه زمانی	dt	اندیس سیال پایه	bf
زمان	t	اندیس نانوذرات	p
طول لغزشی	β	اندیس سیال	f
ثابت گاز	$\Re$	اندیس لغزش	s
نسبت گرمای ویژه	γ		
ضریب تصحیح کانینگهام	C_c		
عدد رینولدز	Re		

مقدمه

در سالهای اخیر بکارگیری دستگاهها در ابعاد کوچک بسیار مورد توجه صنایع مختلف قرار گرفته است. سیستمهای الکتریکی- مکانیکی که طول مقیاس در آنها در ابعاد میکرومتر باشد[1]، نسل جدیدی از دستگاه‌ها را تشکیل می‌دهند. با کوچک شدن ابعاد در مقیاس میکرو و نانو، خواص مواد و معادلات مربوط به جریان سیال متفاوت از حالت ماکروسکوپیک بوده و بایستی اصلاحات لازم متناسب با فیزیک مساله در معادلات مربوطه صورت گیرد. از این‌رو پژوهشگران تلاش در شناخت فیزیک مساله در ابعاد نانو را دارند. در جریان داخل میکروکانال‌ها، چنانچه طول مشخصه جریان قابل مقایسه با پویش متوسط آزاد مولکولی باشد، فرض عدم لغزش روی دیواره صحیح نبوده و بایستی ملاحظات لازم در این زمینه مدنظر قرار گیرد.

نانوسیالات، سیالاتی هستند که دارای ذرات جامد معلق در حد نانو می باشند. استفاده از نانوذرات در سیال (نانوسیال) در صنایع انتقال حرارت بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در حقیقت با افزودن نانوذرات به سیالات مرسوم انتقال حرارت، می‌توان خواص آنها را تغییر داد و به شرایط بهتر با کارآیی‌های مورد نظر رسید. خواص متفاوت نانوسیالات، قابلیت‌های گسترده‌ای در علوم مهندسی برای این سیالات فراهم آورده و مطالعات گوناگونی با اهداف و کاربردهای متفاوت بر روی ساخت، بررسی خواص ترموفیزیکی و کاربردی کردن این سیالات جدید در صنعت صورت گرفته است.

در این پایان نامه در شش فصل به بررسی جریان و انتقال حرارت سیال و نانوسیال در جریان لغزشی و غیرلغزشی داخل میکروکانال پرداخته شده است. فصل اول به معرفی میکروکانال‌ها و کاربردهای آنها در صنعت اختصاص دارد. میکروکانالها امروزه یکی از اجزای اصلی سیستمهای ریزمقیاس هستند که در صنایع انتقال حرارت کاربرد بسیاری دارند. همچنین حرکت ذرات در کانال نیز در صنایع مختلف دارای اهمیت می‌باشد که در این فصل بررسی می‌گردند. در فصل دوم نانوسیالات و خواص ترموفیزیکی آنها بررسی می‌گردد. مکانیزمهای مختلفی برای توجیه و تفسیر تغییرات خواص حرارتی نانوسیال وجود دارد که هرکدام در شرایطی قادر به تفسیر نتایج آزمایشگاهی می‌باشند. هدف اصلی در این فصل بررسی

[1] Micro Electro- Mechanical Systems

گزارشهای محققین مبنی بر امکان افزایش انتقال حرارت توسط نانوسیالات و روشهای بکار گرفته شده است. در فصل سوم رژیم‌های مختلف جریان داخل کانال معرفی شده و رژیم جریان لغزشی در میکروکانال بررسی می‌شود. ضمن بررسی تحقیقات انجام گرفته برای جریان لغزشی داخل میکروکانال، معادلات حاکم و نحوه مدلسازی عددی لغزش روی دیواره مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس تئوری جنبشی گازها و با استفاده از تعریف ضرایب همسان‌سازی ممنتوم مماسی و انرژی، رابطه‌ای برای تعیین سرعت و دمای لغزشی روی دیواره ارایه می‌گردد. در فصل چهارم روش عددی به‌کار گرفته شده برای مدلسازی انتقال حرارت نانوسیال در میکروکانال ارایه گردیده است. معادلات حاکم بر فازهای پیوسته و گسسته معرفی شده و نحوه برهم‌کنش حرارتی بین دو فاز تشریح می‌گردد. حل جریان دو فازی بر اساس رویکرد اویلری-لاگرانژی انجام شده و برای تعیین شرایط فاز پیوسته در مختصات ذرات، از درخت جستجوی دودویی بعنوان یک الگوریتم جستجو استفاده شده است. نحوه عملکرد و پیاده‌سازی این الگوریتم در فصل چهارم تشریح می‌گردد. درستی آزمایی برنامه کامپیوتری در فصل پنجم ارایه می‌گردد. در این فصل پخش نانوذرات در کانال خمیده و ساده در شرایط مختلف بررسی شده است. با تغییر نوع سیال و نانوذرات، جریان سیال و انتقال حرارت میکروکانال و نانوسیال در رژیم جریان لغزشی و غیر لغزشی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل شده از فصل‌های مختلف در فصل ششم به اختصار بیان شده و پیشنهادهایی برای ادامه کار ارایه گردیده است.

روش به‌کارگرفته شده برای مدلسازی انتقال حرارت نانوسیال، بصورت دو فازی و بر اساس دیدگاه اویلری برای فاز پیوسته و دیدگاه لاگرانژی برای فاز ذرات می‌باشد. از آنجاییکه تحقیقات انجام گرفته توسط سایر محققین برای پیش‌بینی انتقال حرارت نانوسیالات تا کنون بر اساس استفاده از همبستگی‌های[1] تجربی بوده است؛ لذا استفاده از روش مذکور از نوآوری‌های این تحقیق می‌باشد.

[1] Correlation