دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مکانیک - حرارت و سیالات

پایان‌نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

عنوان:

مطالعه عددی جابجایی ترکیبی نانوسیال بین دو استوانه افقی غیر هم محور با استوانه داخلی چرخان

استاد راهنما:

دکتر قنبرعلی شیخ‌زاده

استاد مشاور:

دکتر سعید خردمند

به وسیله:

حمید تیموری

شهریور ماه 1390

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم

تقدیم به تمامی انسان‌های آزاده و آزاد اندیش که با اراده، تلاش و نوآوری

به ایجاد زندگی بهتر برای تمامی افراد جامعه کمک می‌کنند.

تشکر و قدردانی

ابتدا شکر و سپاس خود را تقدیم خداوند بزرگ مرتبه، بخشنده، هدایتگر و یاری رساننده می‌نمایم. در تمامی مراحل زندگی همواره وجود خدا و کمک‌های او یاری رسانم بودند. پروردگارا از تمامی نعمت‌ها و موقعیتی که برایم در ادامه تحصیل و انجام این پروژه فراهم آوردی متشکرم. از این‌که در سخت‌ترین لحظات زندگی یاری‌رسانم بودی سپاسگزارم. در لحظات ناامیدی تنها وجود تو امید من برای ادامه زندگی بود. تنها کاری که برای شکرگذاری می‌توانم انجام دهم این است که به بهترین نحو از نعمت‌هایت در راستای رسیدن به هدف متعالی آفرینش و کمک به بندگانت تلاش نمایم.

بر خود لازم می‌دانم نهایت تشکر و قدردانی را از استاد راهنمای خود جناب آقای دکتر قنبرعلی شیخ‌زاده ابراز کنم. بدون زحمات و راهنمایی‌های ایشان امکان انجام این پروژه وجود نداشت. در لحظات ناامیدی و بن بست راهنمایی‌های ایشان راهگشای ادامه کار بود و یک دیدار کوتاه با ایشان و رهنمودهایشان امید و توان مرا برای انجام کار چند برابر می‌نمود.

همچنین از زحمات جناب آقای دکتر سعید خردمند که زحمت استاد مشاور را بر عهده داشتند، تشکر می‌نمایم راهنمایی‌های ایشان نه تنها در انجام این کار مفید بود بلکه مسیر زندگی مرا نیز مشخص نمود.

همچنین لازم می‌دانم از آقایان دکتر حسین خراسانی‌زاده و دکتر علی‌اکبر عباسیان که زحمت داوری این کار را بر عهده داشتند و آقای دکتر سید حسین رسا که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نمودند؛ نهایت تشکر و قدردانی خود را ابراز نمایم. به علاوه از تمامی اساتید گرانقدر گروه مکانیک سیالات دانشگاه کاشان که دروسی که با ایشان گذراندم پیشنیاز و مقدمه‌ای برای انجام این کار بود، نهایت تشکر خود را اعلام می‌نمایم. در پایان از معاونت پژوهشی و پژوهشکده انرژی دانشگاه کاشان به‌خاطر حمایت‌های مادی و معنوی از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

چکیده

در کار حاضر، انتقال حرارت جابجایی ترکیبی آرام و پایدار نانوسیال در فضای حلقوی بین دو استوانه افقی غیر هم محور، با استوانه داخلی چرخان، به صورت عددی بررسی شده است. دیواره دو استوانه در دمای ثابت و دمای استوانه داخلی بیشتر از استوانه خارجی است. فضای بین دو استوانه با یکی از نانوسیالات آب-آلومینا و یا آب-مس پر شده است. معادلات حاکم در دستگاه مختصات قطبی، با استفاده از روش حجم محدود و الگوریتم سیمپلر حل شده‌اند. بدین منظور برنامه کامپیوتری موجود به زبان فرترن اصلاح و برای سه حالت مختلف شبکه شبه متعامد، شبکه غیرمتعامد بدون در نظر گرفتن اثرات عدم تعامد و با در نظر گرفتن این اثرات گسترش داده شده است. مقایسه نتایج این سه برنامه، به دلیل ناچیز بودن عدم تعامد شبکه، اختلافی کمتر از 3% را نشان داد. بنابراین به دلیل سرعت اجرای بیشتر از برنامه توسعه‌یافته برای شبکه غیرمتعامد بدون در نظر گرفتن عدم تعامد، استفاده شده است. نتایج عددی برای عدد رینولدز در بازه 1 و 300، عدد رایلی بین 10^2 و 10^5 و کسر حجمی نانوذرات از 0 تا 0/06 ارائه شده است. اثر پارامترهای مختلف مانند عدد رینولدز، رایلی، نسبت قطر استوانه ها، خروج از محور استوانه داخلی، کسر حجمی نانوذرات، دمای میانگین دیواره‌ها، ابعاد و جنس نانوذرات بر میدان جریان و انتقال حرارت بررسی شده است. همچنین تأثیر استفاده از روابط مختلف برای تخمین ویسکوزیته و ضریب هدایت حرارتی موثر نانوسیال بر نتایج بررسی شده است. بر اساس نتایج، عدد ناسلت متوسط با افزایش عدد رینولدز کاهش یافته و با افزایش عدد رایلی، افزایش نسبت قطر استوانه‌ها و جابجا شدن استوانه داخلی به سمت پایین افزایش می‌یابد. عدد ناسلت متوسط در کسر حجمی بهینه‌ای از نانوذرات به حداکثر مقدار خود می‌رسد. میزان افزایش عدد ناسلت متوسط، با افزایش دمای میانگین دیواره‌ها و ضریب هدایت حرارتی نانوذرات افزایش می‌یابد. در شرایطی که هدایت حرارتی حاکم بر انتقال حرارت می‌باشد (عدد ناسلت متوسط نزدیک 1 برای حالت هم محور)، با افزایش کسر حجمی نانوذرات و افزایش خروج از محور در هر جهتی، عدد ناسلت متوسط همواره افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: حلقه غیر هم‌محور، جابجایی ترکیبی، نانوسیال، حجم محدود، استوانه چرخان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... د

فهرست شکل‌ها ..... ه

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ط

فصل 1- مقدمه 2

1-1- پیشگفتار 2

1-2- مروری بر کارهای گذشته 4

1-3- موضوع و هدف این تحقیق 10

1-4- روش انجام این تحقیق 11

فصل 2- بررسی نانو سیال و خواص آن 14

2-1- مقدمه 14

2-2- تاثیر نانو سیالات بر انتقال حرارت 15

2-3- خواص ترموفیزیکی نانوسیال 16

2-3-1- چگالی 16

2-3-2- ظرفیت حرارتی 17

2-3-3- ضریب انبساط حرارتی 18

2-3-4- ویسکوزیته 19

2-3-4-1- روابط تئوری ویسکوزیته مخلوطهای دوفازی دارای ذرات با ابعاد میکرومتر 20

2-3-4-2- مطالعات تجربی 21

2-3-4-3- اثر دما بر ویسکوزیته نانوسیالات 22

2-3-5- ضریب هدایت حرارتی 25

2-3-5-1- روابط تئوری 28

2-3-6- مطالعات تجربی 29

2-4- روابط مورد استفاده برای تقریب خواص ترموفیزیکی نانوسیال در این تحقیق 34

فصل 3- معادلات حاکم 39
3-1- معادلات حاکم و شرایط مرزی 39
3-1-1- معادلات حاکم و شرایط مرزی بی بعد 42
3-2- خواص ترموفیزیکی نانوسیال 43
3-3- عدد ناسلت و تابع جریان 45
فصل 4- حل عددی معادلات حاکم 49
4-1- مقدمه 49
4-2- تولید شبکه 49
4-3- فرم کلی معادلات بقا 58
4-4- گسسته سازی معادلات حاکم 60
4-4-1- گسسته سازی معادله انرژی 60
4-4-2- گسسته سازی معادلات ممنتوم 64
4-5- یافتن میدان جریان با استفاده از الگوریتم سیمپلر 75
4-5-1- اعمال ضرایب زیر تخفیف 79
4-6- اعمال شرایط مرزی 80
4-7- حل دستگاه معادلات جبری 81
4-8- برنامه کامپیوتری توسعه یافته 82
فصل 5- بررسی نتایج 85
5-1- مقدمه 85
5-2- انتخاب شبکه مناسب 85
5-3- اعتبار سنجی عملکرد برنامه کامپیوتری 87
5-4- خواص ترموفیزیکی نانوذرات و سیال پایه 37
5-5- نتایج 92
5-5-1- بررسی اثر عدد رینولدز بر میدان جریان و انتقال حرارت بین دو استوانه هم محور 93
5-5-2- بررسی اثر عدد رایلی بر میدان جریان و انتقال حرارت بین دو استوانه هم محور 98
5-5-3- اثر نسبت قطراستوانه خارجی به داخلی بر الگوی جریان و انتقال حرارت بین دو استوانه هم محور 101

5-5-4- تاثیر غیر محور بودن دو استوانه بر الگوی جریان و انتقال حرارت 103
5-5-5- تاثیر دمای میانگین دیوارههای سرد و گرم بر الگوی جریان و انتقال حرارت..... 111
5-5-6- تاثیرقطر متوسط نانوذرات بر عدد ناسلت متوسط..... 113
5-5-7- عدم اطمینان ناشی از استفاده از روابط مختلف برای تقریب هدایت حرارتی و ویسکوزیته معادل نانوسیالات..... 114
5-5-8- مقایسه تاثیر نانوسیالات آب-آلومینا و آب-مس بر عدد ناسلت متوسط 116
فصل 6- جمعبندی و پیشنهادات..... 119
6-1- جمع بندی..... 119
6-2- پیشنهادات 121
منابع و ماخذ 123

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول 2-1: خواص ترموفیزیکی سیال پایه و نانوذرات 37
جدول 4-1 مقادیر ϕ و Γ برای فرم کلی معادله بقا 58
جدول4-2: مقایسه نتایج سه برنامه توسعه یافته با شبکه‌های مختلف با نتایج عددی لی [36] 82
جدول 5-1: ناسلت متوسط برای شبکه‌های مختلف 86
جدول 5-2: حداکثر و حداقل تابع جریان در کسر حجمی 0 و 0/06 و اعداد رینولدز مختلف 95
جدول 5-3: درصد افزایش عدد ناسلت نسبت به حالت هم محور در رینولدز 100 و رایلی 10^4 برای سیال پایه و نانوسیال با کسر حجمی 0/06 درخروج از محورهای عمودی و افقی 109
جدول 5-4: کسر حجمی بهینه نانوسیال در دماهای میانگین مختلف و درصد افزایش عدد ناسلت متوسط در کسر حجمی بهینه در رایلی 10^4 و رینولدز 25 برای دو استوانه هم محور 113
جدول 5-5: کسر حجمی بهینه نانوسیال آب- مس در دمای میانگین 323 K و درصد افزایش عدد ناسلت متوسط در کسر حجمی بهینه در رایلی 10^4 و رینولدز 25 برای دو استوانه هم محور 117

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 1-1: هندسه مسئله 11

شکل 2-1: مقیاس طول و برخی مثال‌های مربوطه[51] 15

شکل 2-2: مقایسه بین ظرفیت حرارتی ویژه نانوسیال آب-آلومینا با استفاده روابط I و II که در رابطه‌های (2-3) و (2-4) آورده شده‌اند و نتایج تجربی زو و نی [67] برگرفته از [64] 18

شکل 2-3: توزیع μ_{eff}/μ_f و $\mu_{eff(B)}/\mu_f$ بر حسب φ برای نانوسیالات با پایه آب و قطرهای مختلف نانوسیال [48] 24

شکل 2-4: توزیع k_{eff}/k_f بر حسب φ_p برای مقادیر مختلف T و d_p و مقایسه نتایج با رابطه ماکسول[48] 34

شکل 2-5: تغییرات μ_{eff}/μ_f بر حسب φ_pبرای مقادیر مختلف d_p در دمای محیط با استفاده از روابط مختلف 35

شکل 2-6: تغییرات μ_{eff}/μ_f بر حسب φ_p برای مقادیر مختلف d_p در دمای محیط با استفاده از روابط کورسیونه [48] ، مایگا [82] و نگوین [85] 36

شکل 2-7: تغییرات k_{eff}/k_f بر حسب φ_p برای مقادیر مختلف d_p در دمای محیط با استفاده از روابط خانافر و وفایی [64] و کورسیونه [48] 37

شکل 3-1: هندسه و میدان حل مسئله 40

شکل 4-1: شبکه متعامد در مختصات قطبی برای دو استوانه هم محور 50

شکل 4-2: شبکه غیر متعامد (الف) و متعامد (ب) برای دو استوانه غیر هم محور 50

شکل 4-3: دایره با مبدا c و شعاع r_o 51

شکل 4-4: ایجاد شبکه در راستای شعاعی با ضریب انبساط e_r 52

شکل 4-5: مکان خطوط 1 و 2 در دو دایره غیر هم مرکز با فاصله مراکز برابر با e 53

شکل 4-6: دایره گذرنده از نقاط 1L و 1S به مرکز c1 و به فاصله e1 از مبدا مختصات 53

شکل 4-7: روش مشخص کردن مکان گره ها برای شبکه متعامد 55

شکل 4-8: حجم کنترل نمونه برای شبکه متعامد 55

شکل 4-9: روش مشخص کردن مکان مرزها در راستای مماسی برای شبکه متعامد 56
شکل 4-10: تعیین مختصات گره‌های شبکه در راستای مماسی 56
شکل 4-11: حجم کنترل نمونه و ابعاد آن 61
شکل 4-12: حجم کنترل اصلی و جابجا شده در شبکه شبه متعامد 67
شکل 5-1: تغییرات سرعت مماسی در زاویه 90 درجه برای شبکه های مختلف..... 86
شکل 5-2: مقایسه اعداد ناسلت محلی برای دو استوانه هم محور با نتایج تجربی کوئن و گلدشتاین[24] 87
شکل 5-3: مقایسه سرعت مماسی برای دو استوانه هم محور با نتایج عددی کوئن و گلدشتاین[24]..... 88
شکل 5-4: مقایسه اعداد ناسلت محلی برای دو استوانه غیر هم محور با (π، 0/623) =E با نتایج تجربی کوئن و گلدشتاین [26] 89
شکل 5-5: مقایسه پروفیل دما در راستای شعاعی برای دو استوانه غیر هم محور با (π ، 0/623) =E با نتایج تجربی کوئن و گلدشتاین [26]..... 89
شکل 5-6: مقایسه اعداد ناسلت محلی برای دو استوانه غیر هم محور با (0 ، 0/623) =E با نتایج تجربی کوئن و گلدشتاین [26] 90
شکل 5-7: مقایسه پروفیل دما در راستای شعاعی برای دو استوانه غیر هم محور با (0 ، 0/623) =E با نتایج تجربی کوئن و گلدشتاین [26]..... 90
شکل 5-8: مقایسه اعداد ناسلت محلی برای دو استوانه هم محور با استوانه داخلی چرخان، Re= 119 با نتایج عددی [38]..... 91
شکل 5-9: مقایسه ناسلت متوسط بر حسب رینولدز با نتایج عددی لی [36] 92
شکل 5-10: خطوط جریان و همدما در رایلی 10^4 و رینولدزهای مختلف بین دو استوانه هم محور. (خطوط _____ برای نانوسیال آب- آلومینا با کسر حجمی نانوذرات 0/06 و خطوط ------ برای آب خالص می‌باشد)..... 94
شکل 5-11: عدد ناسلت محلی بر روی استوانه داخلی در اعداد رینولدز مختلف..... 97
شکل 5-12: عدد ناسلت محلی بر روی استوانه خارجی در اعداد رینولدز مختلف..... 97
شکل 5-13: ناسلت متوسط بر حسب کسر حجمی نانوذرات در رایلی 10^4 در اعداد رینولدز مختلف 98

شکل 5-14: خطوط جریان و همدما در رینولدز 25 و اعداد رایلی مختلف بین دو استوانه هم محور. (خطوط _____ برای نانوسیال آب- آلومینا با کسر حجمی نانوذرات 0/06 و خطوط ------ برای آب خالص میباشد).....99
شکل 5-15: عدد ناسلت متوسط بر حسب کسر حجمی نانوذرات در رینولدز 25 و اعداد رایلی مختلف 100
شکل 5-16: خطوط جریان و همدما در رینولدز 25 و رایلی 10^4 بین دو استوانه هم محور با نسبت قطر استوانه خارجی به داخلی 1/25 و 5 (خطوط _____ برای نانوسیال آب- آلومینا با کسر حجمی نانوذرات 0/06 و خطوط ------ برای آب خالص می‌باشد) 102
شکل5-17: عدد ناسلت متوسط بر حسب کسر حجمی نانوذرات در رینولدز 25 ،رایلی 10^4 و نسبت قطرهای 1/25، 2/6 و 5.....103
شکل 5-18: خطوط جریان و همدما در رینولدز1 و رایلی 10^4 برای خروج از محورهای مختلف. (خطوط _____ برای نانوسیال آب- آلومینا با کسر حجمی نانوذرات 0/06 و خطوط ------ برای آب خالص می‌باشد) 104
شکل 5-19: خطوط جریان و همدما در رینولدز25 و رایلی 10^4 برای خروج از محورهای مختلف. (خطوط _____ برای نانوسیال آب- آلومینا با کسر حجمی نانوذرات 0/06 و خطوط ------ برای آب خالص می‌باشد).....105
شکل 5-20: عدد ناسلت متوسط بر حسب خروج از محورهای مختلف در راستای عمودی و افقی، در رایلی 104 و در رینولدزهای 1، 25 و 100 (الف) سیال پایه (ب) نانوسیال با کسر حجمی 0/06.....107
شکل5-21: عدد ناسلت متوسط بر حسب کسر حجمی نانوذرات در اعداد رینولدز 1، 25 و 100 و عدد رایلی 10^4 برای خروج از محورهای 0/3 و 0/6 در جهت‌های بالا، پایین، چپ و راست 110
شکل 5-22: خطوط جریان و همدما در رینولدز25 و رایلی 10^4 در دمای میانگین 293 و 333 کلوین (خطوط _____ برای نانوسیال آب- آلومینا با کسر حجمی نانوذرات 0/06 و خطوط ------ برای آب خالص می‌باشد).....112
شکل5-23: عدد ناسلت متوسط بر حسب کسر حجمی نانوذرات در رینولدز 25 و رایلی 10^4، قطر متوسط نانوذرات 28 نانومتر و دمای میانگین دیواره‌ها برابر با 293، 308، 323 و333.....112
شکل 5-24: عدد ناسلت متوسط بر حسب کسر حجمی نانوذرات با قطرهای مختلف در رایلی 10^4 و رینولدز 25 برای دو استوانه هم محور(الف) دمای میانگین 293 K (ب) دمای میانگین 323 K.....114

شکل5-25: عدد ناسلت متوسط بر حسب کسر حجمی نانوذرات در رایلی 10^4 و رینولدز 25 برای دو استوانه هم محور (تاثیر استفاده از روابط مختلف) (الف) دمای میانگین 293 K (ب) دمای میانگین 323 K 115
شکل5-26: مقایسه تاثیر نانوذرات آلومینا و مس با قطرهای متوسط 13، 28 و 36 نانومتر بر عدد ناسلت متوسط بر حسب کسر حجمی نانوذرات در رایلی 10^4 و رینولدز 25 برای دو استوانه هم محور(الف) دمای میانگین 293 K (ب) دمای میانگین 323 K 116

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
علائم اختصاری	
ظرفیت گرمایی ویژه، $\mathrm{kJ/(kg.K)}$	c_p
ضریب پخش اینشتین/ قدرت پخش	D
قطر، m	d
خروج از محور استوانه داخلی، m	e
بردار یکه در جهت شعاعی	e_r
بردار یکه در جهت مماسی	e_θ
خروج از محور بی بعد استوانه داخلی، $\frac{e}{l}$	E
قدرت جابجایی، $\mathrm{kg/(m^2.s)}$	F
شتاب جاذبه، $\mathrm{m/s^2}$	g
ضریب انتقال حرارت جابجایی، $\mathrm{W/(m^2.K)}$	h
ضریب هدایت حرارتی، $\mathrm{W/(m.K)}$	k
ثابت بولتزمن	k_b
ضخامت حلقه، $\mathrm{r_o - r_i}$	l
وزن مولکولی سیال پایه	M
بردار یکه عمود بر سطح	$\hat{\mathrm{n}}$
عدد آووگادرو	N
عدد ناسلت محلی	Nu
عدد ناسلت متوسط	$\overline{Nu}$
فشار، Pa	p
فشار بدون بعد، $\frac{\mathrm{p}}{\rho \mathrm{r_i}^2 \omega^2}$	P
عدد پرانتل، $\frac{\nu_\mathrm{f}}{\alpha_\mathrm{f}}$	Pr
مختصات شعاعی	r

مختصات شعاعی دیواره استوانه خارجی در زاویه θ	r'
مختصات شعاعی بی بعد، r/l	R
نسبت شعاع استوانه خارجی به شعاع استوانه داخلی	RR
نسبت تفاضل مختصات شعاعی و شعاع استوانه داخلی به ضخامت حلقه در زاویه θ، $\frac{r-r_i}{r'-r_i}$	R'
عدد رایلی، $\frac{g\beta_f(T_i-T_o)l^3}{\alpha_f\nu_f}$	Ra
عدد رینولدز، $\frac{r_i\omega l}{\nu_f}$	Re
جمله چشمه/ مرز حجم کنترل	s
جمله چشمه گسسته شده پس از انتگرال‌گیری بر روی حجم کنترل	S
دما، K	T
مولفه سرعت در جهت مماسی، m/s	u
مولفه سرعت بی‌بعد در جهت مماسی، $\frac{u}{r_i\omega}$	U
بردار سرعت	$\vec{u}$
مولفه سرعت در جهت شعاعی، m/s	v
مولفه سرعت بی‌بعد در جهت شعاعی، $\frac{v}{r_i\omega}$	V

حروف یونانی

ضریب زیر تخفیف/ ضریب پخش حرارتی، m^2/s	α
ضریب انبساط حرارتی، 1/K	β
فاصله یا زاویه بین دو گره مجاور شبکه	δ
فاصله بین دو نقطه یا دو وجه حجم کنترل	Δ
زاویه خروج از محور	ε
زاویه بردار نرمال سطح گذرنده از نقطه مورد نظر	η
زاویه نقطه در دستگاه مختصات قطبی	θ
دمای بی بعد، $\frac{T-T_o}{T_i-T_o}$	Θ
ویسکوزیته دینامیکی، Ns/m^2	μ

ویسکوزیته دینامیکی، m^2/s	ν
چگالی، kg/m^3	ρ
تنش برشی، N/m^2	τ
متغیر عمومی	ϕ
کسر حجمی نانوذرات (در مواردی که اشاره شده در صد حجمی)	φ_p
تابع جریان، m^2/s	ψ
تابع جریان بی‌بعد	Ψ
سرعت زاویه‌ای	ω
ضریب نفوذ	Γ

زیرنویس

وجه شرقی حجم کنترل	e
گره شرقی	E
موثر	eff
سیال پایه	f_0
داخلی	i
نشانگر مکان نقطه یا متغیرها	i,j
وجه شمالی حجم کنترل	n
گره شمالی	N
همسایه	nb
نانو سیال	nf
خارجی	o
ذره جامد	p
گره میانی	P
وجه جنوبی حجم کنترل	s
گره جنوبی	S
وجه غربی حجم کنترل	w

گره شرقی W

فصل اول

مقدمه

1 - 1 - پیشگفتار

انتقال حرارت جابجایی در سیستم‌های مهندسی دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. این نوع انتقال حرارت دارای نقشی اساسی در سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، خنک کاری موتورهای احتراق داخلی، خنک کاری تجهیزات الکترونیکی، مبدل‌های حرارتی و در بسیاری از موارد دیگر می‌باشد. در این میان، بررسی انتقال حرارت جابجایی بین دو استوانه برای شبیه‌سازی سیستم‌های مهندسی بسیار مهم می‌باشد. این کار دید بهتری از مساله‌های پیچیده تر انتقال حرارت نیز به دست می‌دهد. این هندسه دارای کاربردهایی در خنک کاری تجهیزات الکترونیکی، سیستم‌های دریافت انرژی خورشیدی، سیستم‌های خنک کننده راکتورهای هسته‌ای، عایق‌بندی کابین هواپیما و سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی می‌باشد.

مساله جریان جابجایی ترکیبی بین دو استوانه چرخان، به دلیل کاربردهای گسترده آن مورد توجه می‌باشد. نمونه‌هایی از این کاربردها شامل یافتن روشهایی برای بهبود دادن شکل‌گیری کریستال‌ها در کاربردهای صنعتی[1 و 2]، فرآوری مواد غذایی[3 و 4]، یاتاقان‌های ژورنال، انتقال حرارت از میله‌های سوختی در راکتورهای هسته‌ای و مبدل‌های حرارتی دو لوله‌ای می‌باشد. اغلب اوقات خروج از مرکز ناشی از سرعت زاویه‌ای زیاد پره یا شافت در ماشین‌های چرخان، تولرانسهای ساخت و یا تغییر شکل در اثر حرارت در وسایلی که اسماً هم مرکز می‌باشند، است. در این حالت تاثیرات خروج از مرکز بر روی انتقال حرارت اجتناب ناپذیر می‌باشد.

با وجود تمامی پیشرفت‌هایی که در جهت بهبود میزان انتقال حرارت صورت گرفته است، با پیشرفته‌تر شدن تجهیزات و کوچکتر شدن آنها نیاز به انتقال حرارت بیشتر در فضایی کمتر همچنان احساس می‌شود. کم بودن ضریب هدایت حرارتی سیالات، محدودیت بزرگی برای

افزایش میزان انتقال حرارت جابجایی در فضایی کمتر، می‌باشد. یکی از راه‌های افزایش انتقال حرارت استفاده از ذرات جامد در سیال می‌باشد. استفاده از این روش برای افزایش انتقال حرارت، از حدود یک قرن پیش شناخته شده بود[5] ولی به دلیل ته نشین شدن این ذرات و ایجاد رسوب این روش مورد استفاده قرار نگرفت. با پیشرفت تکنولوژی در زمینه ساخت ذرات با ابعاد از مرتبه نانومتر، استفاده از این ذرات در سیالات در سال 1995برای افزایش میزان ضریب هدایت حرارتی سیالات، توسط چوی[6] پیشنهاد شد. با استفاده از ذرات در مقیاس نانو و استفاده از پایدار کننده‌ها در سیال پایه، بزرگترین محدودیت در استفاده از این روش، که همان ته‌نشین شدن ذرات بود، از پیش روی برداشته شد. گرچه استفاده از ذرات جامد در سیال باعث افزایش ضریب هدایت حرارتی سیال می‌شود، باعث افزایش ویسکوزیته سیال نیز خواهد شد که می‌تواند اثری منفی بر انتقال حرارت داشته باشد. در مبدل‌های حرارتی با وجود جابجایی اجباری افزایش ویسکوزیته باعث افزایش بیش از حد افت فشار در مبدل خواهد شد. این افزایش باعث افزایش نیروی لازم برای پمپاژ سیال خواهد شد. در جریان جابجایی طبیعی افزایش ویسکوزیته سیال منجر به کاهش جریان سیال خواهد شد و در نتیجه اثری منفی بر انتقال حرارت خواهد داشت. در هندسه‌های دارای مرز متحرک ویسکوزیته باعث انتقال ممنتوم از مرز متحرک به سیال خواهد شد، بنابراین اثر افزایش ویسکوزیته بر جریان سیال باید بررسی شود. با توجه به اثر دوگانه‌ای که استفاده از نانوذرات در سیال پایه بر ضریب هدایت حرارتی و ویسکوزیته سیال دارند، استفاده از این ذرات می‌تواند به افزایش یا کاهش انتقال حرارت با توجه به هندسه مساله و شرایط مرزی آن، جنس، اندازه، شکل و درصد حجمی نانوذرات، دمای عملکرد سیال و نوع سیال پایه منجر گردد. بنابراین تاثیر استفاده از نانوذرات بر انتقال حرارت باید مورد بررسی قرار گیرد.

در ادامه این فصل ابتدا کارهای انجام شده در زمینه انتقال حرارت جابجایی بین دو استوانه افقی با دیواره‌های دما ثابت مرور می‌شود. پس از آن هندسه مساله مورد بررسی در کار حاضر شرح داده می‌شود و در انتها روش انجام پژوهش حاضر بیان می‌شود.